

ленных на объекте измерения, а полученная информация оцифровывается и передается от модулей в персональный компьютер, который обеспечивает ее сбор, регистрацию, обработку данных и отображение их на мониторе в виде графиков и таблиц.

Функционирование БИК осуществляется с использованием базового пакета программного обеспечения, заложенного в измерительные модули и крейт-контроллер, и специальным программным обеспечением, разработанным для конкретных измерительных модулей и загружаемым в персональный компьютер.

При разработке и изготовлении ИИС надо подробно изучать имеющиеся измерительные системы, учитывать опыт их применения, проводить сравнительный и ценовой анализ, анализировать измеряемые величины и точностные характеристики.

Использованная в комплексе компьютерная технология позволяет осуществлять с высокой достоверностью измерения параметров исследуемых машин, их узлов, агрегатов и систем практически без увеличения погрешностей, им присущих.

Результаты испытаний с применением БИК показали, что он полностью соответствует предъявляемым требованиям к подобным ИИС.

Опыт использования и перспективы создания многоприводных колесных машин повышенной проходимости

к.т.н. проф. Лепёшкин А.В.

МГТУ «МАМИ»

lep@mami.ru, (495) 223-05-23 доб. 1426

Аннотация. В статье приводятся материалы, полученные в результате аналитического обзора по научно-исследовательской работе в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы. Представленные материалы характеризуют современное состояние вопроса и определяют проблемы, возникающие при проектировании многоприводных колесных машин повышенной проходимости и являющиеся основой для разработки методики создания для этих машин систем автоматического адаптивного управления их регулируемые трансмиссиями.

Ключевые слова: многоприводные колесные машины повышенной проходимости, регулируемые трансмиссии, системы автоматического адаптивного управления.

Изучением теоретических проблем, связанных с созданием самоходных многоприводных многоосных колесных машин повышенной проходимости, занимались многие ученые как у нас в России, так и за рубежом. В основном эти исследования проводились применительно к машинам с механическими трансмиссиями.

Благодаря полученным результатам в парке современных транспортных средств образовался довольно развитый сегмент автомобилей повышенной проходимости, в том числе и полноприводных. Кроме этого достаточное распространение получили полноприводные колесные тракторы, сельскохозяйственные и специальные машины. Практически для всех них характерно наличие механических трансмиссий со ступенчатым изменением передаточных чисел в коробках перемены передач, а также использование в этих трансмиссиях либо обгонных муфт, либо дифференциалов (межколесных и межосевых), исключающих возникновение в трансмиссиях циркуляции мощности. Высокий КПД, стабильность характеристик в широком диапазоне эксплуатационных условий и достаточно высокая надежность при относительно невысокой стоимости обусловили широкое распространение таких трансмиссий в основном на машинах с двумя или тремя ведущими осями. Причем на машинах с тремя ведущими осями две из них в большинстве случаев предельно сближены друг с другом. Обусловлено это также и тем, что таким образом с целью повышения проходимости машины разработчики стремятся уменьшить разнообразие условий качения ее ведущих колес, так как

главным недостатком дифференциального привода является потеря проходимости всей машины при нарушении сцепления с дорогой одного из ее ведущих колес. В существующих конструкциях механических трансмиссий многоприводных колесных машин для исключения подобных проблем предусматривается возможность принудительной блокировки дифференциалов водителем или используются дифференциалы с повышенным внутренним трением. И тот и другой вариант существенно усложняет конструкцию трансмиссии и снижает надежность всей машины. Очевидно, что использование таких дифференциальных механических трансмиссий на многоприводных колесных машинах с числом ведущих осей больше двух встречает существенные трудности. В некоторых случаях, например, при активизации сцепных звеньев автопоездов или для некоторых сельскохозяйственных и специальных машин, эти трудности можно рассматривать как непреодолимые. Следует также отметить, что в случае, когда разработчиками предпринимается попытка конструктивного решения этих трудностей, результатом этого, как правило, является существенное снижение энергоэффективности разрабатываемой машины.

Перечисленные обстоятельства в начале 60-х годов прошлого века обусловили появление в отечественной и зарубежной практике очевидной тенденции использовать для привода ведущих колес самоходных и транспортных машин бесступенчатые регулируемые трансмиссии. В их качестве предлагалось использовать гидрообъемные (ГОТ) и электрические (ЭТ) трансмиссии, которые по сравнению с механическими трансмиссиями обладают сходными конструктивно-компоновочными преимуществами [5].

Можно выделить преимущества, присущие только ГОТ в сравнении с другими видами трансмиссий [5]:

- жесткая кинематическая и силовая характеристика ГОТ, приближающаяся к характеристике механической бесступенчатой передачи, и малая инерционность привода, что обуславливает возможность реализации управления передаточным отношением привода с высокой точностью по любому заданному закону;
- легкость получения быстрого ($\sim 0,12$ с) и симметричного по моментным и кинематическим параметрам реверса привода, что позволяет производить энергичную «раскачку» застрявшего автомобиля;
- возможность длительной устойчивой работы машины с «ползучей» скоростью, составляющей для автомобилей высокой проходимости $0,5 \dots 0,75$ км/ч, а также на «стоповом» режиме (например, упор транспортного средства в препятствие) без перегрева ГОТ. При этом максимальный крутящий момент развивается на колесах при частоте их вращения, равной нулю, а потребляемая мощность незначительна, так как приводной двигатель работает фактически на холостых оборотах (подача насосов идет только на восполнение утечек и перетечек);
- энергоэффективность автомобиля с ГОТ при росте числа его осей снижается менее интенсивно, чем у автомобилей с механической трансмиссией;
- наличие контролируемых и стабильно-регулируемых мер защиты ГОТ от перегрузок, динамических ударов и др.

Однако наряду с этими преимуществами, ГОТ имеет и свои неустранимые (или трудноустранимые) недостатки по сравнению с другими трансмиссиями [5].

