

УДК 629.013

ПОСТРОЕНИЕ АВТОПОЕЗДОВ С АКТИВНЫМИ ПРИЦЕПНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ В ТЯЖЁЛЫХ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

С.Б. Шухман, д.т.н., проф. / МГМУ «МАМИ»

С.Н. Коркин, к.т.н., Р.Х. Курмаев, к.т.н., М.А. Капралова / ФГУП «НАМИ»

В настоящее время одним из направлений развития транспорта страны является разработка специальных автомобилей повышенной проходимости, предназначенных для работы в условиях бездорожья для освоения новых труднодоступных районов, и такой специализированный автомобильный транспорт, несомненно, находит своё применение в нефтегазодобывающей промышленности Сибири и Крайнего Севера.

Характерной особенностью названных регионов является низкая несущая способность грунтов, и для осуществления транспортной работы в условиях бездорожья необходимы современные многоосные большегрузные активные автопоезда, которые к тому же должны обеспечивать сохранность экологической среды.

Основные достоинства применения автопоездов с активным приводом колёс следующие [1]:

- повышение проходимости и средних скоростей движения более чем на 25 %;
- повышение грузоподъёмности автопоезда;
- гибкость применения исходя из транспортных задач;
- возможность объединения прицепных звеньев для транспортировки длинномерных и крупногабаритных тяжёлых грузов;



Рисунок 1. Гибридный автопоезд с дополнительным модулем

– снижение разрушающего воздействия на почву до 40 % [2].

За рубежом широкое распространение получили автопоезда с активными прицепными звеньями таких фирм, как Goldhofer (Германия), Cometto (Италия), Nicolas (Франция) и другие. В большинстве своём эти автопоезда используются на дорогах с твёрдым покрытием в целях увеличения тяговых способностей тягачей.

На современном этапе развития технологии машиностроения для привода ведущих колёс прицепных звеньев автопоездов наиболее целесообразно использовать бесступенчатые регулируемые трансмиссии (гидрообъёмные, электрические приводы), обладающие рядом преимуществ по сравнению с механическими [1].

Предпринимались попытки создания активных прицепов и полуприцепов и в нашей стране. Многие отечественные автозаводы, такие как БАЗ, ЗИЛ, ГАЗ, МАЗ, УРАЛ, КРАЗ и другие, работали в этом направлении и воплощали свои идеи в конструкторские разработки. Конструкции, разработанные в последние десятилетия в нашей стране, имели преимущественно механический привод колёс прицепного звена [3]. В них крутящий момент на прицепное звено передавался с помощью карданной передачи, расположенной внутри седельного устройства.

В качестве примера на рис. 1 представлен автопоезд, у которого привод колёс прицепного звена осуществляется дополнительным вспомогательным электрическим модулем. Дополнительный модуль обеспечивает необходимую мощность основному

двигателю тягача на подъемах. Модуль оснащён специальной тормозной системой, которая использует технологию подзарядки бортовых аккумуляторов при торможении (режим рекуперации энергии). Система работает по принципу гибридного автомобиля (рис. 2).

В качестве примера на рис. 3 [4] представлен автопоезд, у которого привод колёс прицепного звена (полуприцепа) осуществляется при помощи гидрообъёмной передачи. Активный полуприцеп с колёсной формулой 8×8 длиной 15,5 м и грузоподъёмностью 50 т с четырьмя ведущими мостами предназначается для перевозки тяжёлой техники и неделимых грузов по неблагоустроенным дорогам и бездорожью.

Полуприцеп оснащён автономной насосной станцией (АНС) (рис. 4), которая позволяет передавать крутящий момент от силовой установки на гидромоторы, расположенные на полуприцепе. В основе АНС — дизельный двигатель мощностью 360 л. с., соединённый с тандемными гидронасосами общим рабочим объёмом 360 см³, связанными с магистралями высокого давления гидромоторов. На раме каждой из двухосных ведущих тележек полуприцепа установлен нерегулируемый гидромотор рабочим объёмом 500 см³ в сборе с согласующим редуктором. Согласующий редуктор — двухступенчатый, с возможностью отключения от мостов во время транспортировки — передаёт крутящий момент на два ведущих моста тележки.

