

УДК 623.1/.7

М.С. Камитов

студент, МАДИ,

тел.: +7(910)434-91-81,

e-mail: mkamitov@yandex.ru

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ МНОГООСНЫХ ПОЛНОПРИВОДНЫХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ КОНСТРУКЦИИ

Аннотация. В статье рассматривается эффективность существующих компоновочных схем полноприводных грузовых автомобилей и пути совершенствования конструкции.

Ключевые слова: дифференциалы, межосевое несоответствие, электрическая трансмиссия, КПД трансмиссии.

Введение

Основные заказчики полноприводных многоосных тягачей – это, в первую очередь, Вооруженные Силы Российской Федерации, за ними идут нефте- и горнодобывающие компании, а также частные предприниматели. Требование большого количества ведущих осей появляется с повышением полной массы грузового автомобиля, для уменьшения удельного давления на грунт и улучшения параметров геометрической проходимости. Не последнее место играют требования экологов по сохранению девственного ландшафта территорий, где работают подобные грузовые автомобили.

Помимо применения в Вооруженных Силах Российской Федерации многоосные полноприводные грузовые автомобили применяются на стройплощадках. Разработано множество компоновочных решений для различных условий работы.



Рис. 1. Полноприводный бортовой КамАЗ-6560 с колесной формулой 8x8

Колесные формулы

ВЫСОТА ШАССИ

H = высокая

S = средняя



Тягач 4x4: H Шасси: H



6x4 Трактор: S H Шасси: S H



Шасси 6x6: H



Шасси 8x4: S H



Шасси 8x4 с задней управляемой осью: S



Шасси 8x6: H



Шасси 8x8: H



Шасси 10x4 с задней управляемой осью: S H

Рис. 2. Варианты трансмиссий многоосных грузовых автомобилей.

Черным выделены ведущие оси, белым – ведомые

Однако с увеличением числа ведущих осей появляется проблема межколёсного и межосевого несоответствия, когда колеса одной оси или находящиеся по одной стороне вездехода проходят разный путь, при отсутствии или заблокированном дифференциале возникают сильные нагрузки на трансмиссию, возникает так называемая циркуляция

мощности в системе «трансмиссия – колёса – земля (асфальт)».

Дифференциал решает проблему циркуляции мощности. Он представляет собой развязывающую узловую точку (РУТ) в контуре мощности «трансмиссия – колёса – земля (асфальт)». Но есть обратная сторона медали: дифференциал, представляющий собой планетарный редуктор, имеет КПД 0,94...0,97. Если все переднеприводные автомобили, едущие по улицам общего пользования, имеют в трансмиссии один межколесный дифференциал, то с увеличением числа ведущих осей требуются дополнительные межосевые дифференциалы. Например, двухосный полноприводный грузовой автомобиль в общей сложности должен иметь 3 дифференциала (два межколёсных и один межосевой), 3-осный – пять, 4-осный – семь и т.д. Каждый дифференциал – это дополнительный редуктор, снижающий общий КПД трансмиссии. На этом этапе возникает важный вопрос – как снизить общее количество межосевых и межколёсных дифференциалов и найти дополнительные способы повышения КПД трансмиссии.

Причины возникновения межколёсного и межосевого несоответствия

Основные факторы, влияющие на кинематическое несоответствие:

- разное давление в шинах;
- дефекты изготовления шин и разная степень износа левых и правых колес;
- поворот транспортного средства.

Рассмотрим подробнее факторы, влияющие на кинематическое несоответствие:

- 1) конструктивно-эксплуатационные факторы (давление в шинах и конструкция шин)

$$X_{\text{МК}} = (1 - r_k^B \cdot i_m / r_m^B \cdot i_k) \cdot 100\%,$$

где r_k^B, r_m^B – радиусы качения в ведомом режиме ($M_k = 0$),

i_m, i_k – передаточные числа приводов колес.

Разность r_k в 10 мм создаёт осевое несоответствие 1–1,5%. Сильное различие в давлениях колёс создаёт несоответствие 1–4%;

2) криволинейное движение. Вследствие разного пути, который проходят колеса при повороте.