ЭТ имеют лучшие показатели общего КПД (до 0,85) в более широком тяговом диапазоне, более простой монтаж элементов и межагрегатных соединений (электрокабелей, шин и др.) по сравнению с более трудоемким и квалифицированным монтажом трубопроводных соединений, особенно высокого давления. При этом на себестоимость ЭТ оказывает решающее влияние широкое использование цветных и редких металлов и сплавов. При этом удельная себестоимость ЭТ незначительно превышает удельную себестоимость ГОТ. На автомобилях высокой проходимости с ЭТ вызывает затруднение рациональное размещение агрегатов системы воздушного охлаждения электромашин, в то время как у ГОТ охлаждение корпусов гидромашин осуществляется прокачкой через них рабочей жидкости. Важной особенностью ЭТ является динамический вид ее внешней характеристики с мало поддающимся

контролю внутренним автоматическим управлением (самоуправлением) передаточного отношения.

Таким образом, ГОТ имеет лучшую приспособленность к автоматическому регулированию. Кроме того, ГОТ не создает помех радиосвязи. Одновременно, ввиду значительно меньших габаритов основных агрегатов ГОТ по сравнению с основными агрегатами ЭТ, она имеет преимущество по этому показателю [17, 18, 19].

Итак, ГОТ обладает более высокой общей эффективностью, что делает целесообразным ее использование на перспективных транспортных машинах в качестве регулируемого силового привода колес. От использования регулируемой ГОТ ведущих колес многоприводных многоосных машин следует ожидать улучшения их эксплуатационных характеристик, увеличения максимальной силы тяги и снижения расхода топлива при одновременном увеличении средних скоростей движения, а также повышения проходимости и маневренности.

И действительно, к настоящему времени как у нас в стране, так и за рубежом были предприняты попытки создания самоходных машин, оснащенных как полнопоточными ГОТ (все ведущие колеса приводятся при помощи ГОТ), так и комбинированными трансмиссиями (привод ведущих колес основного ведущего моста от механической трансмиссии традиционной конструкции, привод дополнительных ведущих колес от ГОТ). При этом более широкое распространение самоходных машин с комбинированными трансмиссиями обусловлено изначальным предположением разработчиков об их меньшей стоимости и более высокой надежности по сравнению с полнопоточными ГОТ.

В 60-е годы XX века в США (фирма "Deere & Co") впервые приступили к серийному производству самоходных машин с ГОТ дополнительных ведущих колес. Приблизительно в то же время в СССР был разработан автопоезд ЗИЛ-137 с ГОТ ведущих колес полуприцепа (рисунок 1). В 70-е годы к выпуску машин с этим типом привода активно приступили многие зарубежные фирмы, в том числе: канадская фирма "Levy", западногерманская фирма "Robert Bosch GmbH", а также финская фирма "Sisu", разработавшая ГОТ, которую ряд фирм Голландии, Италии и Финляндии используют при активизации прицепных звеньев лесовозов, трубовозов, контейнеровозов и тому подобных машин. С 2005 года фирма MAN начала серийный выпуск седельных тягачей, самосвалов и грузовиков различного назначения с полной массой более 18 т, оснащенных приводом HydroDrive (рисунок 2), обеспечивающим привод их управляемых колес переднего моста [5, 6, 8].

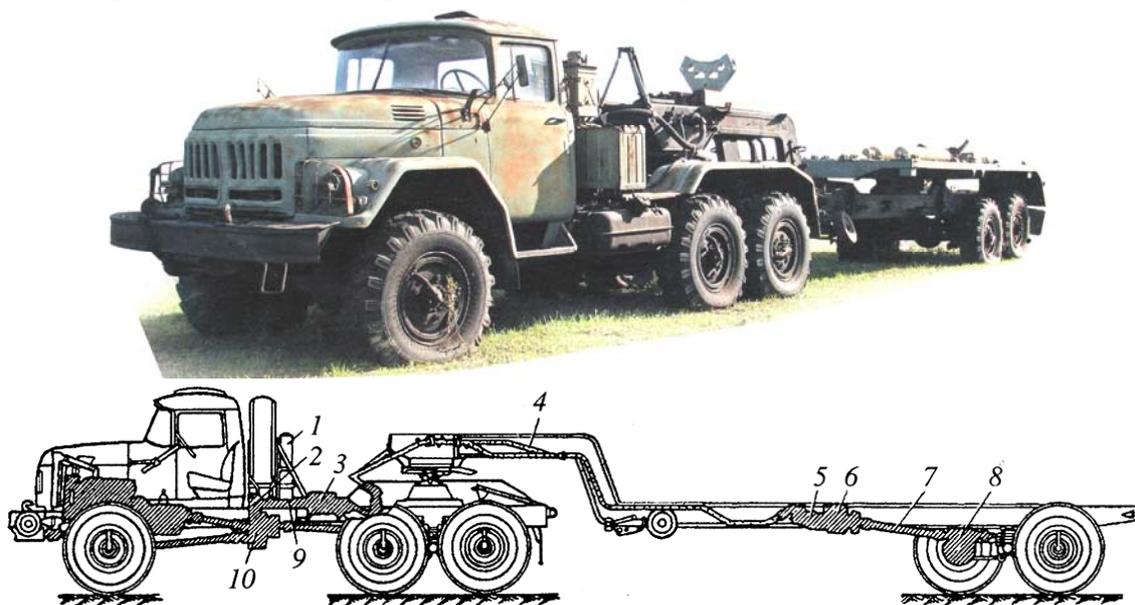


Рисунок 1 – Автопоезд ЗИЛ-137 с ГОТ активного полуприцепа ЗИЛ-137Б:
1 – масляный бак; 2 – коробка отбора мощности; 3 – аксиально-поршневой, нерегулируемый насос; 4 – шланги; 5 – аксиально-поршневой, нерегулируемый гидромотор; 6 – редуктор гидромотора; 7 – карданный вал; 8 – ведущие мосты полуприцепа; 9 – карданная передача; 10 – раздаточная коробка

Появившийся опыт отразился в соответствующих публикациях, где приведены достижения машин, оснащенных ГОТ.