Для улучшения управляемости и манёвренности автопоезда задняя ведущая тележка поворотная. Управление активным полуприцепом максимально автоматизировано (водитель тягача работает только с выносным пультом управления), но предусмотрен и ручной режим управления. Разработанный активный полуприцеп может эксплуатироваться с любым серийным тягачом, подходящим по допустимой нагрузке на седло. В табл. 1 приведены основные характеристики автопоезда.

Для повышения основных показателей эффективности автопоездов с бесступенчатым приводом прицепного звена необходимо обеспечивать регулирование подводимой мощности непосредственно к каждому колесу, которое может быть реализовано с помощью автоматической системы управления.

Такая необходимость обусловлена тем, что индивидуальное управление силовыми приводами колёс многоосного автомобиля при нестабильных условиях движения представляет собой чрезвычайно сложную задачу и водитель не в состоянии обеспечить требуемое качество управления.

Управление регулируемы́ми трансмиссиями многоосных полноприводных автомобилей является

Таблица 1. Технические характеристики автопоезда (для тяжёлых условий движения)

Колёсная формула	14×14
Грузоподъёмность, т	50
Снаряжённая масса, т	30
Полная масса, т	80
Нагрузка на седло тягача, кН (тс)	200 (20)
Максимальная скорость автопоезда, км/ч	70
Максимальная скорость автопоезда с активным полуприцепом (при $i_2 = 1,31$), км/ч	до 20
Максимальная скорость автопоезда с активным полуприцепом (при $i_1 = 4,83$), км/ч	до 5
Максимальный динамический фактор (при $i_1 = 4,83$), D_{max}	0,45
Удельная мощность автопоезда*, л. с./т	9,5
Внешний габаритный радиус поворота, м	12,6
Длина/ширина полуприцепа, м	15,5/2,5
Погрузочная длина/ширина/высота, м	10,3/2,5/1,7

* С тягачом КамАЗ-44108.



Рисунок 2. Принципиальная компоновочная схема гибридного автопоезда с дополнительным модулем



Рисунок 3. Автопоезд с гидрообъёмной трансмиссией (ГОТ)

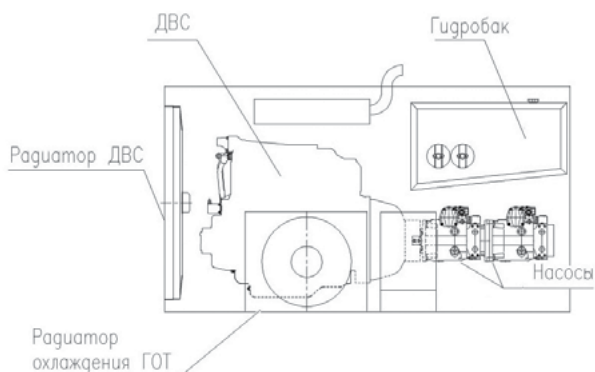


Рисунок 4. Схема расположения основных узлов АНС

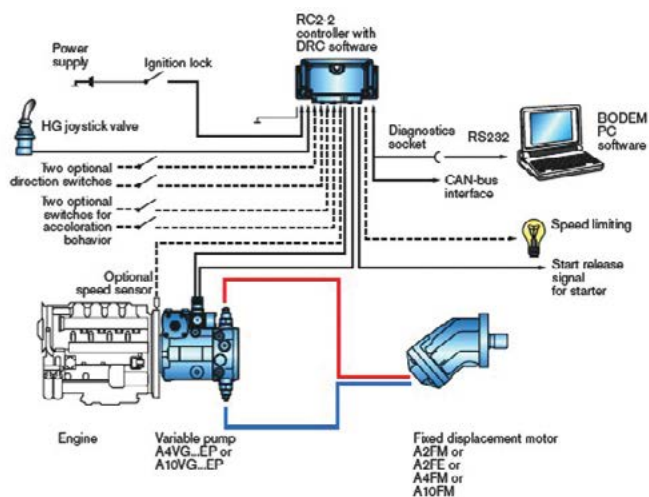


Рисунок 5. Структурная схема САУ многоприводного транспортного средства с гидрообъемным приводом