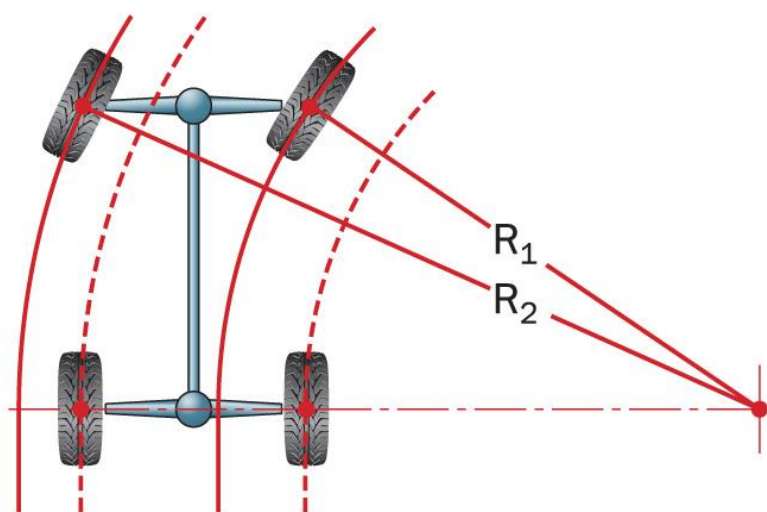


Рис. 3. Наглядная схема четырёхколесного двухосного автомобиля, показывающая, что каждое колесо имеет свой радиус поворота и проходит разный путь

Наибольшая циркуляция мощности возникает при повороте транспортного средства. Несоответствие достигает величины от 5 до 30%;

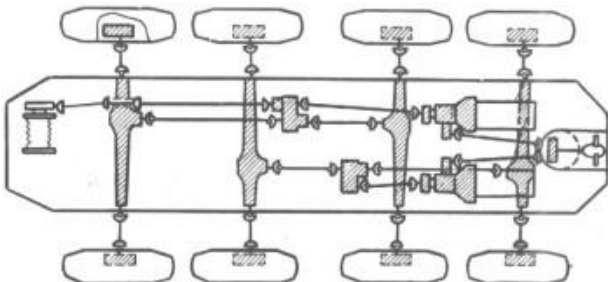
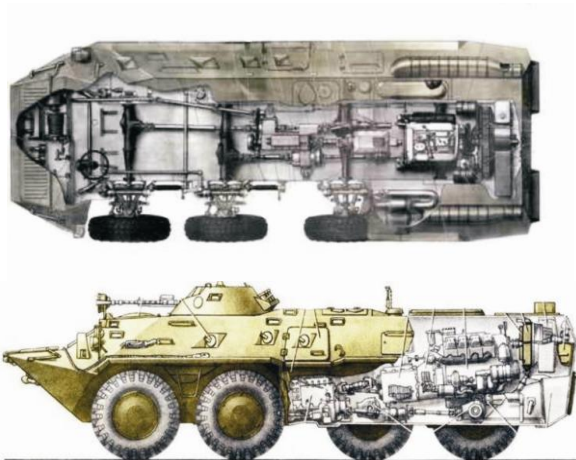
3) неровности дороги. При движении по сильнопересеченной местности наблюдается такое явления, что когда автомобиль движется прямо, руль не повернут ни в одну, ни в другую сторону, однако его правые и левые колеса проходят разный путь из-за того, что рельеф сильно меняется в промежутке между колесами одной оси;

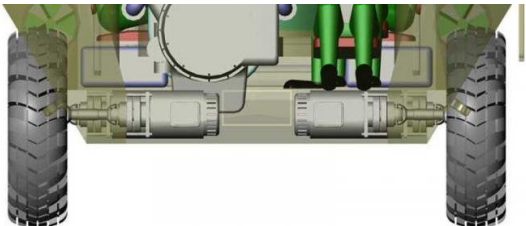
4) упругий момент в ведущей оси. $M_{2-1} = M_2 - M_1$. Возникает в замкнутом контуре и компенсирует кинематическое несоответствие.

Рассмотрим подробнее различные варианты трансмиссий внедорожных грузовых автомобилей с колесной формулой 8x8.