Так, эксплуатация лесовоза фирмы "Sisu" показала, что лесовоз, оснащенный ГОТ, развивает тягу на 25% больше, чем без нее, позволяет преодолевать подъем в 1,5 раза большей крутизны и, несмотря на большую стоимость и более высокую трудоемкость технического обслуживания, окупается в два раза быстрее. Причина этого в том, что он по погодным условиям может работать большее количество дней в году. Кроме этого фирма отмечает, что использование ГОТ позволяет при необходимости уменьшить радиус поворота машины (Материалы международного симпозиума по машинам для лесного хозяйства, Москва, 1974г.).

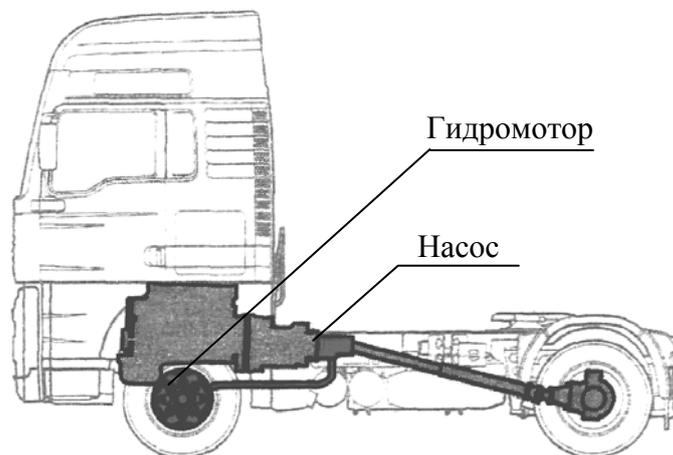


Рисунок 2 – Седелный тягач фирмы MAN, оснащенный системой HydroDrive

Интересны также данные отчета об испытании автопоезда ЗИЛ-137 (рисунок 1) с ГОТ прицепного звена: на влажных грунтовых дорогах, на мокром песчаном грунте, в условиях снежного покрова увеличение тяги автопоезда за счет использования ГОТ достигало 200%; автопоезд с ГОТ мог преодолевать подъем в 1,5 раза большей крутизны; с включенной ГОТ полуприцепа автопоезд преодолевал заболоченные участки с твердым основанием на глубине 0,3 ... 0,4 м, свободно передвигался на подъемах и поворотах в условиях песчаной целины; включение ГОТ позволяло ускорить процесс "складывания" автопоезда (отчет по испытаниям автопоезда ЗИЛ-137 10×10 с гидроприводом на активные оси полуприцепа, № 62-83 от 25.12.62, г. Москва, архив № 2182).

Аналогичные результаты были получены при испытании опытных образцов специального чаеуборочного самоходного шасси Т16ММЧ и универсально-пропашного трактора МТЗ-82, оснащенных ГОТ передних управляемых колес. Эти испытания проводились в соответствии с планами НИР и ОКР МТиСХМ СССР (в выполнении этих работ принимали участие сотрудники кафедры «Гидравлика и гидропневмоприводы» МАМИ).

Испытания самоходного чаеуборочного шасси Т16ММЧ с ГОТ показали, что, несмотря на то, что в ГОТ использовались шестеренные гидромашины с низкими энергетическими характеристиками, было получено 38% увеличение тяги при движении на 1-ой передаче, 47% увеличение максимальной тяговой мощности и 40% увеличение КПД (протокол № 21-79 заводских испытаний самоходного шасси Т16ММЧ с передним ведущим мостом, Тбилиси, 1979г., тема № 159/198-76).

Испытания трактора МТЗ-82, у которого серийный механический привод передних колес с обгонной муфтой был заменен на ГОТ, показали, что использование ГОТ, кроме увеличения тяги, гарантировало снижение износа протектора шин на 10%. Этот эффект получен за счет того, что, благодаря имеющейся возможности бесступенчатого регулирования передаточного отношения ГОТ, при движении трактора на транспортных скоростях по дороге с твердым покрытием был обеспечен нейтральный режим качения управляемых колес [2]. Этот результат испытаний позволяет сделать вывод о том, что положительный эффект от использования ГОТ в качестве привода дополнительных ведущих колес можно получить и при движении в относительно легких условиях.

И все же, несмотря на положительные результаты, полученные от использования ГОТ, широкое внедрение их на самоходных и транспортных машинах в качестве привода дополнительных ведущих колес не произошло. Причина этого в недостатках, присущих этому типу привода по сравнению с традиционными механическими трансмиссиями. Основными из них являются:

- недостаточно высокий КПД (особенно на частичных режимах, когда режим работы гидромашин, использующихся в ГОТ, в значительной степени отличается от номинального);
- зависимость характеристик ГОТ от внешних условий и режима работы;
- постепенное ухудшение характеристик ГОТ при выработке ею технического ресурса;
- значительная стоимость, меньший срок службы и более высокая трудоемкость технического обслуживания.

Очевидно, что перечисленные недостатки существенно сужают область целесообразного использования ГОТ в качестве привода дополнительных ведущих колес. Эта область практически ограничивается теми машинами, для которых использование механического привода для этой цели сопряжено со значительными конструктивными сложностями. Анализ показал, что к таким машинам, работающим в тяжелых дорожных условиях, в первую очередь относятся большегрузные автопоезда (например, лесовозы, трубовозы и так далее), где актуальным является активизация колес прицепных звеньев, а также различного рода сельскохозяйственные и специальные, в том числе многоопорные, самоходные и транспортные машины.