одной из наиболее актуальных проблем при разработке современной мобильной техники. Однако в настоящее время общепринятых методов построения систем управления регулирующими трансмиссиями ещё не существует. Теория автоматического управления сложными мехатронными системами, к которым относится автопоезд, продолжает формироваться.

Основную проблему при создании систем управления силовым приводом колёс прицепного звена представляет собой необходимость учёта многочисленных факторов, определяющих выбор оптимальных параметров управления.

Рассмотрим САУ многоприводного транспортного средства, которая может работать в разных функциональных режимах, таких как силовой, кинематический и ручной, на примере гидрообъемного привода. Структурная схема САУ [1] многоприводного транспортного средства с гидрообъемным приводом представлена на рис. 5.

1. Ручной режим осуществляется непосредственным управлением гидроприводом колёс активного полуприцепа путём регулирования его передаточного отношения. В ручном режиме положение управляющего устройства непосредственно задаёт величину управляющего тока, подаваемого на управляющие соленоиды регулируемых насосов, определяя тем самым передаточное отношение гидрообъемного привода.

Важным энергетическим показателем автомобиля с гидрообъемной трансмиссией является КПД трансмиссии. Поэтому в зависимости от способа регулирования рабочих гидромашин трансмиссии можно получить различное значение КПД. Например, при последовательном способе регулирования (рис. 6): происходит увеличение рабочих объёмов насосов от нуля до максимума, и после этого регулируются рабочие объёмы гидромоторов от максимального до минимального значения при максимальном значении рабочих объёмов насосов. При этом достигается простота организации системы управления, но с не-максимальным значением КПД гидромашин.

В ходе исследований регулируемой гидрообъемной трансмиссии к настоящему времени разработан алгоритм, позволяющий получить наибольшие значения КПД при комбинированном способе регулирования рабочих объёмов гидромашин. Этот способ заключается в следующем (рис. 7): увеличение рабочего объёма насоса при максимальном рабочем объёме гидромотора осуществляется до тех пор, пока суммарный КПД трансмиссии не достигнет наибольшего значения. После этого уменьшение передаточного отношения трансмиссии осуществляется за счёт изменения рабочего объёма гидромотора от максимального значения до минимального при сохранении рабочего объёма насоса неизменным. Дальнейшее уменьшение передаточного числа вновь будет связано с изменением рабочего объёма насоса до максимального значения.

2. Силовой режим — режим, в котором основным параметром управления является сила тяги, реализуемая ведущими колёсами активного полуприцепа, а регулирование гидрообъемного силового привода осуществляется по сигналу тензодатчика, расположенного в сцепном шкворне между тягачом и прицепным звеном.

Управляющим устройством задаётся рабочий диапазон тягового усилия, с которым осуществляется движение автопоезда, то есть входным параметром системы управления является заданный сигнал тензодатчика в сцепном шкворне (диапазон его изменения), а по величине отклонения измеряемого тягового усилия от заданного диапазона формиру-