Таблица 1

Сравнение различных трансмиссий 8х8

№	Наименование ТС	Схема трансмиссии	Описание
1	БТР-60		В кормовой части установлены два двигателя ГАЗ-49Б мощностью по 90 л.с. Каждый со своими четырехступенчатой коробкой передач и двухступенчатой раздаточной коробкой. Левый (по ходу машины) двигатель обслуживал вторую и четвертую пару ведущих колес, а правый – первую и третью. Каждое колесо имело дополнительный редуктор, что позволило увеличить дорожный просвет до 465 мм. Две передние оси управляемые, момент передаётся через шарнир равных угловых скоростей.
2	БТР-80		Конструкция БТР-80 кардинально отличается от БТР-60. Вместо двух двигателей стоит один КамАЗ-7403. Через двухдисковое сухое сцепление момент двигателя передается пятискоростной коробке передач. Вместо двух раздаточных коробок стоит одна межосевая двухступенчатая раздаточная коробка передач, по принципу дифференциала делящая крутящий

№	Наименование ТС	Схема трансмиссии	Описание
			момент на два потока (1–3 и 2–4 ведущие мосты) с принудительной блокировкой. Коробка переключения передач связана с раздаточной через карданную передачу
3	БТР-90 (прототип)	 	Трансмиссия с микропроцессорной системой управления, силовые преобразователи электроэнергии (инверторы), восемь тяговых электродвигателей вентильно-индукторного типа со встроенным планетарным редуктором. Двигатель внутреннего сгорания приводит во вращение ротор-генератор, который вырабатывает переменный ток. Затем переменный ток преобразуется в постоянный. Генератор управляемый, электромагнитный, согласуется с режимом работы ДВС. Электрическая энергия подается на электродвигатели через инвертор и параллельно на накопители. Бронетранспортер может передвигаться бесшумно на малых скоростях, используя только электроэнергию

Расчёт КПД схемы привода БТР-60

Рассмотрим привод 1-й и 3-й ведущей оси от правого двигателя. Крутящий момент двигателя по пути передачи на ведущие колеса преодолевает множество препятствий: карданных шарниров, коробок передач, дифференциалов. Рассмотрим подробнее.

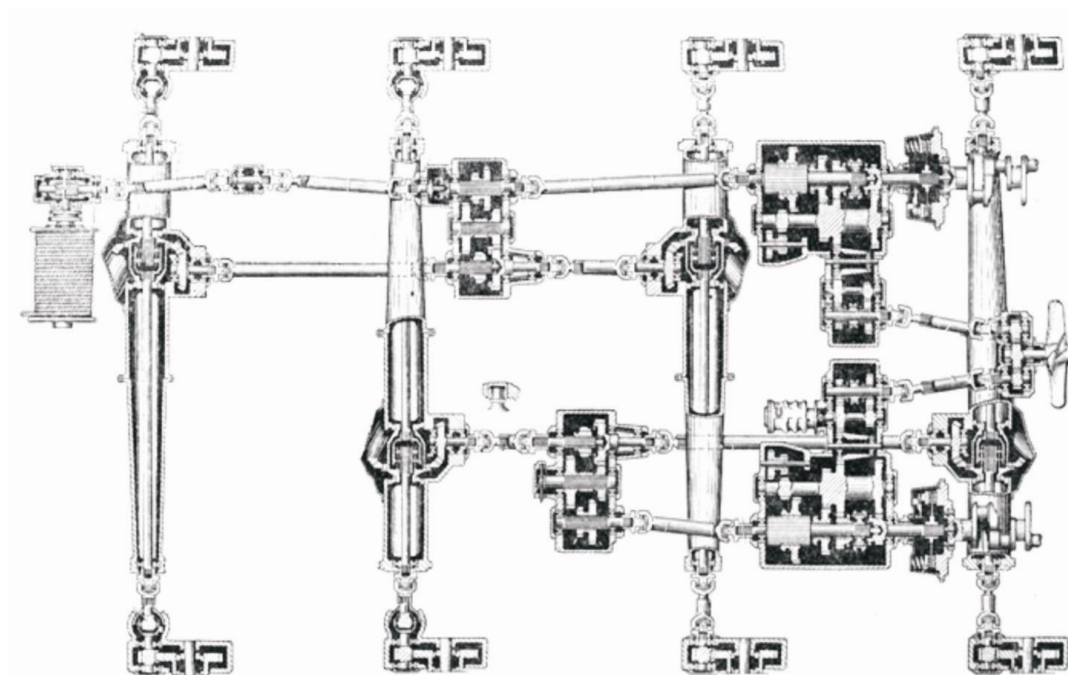


Рис. 4. Трансмиссия БТР-60.