К перечисленным выше недостаткам также можно отнести факт, установленный при проведении полевых испытаний трактора фирмы "Deere & Co" и опытного образца самоходного шасси Т16ММЧ, оснащенных ГОТ передних ведущих колес (испытания проводились НПО НАТИ [3]). Дело в том, что системы автоматического управления режимами работы ГОТ на этих машинах были построены по схеме, обеспечивающих работу ГОТ в режиме постоянства передаваемой мощности. Благодаря этому, на грунтах высокой и средней несущей способности отмечалось увеличение КПД самоходных машин, а при движении по грунту с малым коэффициентом сцепления происходило увеличение частоты вращения передних колес машины при малом реализуемом моменте на них. При этом имело место интенсивное фрезерование почвы под этими колесами, увеличение глубины колеи и, как следствие, ухудшение проходимости машины. Данное обстоятельство указывает на то, что использование при построении систем автоматического управления ГОТ простых известных решений, не учитывающих условия взаимодействия ведущих колес с опорной поверхностью, как правило, не позволяют получить желаемого результата. Справедливым следует признать, что для этой цели предварительно необходимо всестороннее изучение объекта автоматизации, используя, в том числе, и современные методы математического моделирования для проверки различных условий эксплуатации проектируемых машин.

Если обобщить приведенные выше соображения, то появление в современном парке самоходных машин серийных транспортных и тяговых колесных машин повышенной проходимости с ГОТ дополнительных ведущих колес можно ожидать только тогда, когда они будут обладать большей эффективностью по сравнению с аналогичными машинами с традиционными механическими трансмиссиями, а также при условии, что их срок службы позволит окупить дополнительные затраты, связанные с оснащением их ГОТ. Получить такие результаты реально только в том случае, если ГОТ будут оснащаться системами автоматического адаптивного управления, которые в процессе движения машины из всего многообразия возможных вариантов будут выбирать режим работы ГОТ, обеспечивающий максимальную эффективность системы «автомобиль-двигатель-трансмиссия-двигатель-опорная поверхность».

Опубликованные данные позволяют заключить, что практически во всех случаях применения ГОТ в качестве привода дополнительных ведущих колес самоходных машин они имеют много общего.

Во-первых, все эти ГОТ работают в достаточно узком диапазоне скоростей движения

машины. Это объясняется прежде всего особыми требованиями к эксплуатации гидромашин [9]. Так, скоростной диапазон ГОТ лесовоза фирмы "Sisu" составляет 10% от общего диапазона скоростей движения лесовоза, на автопоезде ЗИЛ-137 ГОТ ведущих колес полуприцепа работает только при движении со скоростью не более 7 км/час, на автомобилях фирмы MAN ГОТ HydroDrive может использоваться до скорости 30 км/час.

Во-вторых, практически все ГОТ дополнительных ведущих колес включаются и выключаются водителем, иногда одновременно с включением соответствующей передачи в коробке перемены передач. При этом предусматривается механическое или гидравлическое блокирование, исключающее использование ГОТ на высоких рабочих и, тем более, транспортных скоростях машины.

В-третьих, наиболее распространенной является ГОТ, в которой используются так называемые гидромотор-колеса. В качестве них используются либо низкооборотные высокомоментные радиально-поршневые гидромоторы ("Sisu", "Poclain"), встроенные в ступицу ведущего колеса машины, либо высокооборотные аксиально-поршневые гидромоторы ("Bosh Rexroth", ГСТ-90), установленные на раме машины и связанные с колесом через карданную передачу и механический согласующий редуктор.

В-четвертых, в большинстве ГОТ гидромотор-колеса, обеспечивающие привод колес одной оси машины, включаются параллельно, обеспечивая для этих колес дифференциальную межколесную связь. При необходимости блокирования межколесной связи гидромотор-колеса включаются последовательно. Для этой цели в известных ГОТ используются специальные гидрораспределители.

Проведенный анализ опубликованных данных об особенностях, выявленных разработчиками самоходных машин с комбинированными трансмиссиями, позволяет перечислить основные проблемы, которые необходимо решать при разработке систем автоматического управления (САУ) ГОТ дополнительных ведущих колес:

- при прямолинейном движении машины в изменяющихся условиях из-за различия жесткостей механических характеристик ГОТ дополнительных ведущих колес и механического привода основных ведущих колес САУ ГОТ для обеспечения высокой эффективности машины должна постоянно следить за согласованностью в работе основных и дополнительных ведущих колес;
- при движении по криволинейной траектории САУ ГОТ для обеспечения высокой эффективности и маневренности машины должна следить не только за межосевым кинематическим соответствием частот вращения основных и дополнительных ведущих колес, но и за кинематическим соответствием частот вращения для ведущих колес, привод которых обеспечивается ГОТ;
- для обеспечения надежного трогания самоходной машины в тяжелых условиях САУ ГОТ должна компенсировать отставание в нарастании сил тяги дополнительных ведущих колес по сравнению с нарастанием сил тяги на основных ведущих колесах, обусловленное существенно большей податливостью ГОТ по сравнению с механической трансмиссией;
- для увеличения межремонтного интервала самоходной машины с комбинированной трансмиссией САУ ГОТ должна позволять необходимую корректировку законов управления ГОТ, обусловленную изменением ее характеристик, связанных, прежде всего, с постепенным уменьшением объемного КПД гидромашин из-за их износа в процессе эксплуатации;
- ГОТ дополнительных ведущих колес должна оснащаться системой диагностики состояния входящих в нее гидромашин для получения данных, необходимых для проведения отмеченной выше корректировки законов управления ГОТ.

Схожие проблемы сдерживают и создание серийных самоходных транспортных и тяговых машин повышенной проходимости, оснащенных полнопоточными ГОТ.