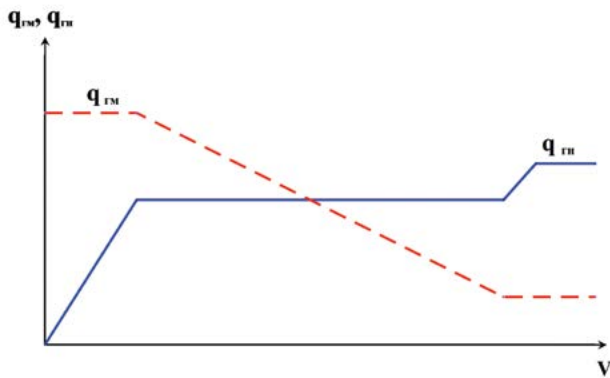


Рисунок 6. Последовательный способ регулирования рабочих объемов гидромашин

ется соответствующее управляющее воздействие на гидромашину. Силовой режим предусматривает движение автопоезда как с избыточным тяговым усилием, реализуемым активным полуприцепом (прицепное звено «подталкивает» тягач в тяжёлых дорожных условиях), так и с тяговым усилием, необходимым только для преодоления собственного сопротивления движению. Первому случаю соответствует рабочий диапазон в пределах отрицательных значений сигнала тензодатчика (выбирается при отклонении управляющего устройства); второму — в области нулевого значения сигнала тензодатчика.

3. Кинематический режим — режим, в котором основным параметром управления является скорость движения автопоезда, а регулирование привода осуществляется по данным о скорости вращения гидромоторов, давлении в гидромагистралях, угле наклона электронной педали водителя тягача и частоте вращения ДВС активного прицепа.

Основными принципами реализации кинематического режима являются:

- в условиях прямолинейного движения многоприводного транспортного средства САУ должна стремиться обеспечить как можно более близкие значения частот вращения ведущих колёс одинакового размера. При этом уменьшается вероятность срыва в пятне контакта ведущих колёс с опорной поверхностью и, следовательно, связанная с этим возможность потери проходимости, а также снижаются потери энергии на непроизводительное буксование и уменьшается вредное воздействие ведущих колёс на почву при движении по бездорожью;

- в условиях криволинейного движения многоприводного транспортного средства САУ должна стремиться обеспечить требуемое различие частот вращения ведущих колёс, обусловленное как их размерами, так и их положением относительно мгновенного центра поворота машины в данный момент вре-

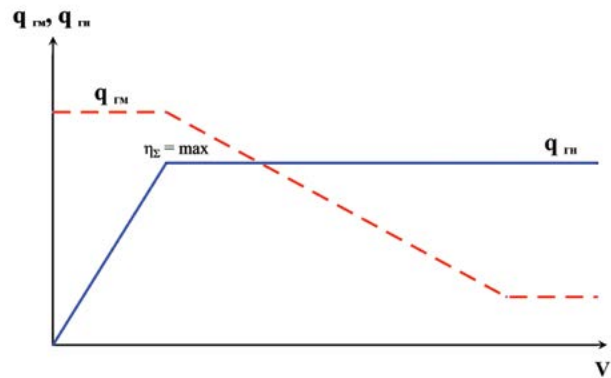


Рисунок 7. Комбинированный способ регулирования рабочих объемов гидромашин

мени, а также величиной угла поворота колёс, если эти колёса управляемые. При этом улучшается манёвренность транспортного средства, уменьшается сопротивление его движению и снижается вредное воздействие на почву при движении по бездорожью.

Таким образом, реализуемые с таким подходом системы адаптивного управления трансмиссией в режиме реального времени оценивают основные показатели совместной работы системы «автомобиль — двигатель — трансмиссия — движитель — опорная поверхность», что позволяет получить максимальное повышение эффективности использования многоосных транспортных средств при движении в тяжёлых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Белоусов Б.Н., Шухман С.Б. Прикладная механика наземных тягово-транспортных средств с мехатронными системами. — М.: Агроконсалт, 2013. — 612 с.
2. Шухман С.Б., Коркин С.Н., Переладов А.С. Метод оценки и расчёта разрушающего воздействия полноприводных автомобилей на почвогрунты: учеб. пособие. — М.: Агробизнесцентр, 2010. — 60 с.
3. Курмаев Р.Х., Коркин С.Н., Крамер А.С. Перспектива использования автономных гидравлических активных колёсных модулей в автопоездах повышенной проходимости // Грузовик Пресс. — 2012. — № 11. — С. 2–10.
4. Новый взгляд на активный автопоезд // Грузовик Пресс. — 2013. — № 5. — С. 10.