КПД карданного шарнира 0,99. Между двигателем и коробкой передач 2 карданных шарнира. 2 карданных шарнира по пути к раздаточной коробке. Затем 2 карданных шарнира на привод 1-й и 3-й ведущей оси. Редуктор 1-й и 3-й оси имеет КПД 0,96. Шарнир равных угловых скоростей привода ведущих колес с КПД, меняющимся в зависимости от угла поворота колёс, примем среднее значение 0,95. КПД дополнительного редуктора в колесе 0,98 КПД коробки передач – 0,95. Стоит отметить, что потери также возникают в раздаточной коробке, коэффициент полезного действия которой равен 0,96. Потери мощности возникают и в сцеплении и составляют 6–7%. Соответственно, общий КПД $(0,99)^6 \cdot (0,96)^2 \cdot 0,98 \cdot (0,95)^2 \cdot 0,94 = 0,721$. В качестве вспомогательного

оборудования трансмиссия БТР-60 оборудована валами отбора мощности для привода водомета и лебедки. В конструкцию включаются дополнительно 6 карданных шарниров (4 на лебедку, 2 – водомёт). В таком случае КПД составит $0,744(0,99)^6 = 0,679$.

Расчёт КПД схемы привода БТР-80

Теперь, если сравнить со схемой привода БТР-80, можно заметить различия. Коробка передач жестко прикреплена к двигателю, получаем выигрыш в общем КПД за счёт упразднения 2 карданных шарниров. Часть мощности теряется в сцеплении – 0,94. Затем имеем 2 карданных шарнира от коробки передач к раздаточной коробке и ещё 2 от раздаточной коробки до ведущих мостов. Потери происходят в редукторе ведущего моста, шарнире равных угловых скоростей и колесном редукторе. Аналогично, имеем потери в коробке передач и раздаточной коробке – 0,95 и 0,96 соответственно. Получаем КПД приводной схемы БТР-80: $0,94 \cdot (0,95)^2 \cdot (0,99)^4 \cdot (0,96)^2 \cdot 0,98 = 0,736$.

Как видим, даже усовершенствование механического привода не даёт серьезного выигрыша в общем КПД.

Поэтому необходимо искать принципиально новые способы передачи крутящего момента от двигателя ведущим колесам.

Расчёт КПД схемы привода БТР-90 (прототип)

Принципиально иным типом трансмиссии является электрическая передача. Она состоит из двигателя внутреннего сгорания, генератора переменного тока с выпрямителем, полученный постоянный ток либо сразу поступает на питание двигателя постоянного тока, либо через инвертор к асинхронному двигателю. Это так называемая «непрозрачная» схема, когда частота вращения на выходе никак не связана с частотой двигателя внутреннего сгорания. Наибольшего КПД генератор

переменного тока достигает при работе на полную мощность – 0,95 и более. Причем, чем мощнее генератор, тем выше КПД. Про инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный, нельзя определенно сказать, какой у него КПД, он зависит от нагрузки.