За рубежом полнопоточные ГОТ применяются на малотоннажных многоколесных плавающих автомобилях высокой проходимости типа «Мул», аэродромных тягачах, тяжелых

аэродромных топливозаправщиков Titan Avitailleur 8×8 (рисунок 3), гусеничных транспортерах с бортовым поворотом, автомобилях высокой проходимости (АВП) с активными полуприцепами, опытных образцах многоместных городских автобусов с рекуперацией энергии торможения, небольших сериях французских большегрузных (до 50 т) полноприводных самосвалах «Секмафер». Кроме этого фирма «Секмафер» выпускает ГОТ для самосвала грузоподъемностью 120 т (полная масса – 308 т) с двигателем мощностью 985 кВт (1320 л.с.), который развивает скорость 50 км/ч и может преодолевать подъем в 25% [1].



Рисунок 3 – Тяжелый аэродромный топливозаправщик Titan Avitailleur с ГОТ

Полнопоточная ГОТ являются основным видом трансмиссий для самоходных тяжеловозов грузоподъемностью 120...200 т с мощностью двигателя 132...265 кВт [10]. Применение ГОТ позволяет таким транспортным средствам перемещаться в любом направлении (вперед, назад, вбок «лягом», вбок по диагонали, разворот на месте вокруг центра платформы – «карусельное движение») с плавным изменением поступательной скорости от 0,1 до 12 км/ч. Состыкованные между собой в блоки самоходные тяжеловозы позволяют обеспечить перевозку неделимых грузов массой до 1200 т и более.

В России в настоящее время самоходных машин с полнопоточными гидрообъемными трансмиссиями серийно практически вообще не выпускается. Исключением является серийно выпускаемый с 1986 года зерноуборочный комбайн «Дон-1500» (рисунок 4), оснащенный гидрообъемной трансмиссией ГСТ-90, включающей в себя регулируемый гидронасос с наклонной шайбой и нерегулируемый гидромотор. ГОТ ведущих колес переднего моста обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости движения комбайна в двух диапазонах скоростей, что важно в сложных условиях уборки зерна и способствует повышению маневренности комбайна. Максимальная скорость рабочего диапазона движения комбайна 10 км/ч, максимальная транспортная скорость – 20 км/ч [3, 15].



Рисунок 4 – Зерноуборочный комбайн «Дон-1500» с ГОТ

Все другие самоходные машины, привод двигателей которых обеспечивался полнопоточными ГОТ, построенные с использованием гидромашин различного типа, разработанные в нашей стране во второй половине XX века, не получили серийного внедрения. Этому имеется много причин как объективного, так и субъективного характера.

Несмотря на то, что ГОТ ряда транспортных установок создавались на высоком научно-техническом уровне под руководством таких известных ученых-гидравликов, как Т.М. Башта, К.И. Городецкий, Л.Н. Игнатов, Ю.А. Данилов, Ю.Л. Кирилловский, А.В. Кулагин, Б.Б. Некрасов, Д.Н. Попов, В.Н. Прокофьев и др., в них недостаточно полно учитывались требования, предъявляемые к полноприводной автомобильной технике.

На высоком научном уровне были проведены динамические исследования объемных гидроприводов, построены их сложные математические модели с использованием новейших научных методов. Но в них недостаточно отражались условия работы ГОТ на реальных транспортных машинах. В основном эти модели в упрощенном виде описывали процессы, протекающие в самих машинах.

Гидрообъемные трансмиссии создавались, как правило, по схеме питания всех гидромоторов от общей насосной станции, т.е. с полным гидродифференциальным приводом всех колес. Какая-либо блокировка (межколесная, межосевая, межтележечная), способствующая повышению различных эксплуатационных характеристик машин, практически не предусматривалась.

Кроме этого, при практической реализации недостаточное внимание уделялось специфическим вспомогательным системам ГОТ, использующимся на мобильных машинах, таким как: теплообменники с автоматическим регулированием охлаждения в зависимости от климатических условий и нагрузок; системы компенсации рабочей жидкости при работе ГОТ во всех скоростных и силовых диапазонах; работа в условиях повышенного содержания пыли, грязи, влаги; движение на уклонах и кренах свыше 30°; предпусковая подготовка агрегатов к принятию нагрузки; система быстрого бесступенчатого реверсирования и пр.

Ввиду отсутствия специальных гидромашин и вспомогательных гидросистем для мобильных машин, соответствующих поставленным задачам и способных эффективно работать в составе ГОТ, конструкторы автомобильной техники пытались со своей стороны самостоятельно создавать специальные высокофорсированные гидромшины в транспортном исполнении, в том числе по нетрадиционным конструктивно-силовым схемам (регулируемые радиально-шаровые, аксиально-плунжерные многоходовые, по схеме Ванкеля и др.). Отсутствие опыта конструирования гидромашин и гидрообъемных трансмиссий в целом, а также неподготовленность автомобильных производств к изготовлению прецизионных пар и узлов привело к тому, что созданные ГОТ имели низкий КПД, высокую стоимость и малую долговечность, что препятствовало их внедрению на серийных транспортных средствах.

Таким образом, можно сделать вывод, что отечественными машиностроителями полноценных образцов машин с ГОТ, максимально удовлетворявших требованиям эффективно их движения в различных дорожных условиях (вплоть до полного бездорожья), с одной стороны, а также при этом содержащих грамотно спроектированные, на хорошем научно-техническом уровне ГОТ, с другой стороны, создано не было. В результате негативный отечественный опыт создания транспортных машин с ГОТ надолго незаслуженно дискредитировал у нас в стране саму идею применения ГОТ на транспортных средствах.