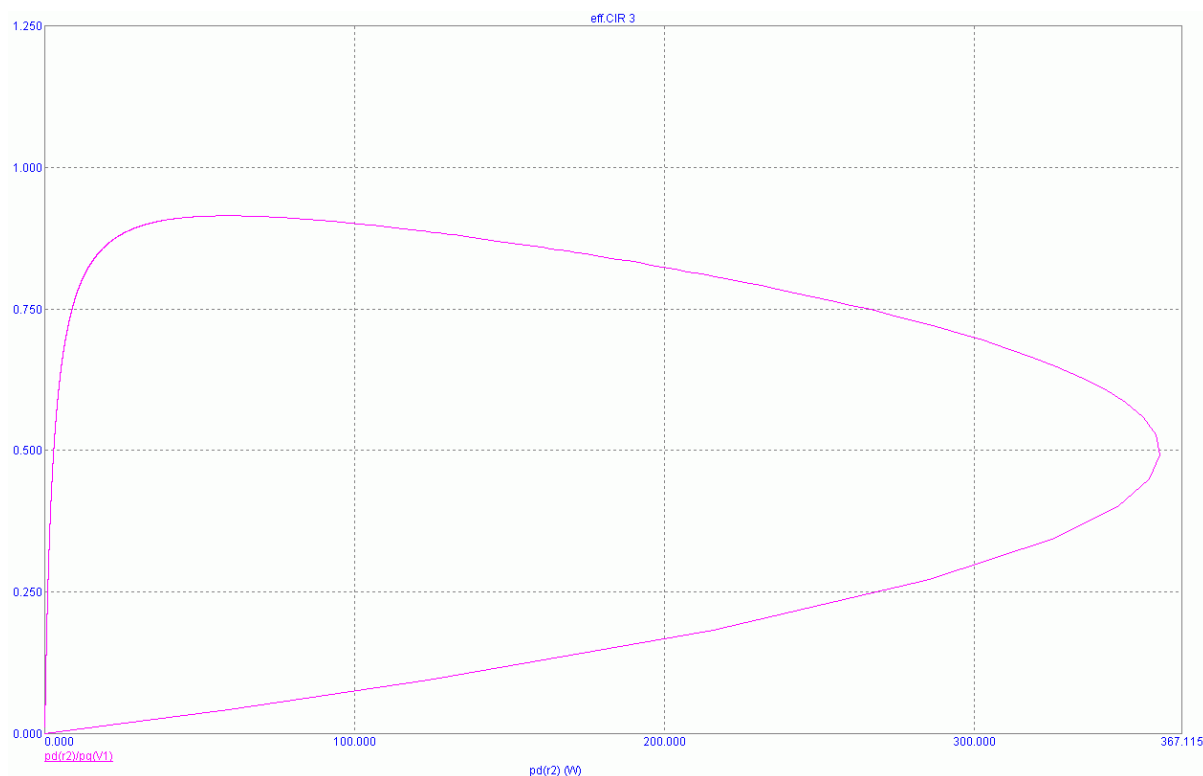


Рис. 5. Зависимость КПД инвертора (преобразователя) от передаваемой мощности

На приведенном графике зависимости КПД от выходной мощности нижняя ветвь соответствует режиму перегрузки преобразователя. Нас интересует верхняя часть графика. Как видим, при определенной выходной мощности КПД достигает 93%. Выделяется широкий диапазон работы преобразователя, в котором КПД больше 85%.

И наконец, собственно электродвигатель. По сути, электродвигатель – это тот же генератор, но в первом случае из электрической энергии получаем механическую, а во втором – наоборот, из механической электрическую. Электродвигатель имеет ту же особенность, что и генератор переменного тока – высокий КПД с увеличением мощности. В

последнее время появились энергосберегающие электродвигатели. В них применяется высококачественная электротехническая сталь, уменьшен воздушный зазор в статоре, подшипники более высокого класса и т.д. На тяжелых полноприводных грузовиках нужна большая мощность для перевозки грузов и бронетехники по пересеченной местности.

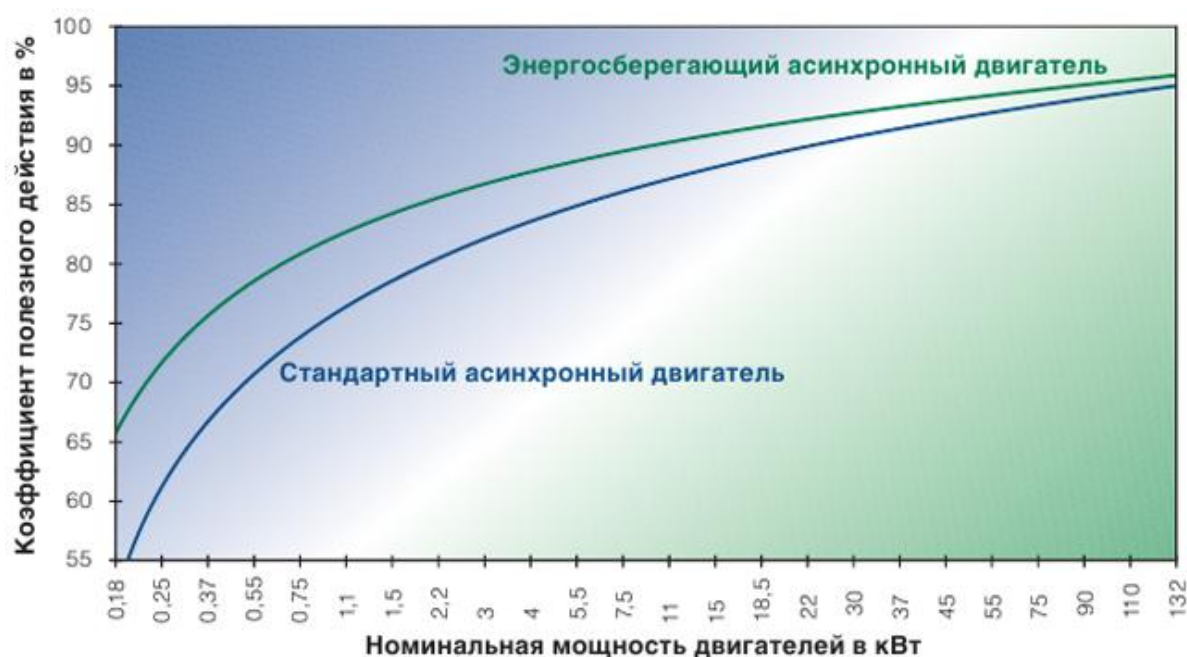


Рис. 6. Зависимость КПД электродвигателя от мощности

На приведенной диаграмме зависимости коэффициента полезного действия от номинальной мощности видно, как достигается эффективность до 95%, а у энергосберегающих – до 96%. КПД вентильно-индукторного двигателя (ВИД) выше, чем у асинхронного двигателя. Примем 0,97.

Обобщая все вышесказанное, получаем общий КПД электрической трансмиссии: $0,97 \cdot 0,93 \cdot 0,95 = 0,856$. То есть по сравнению с БТР-80 или БТР-60 с механической трансмиссией, БТР-90 на 10–12% эффективнее. В глобальном масштабе это подразумевает сокращение потребления горючего, использование меньшего топливного бака, экономию средств.

Анализ оптимального количества дифференциалов

Как говорилось ранее, если рассматривать полноприводные автомобили с точки зрения нужд Вооруженных Сил, то они необходимы для транспортировки и буксировки военной техники, танков, бронемашин. Большим потенциалом обладают четырех и пятиосные тяжелые машины. Рассмотрим четырехосный полноприводный грузовик. Как говорилось ранее, для нормальной работы трансмиссии ему необходимо 7 дифференциалов, значительно снижающих КПД. С другой стороны, силовую установку можно дополнить электродвигателями, в таком случае дизельный двигатель играет роль генератора. В идеале требуется поставить 8 электромоторов, на каждое ведущее колесо, дифференциалы не требуются. Но получается сложная система управления, со множеством датчиков. Как вариант можно рассмотреть схему, когда перед межколесным дифференциалом установлен один электромотор, на каждой оси. В этом случае общее количество дифференциалов снижается с 7 до 4, за счет упразднения межосевых.