Между тем, зарубежный опыт свидетельствует об обратном. Технический прогресс в области создания ГОТ за рубежом дал ощутимые положительные результаты. Наблюдается устойчивая тенденция роста максимального рабочего давления в гидросистемах, что улучшает массогабаритные и эксплуатационные показатели агрегатов, входящих в состав ГОТ. В настоящее время оно достигло уровня 42...45 МПа и не опускается ниже 35 МПа [16]. В ближайшем будущем планируется дальнейшее увеличение максимально рабочего давления для объемных гидромашин до 49 МПа, а к 2015 г. – до 56 МПа. Значение силового диапазона регулирования насосов, равное отношению верхней и нижней границ рекомендуемых перепадов давления в гидросистеме, составляет 3,5 ... 4,5, а силовой диапазон для современных гидромоторов – 4,85 ... 5,12 с увеличением в перспективе до 7,37 [12]. Скоростной диапазон регулирования ГОТ, определяющийся отношением максимальной частоты вращения вала гидромотора к минимально устойчивой его частоте вращения под нагрузкой, для современных гидромашин составляет 100 ... 120 (минимально устойчивая частота вращения совре-

менного аксиально-поршневого гидромотора обычно составляет 30 ... 50 об/мин) [13, 14, 16].

Кроме этого, у современных гидромашин благодаря повышению жесткости их конструкции, уменьшению гарантированных гидравлических зазоров, применению новых материалов, использованию новых, более совершенных методов расчета и проектирования подшипников, распределителей, гидростатических опор, плунжерных пар заметно возросли значения объемного (до 0,97 ... 0,985), механического (до 0,945 ... 0,965) и, соответственно, значения общего КПД гидромашин (до ~ 0,95) [13, 14, 16].

Благодаря перечисленным выше достижениям использование полнопоточных ГОТ на автотранспортных средствах теперь становится вполне перспективным.

Главным преимуществом полнопоточных ГОТ по сравнению с ГОТ дополнительных ведущих колес, работающих совместно с механическими трансмиссиями, является то, что полнопоточные ГОТ обеспечивают индивидуальное бесступенчатое регулирование привода всех ведущих колес самоходной машины. Следствием этого является то, что полнопоточные регулируемые ГОТ имеют возможность управлять распределением мощности, реализуемой на каждом ведущем колесе. То есть в полнопоточных ГОТ, оснащенных соответствующими системами автоматического адаптивного управления (СААУ), реально существует возможность постановки и решения задачи обеспечения оптимального режима работы каждого ведущего колеса многоприводной самоходной машины в данных условиях эксплуатации.

Решению этой задачи служит разработанный в 2003 году ОАО «Инновационная фирма «НАМИ-Сервис» совместно с АМО ЗИЛ полноприводный автомобиль-лаборатория «Гидроход-49061» (рисунок 5) [11] с колесной формулой 6×6, с передними и задними управляемыми колесами, полной массой 12 тонн, оснащенный полнопоточной ГОТ.

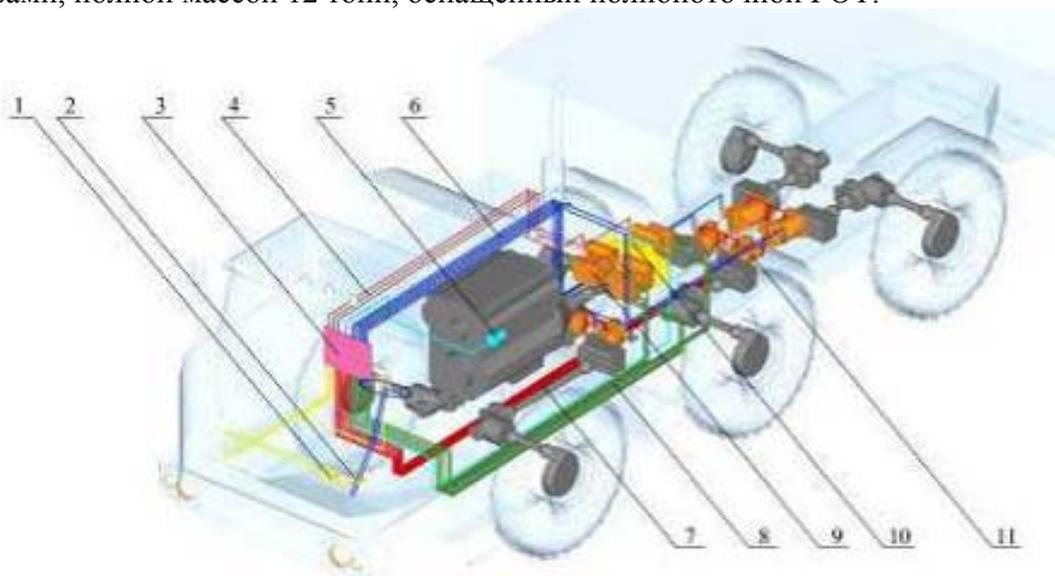


Рисунок 5 – Гидрообъемная трансмиссия автомобиля «Гидроход-49061»:

1 – датчик положения педали управления подачей топлива в двигатель;

2 – датчик углового перемещения рулевого колеса; 3 – бортовой компьютер автоматической системы управления; 4 – каналы для управления гидронасосами; 5 – сервопривод управления подачей топлива в двигатель;

6 – каналы для управления гидромоторами; 7 – каналы для сбора информации от датчиков угловой скорости вращения гидромоторов; 8 – каналы для сбора информации от датчиков давления гидронасосов; 9 – гидронасос; 10 – датчик частоты вращения редуктора насосной станции; 11 – гидромотор

Благодаря наличию у этого автомобиля полнопоточной ГОТ, полностью приспособленной для проверки на практике различных вариантов систем автоматического адаптивного управления, появилась реальная перспектива решения задачи создания полноприводного автомобиля с «интеллектуальной» трансмиссией, обеспечивающей оптимальное распределение мощности на каждое ведущее колесо. В реализации этого совместно с сотрудниками ОАО

«Инновационная фирма «НАМИ-Сервис» активно работают сотрудники МГТУ «МАМИ», в том числе и при выполнении Государственного контракта № П1131 от 02.06.2010 г., посвященного изучению теоретических основ построения СААУ, обеспечивающей в процессе движения автомобиля постоянную корректировку режима работы ГОТ, адаптируя его к текущим условиям эксплуатации. Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований подтверждают принципиальную возможность реализации таких систем на перспективных транспортных и тяговых колесных машинах повышенной проходимости.

Таким образом, несмотря на негативный опыт прошлого, реальности сегодняшнего дня указывают на то, что активизация ведущих колес многоприводных колесных машин при помощи ГОТ продолжает быть весьма актуальным направлением как научно-исследовательских, так и опытно-конструкторских работ, а ожидаемые результаты от их реализации позволят в значительной степени обеспечить перспективное развитие малоосвоенных и труднодоступных территорий России.

Как отмечалось выше, на многоприводных автомобилях повышенной проходимости помимо ГОТ получили распространение также и электрические трансмиссии (ЭТ), которые в настоящее время также строятся либо по типу комбинированной, либо по типу полнопоточной трансмиссии (если их рассматривать по аналогии с гидрообъемными).

Аналогами самоходных машин с ГОТ дополнительных ведущих колес могут рассматриваться автомобили с гибридными силовыми установками (ГСУ), в которых ведущие колеса одного из ведущих мостов приводятся традиционным механическим приводом, а ведущие колеса другого ведущего моста – посредством ЭТ. Серийный выпуск таких легковых автомобилей в настоящее время осуществляют многие передовые зарубежные фирмы. Работы по созданию аналогичных автомобилей с ГСУ ведутся и в России, в частности, на кафедре «Автомобили» МГТУ «МАМИ».

Бесступенчатые ЭТ, аналогичные полнопоточным ГОТ, нашли применение на тяжелых карьерных самосвалах грузоподъемностью более 80 т (БелАЗ-7512А, 7514, 75145). Этот тип трансмиссии позволил упростить компоновку этих автомобилей, что для них весьма актуально. Кроме этого, такая трансмиссия позволяет передать на ведущие колеса большие величины крутящего момента и обеспечить плавное трогание машины с места. Кроме этого, фирма «Берлие» (Франция) выпускает автомобили высокой проходимости, состоящие из одноосного тягача ТХ-40 и одноосного скрепера-прицепа грузоподъемностью 40 т. Колеса обоих осей этого транспортного средства ведущие с приводом от электромотора, снабженного одно или 2-скоростными редукторами. Реализацию возможностей полнопоточных ЭТ предприняла также фирма «Ошкош» в конструкции своих тактических четырехосных автомобилей (рисунок 6).

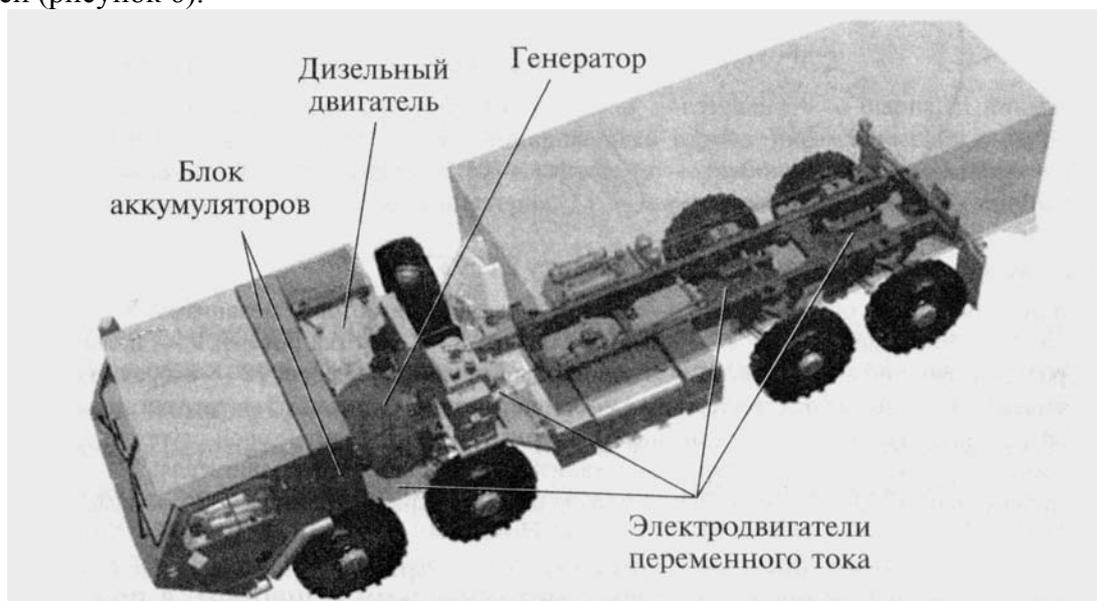


Рисунок 6 – Схема компоновки автомобилей фирмы «Ошкош»

В России работы по созданию многоприводных автомобилей высокой проходимости с ЭТ на сегодня ограничиваются следующими опытными разработками:

- ходовой макет 12×12 (рисунок 7), разработанный в НПЦ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, имеющий дизель-генератор от тепловоза ДМ62, установленный на шасси от МАЗ-547В, связанный с 12-ью асинхронными тяговыми электромотор-колесами через силовые преобразователи САУ ЭТ [17];



Рисунок 7 – Общий вид ходового макета 12×12 с ЭТ

- специальное четырехосное колесное шасси БАЗ-М6901Э (рисунок 8) с колесной формулой 8×8, созданное НТЦ «Спецтехника» МГТУ «МАМИ», имеющее силовую установку АД315С-Т400-1Р (дизель ЯМЗ-8525.10 и генератор ГС-315-БП-ЗУ-0) мощностью 315 кВт, систему накопителей электрической энергии и САУ, регулирующую мощность, поступающую на восемь асинхронных тяговых электродвигателей (максимальная мощностью каждого 30 кВт), каждый из которых связан через согласующий редуктор со своим ведущим колесом автомобиля [18, 19].

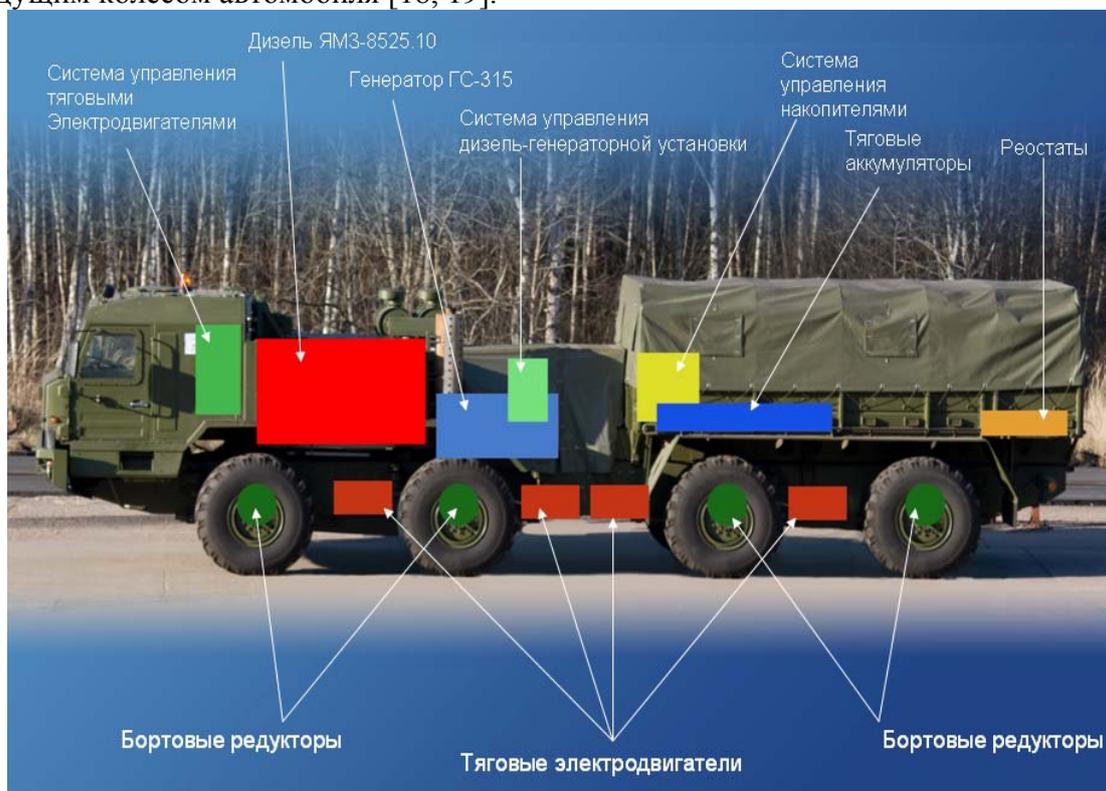


Рисунок 8 – Специальное четырехосное колесное шасси БАЗ-М6901Э с ЭТ

Следует отметить, что главная проблема, которую необходимо решать конструкторам многоприводных колесных транспортных средств с ЭТ, так же как и для машин с ГОТ, это обеспечение согласованности работы приводов колес как в кинематическом, так и в силовом плане. Добиться этого можно только за счет использования систем автоматического адаптивного управления ЭТ. При этом требуется решение вопросов, во многом схожих с теми, которые перечислены выше при анализе многоприводных колесных машин с ГОТ.

Заключение

Проведенный аналитический обзор показал, что перспективным направлением создания многоприводных колесных машин является оснащение их регулируемыми «интеллектуальными» трансмиссиями с системами автоматического адаптивного управления, обеспечивающими оптимальное распределение мощности двигателя между ведущими колесами в конкретных условиях движения. Наибольший эффект следует ожидать от построения их на основе гидрообъемного или электрического привода.

Литература

1. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. - М., 2006.
2. Городецкий К.И. и др. Снижение износа шин передних ведущих колес тракторов при использовании объемной гидропередачи. Труды НАТИ, Выпуск 259, 1978.
3. Городецкий К.И. и др. О влиянии дроссельных регуляторов потока на характеристики гидроредуктора. Труды НАТИ, 1981.
4. Журнал «Авторевю», 2003, № 18.
5. Журнал «Авторевю», 2006, № 7 (355). – с. 122.
6. Журнал «Грузовик – пресс», 2007, № 4. – с. 44-45.
7. Журнал «Грузовик – пресс», 2008, № 1.
8. Журнал «За рулём», 2007, № 6 (912). – с. 235.
9. Прокофьев В.Н. и др. Аксиально-поршневой регулируемый гидропривод. – М., Машиностроение, 1969, 496 с.
10. Прочко Е.И., Курмаев Р.Х., Анкинович Г.Г. Опыт создания и испытаний автомобиля с гидрообъемной трансмиссией (ГОТ). - М., Известия МГТУ «МАМИ», №1(5), 2008. – с. 100-106.
11. Шухман С.Б., Соловьёв В.И., Прочко Е.И. Теория силового привода колёс автомобиля высокой проходимости. Книга. - М., 2007.
12. CAG — Computer-aided gear changing (проспект фирмы Scania. - Швеция).
13. Produktkatalog Mobilhydraulik. Каталог фирмы Rexroth Bosch Group, - Германия, 90 005-01/07.03.
14. Produktkatalog Mobilhydraulik. Каталог фирмы Rexroth Bosch Group, - Германия, 90 005-02/07.03.
15. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Дон-1500>
16. http://www.boschrexroth.com/country_units/europe/russia/ru/index.jsp
17. Шеломков С.А. Метод управления мощностными потоками в электротрансмиссии полноприводной многоосной колёсной машины. Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2007.
18. Николаенко А.В., Бахмутов С.В., Кулаков Н.А. Инновационные разработки МГТУ «МАМИ» в области гибридного автотранспорта. – Минск, Сборник трудов международной научно-технической конференции "Инновации в машиностроении", 2008.
19. <http://www.park5.ru/articles/1/554>