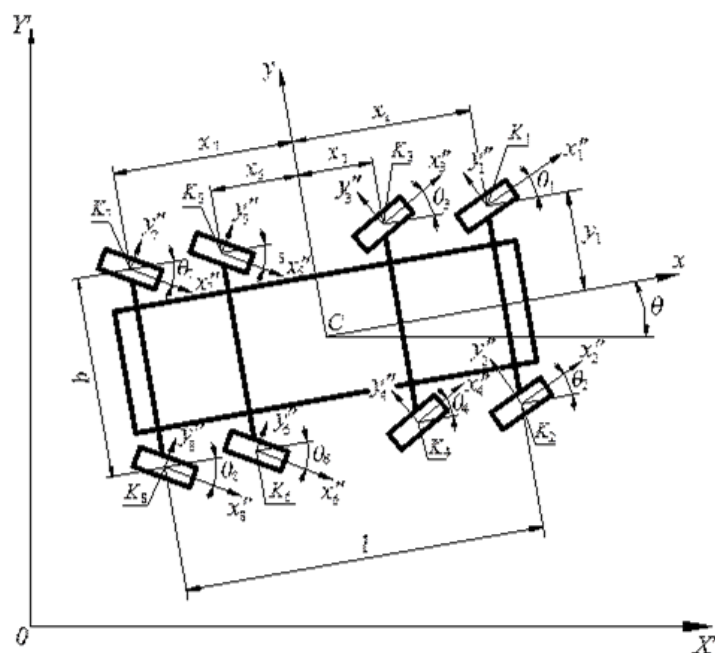


Рис. 7. Схема сил, действующих на полноприводный грузовой автомобиль 8x8 при повороте

Для тяжелого бездорожья устанавливаются блокировки межколёсных дифференциалов, обеспечивается превосходная проходимость, КПД трансмиссии и расход топлива улучшаются. Встает вопрос управления такой трансмиссией, поскольку грузовик хотя бы иногда выезжает на асфальт либо совершает маневры в ремонтной зоне, соответственно нельзя забывать о том, что его колеса проходят разный путь при поворотах. В таком случае можно использовать четырёхосный автомобиль, у которого две средние оси установлены рядом, а передняя и задняя являются управляемыми. При использовании данной схемы при поворотах возникает межосевое несоответствие всего 2–4%, что сравнимо с влиянием разной накачки шин либо их небольшого конструктивного несоответствия. Что касается межколесного несоответствия, то оно решается с помощью 4 дифференциалов, которые блокируются при езде по пересеченной местности. В итоге имеем возможность подавать на все электромоторы одинаковую мощность, что значительно упрощает конструкцию и алгоритмы управления.

Выводы

Анализ существующих компоновочных решений полноприводных грузовых автомобилей показал:

- в трансмиссии со множеством карданных передач, сцеплением, коробкой передач, раздаточной коробкой, шарнирами равных угловых скоростей теряется ощутимая часть энергии двигателя (26–28%);
- усовершенствование механической трансмиссии не даёт серьёзного выигрыша в общем КПД трансмиссии;
- радикальный способ увеличения КПД трансмиссии – применение электрической передачи. КПД увеличивается на 10–12%;
- на четырёхосном полноприводном грузовом автомобиле возможно уменьшить количество дифференциалов с семи до четырех не в ущерб

трансмиссии. Подходит схема автомобиля, у которого вторая и третья оси неуправляемые и установлены рядом, а первая и четвертая – управляемые. По такому принципу построен грузовик Renault, у которого две ведущие оси – вторая и третья.



Рис. 8. Грузовик Renault с колесной формулой 8x4/4



Рис. 9. Схема трансмиссии грузового автомобиля Renault с колёсной формулой 8x4/4

Данная статья написана в ходе выполнения работы в соответствии с программой стратегического развития МАДИ.

Литература

1. Гладов Г.И., Петренко А.М. Специальные транспортные средства: Проектирование и конструкции. М.: ИКЦ: Академкнига, 2004. 320 с.
2. Аксенов П.В. Многоосные автомобили: Теория общих конструктивных решений. М.: Машиностроение, 1980. 207 с.
3. Конструкторы «ВПК» создали шасси «Крымск» с гибридной энергоустановкой для перспективного БТР // URL: <http://www.sdelanounas.ru/blogs/37083/>
4. Трансмиссия БТР-60 // URL: <http://www.niva4x4.ru/viewtopic.php?t=25629&start=15&postdays=0&postorder=asc&highlight=>

5. История развития плавающих бронированных машин СССР и России// URL: http://www.xliby.ru/transport_i_aviacija/tehnika_i_vooruzhenie_2000_08/p2.php

References

1. Gladov G.I., Petrenko A.M. *Special'nye transportnye sredstva: Proektirovanie i konstrukcii* (Special vehicles: Design and construction), Moscow, Akademkniga, 2004. 320 p.
2. Aksenov G.I. *Mnogoosnye avtomobili: Teoriya obshih konstruktivnyh resheniy* (Multiaxial cars: the General Theory of constructive solutions), Moscow, Mashinostroenie, 1980. 207 p.
3. Konstruktory «VPK» sozdali shassi «Krymsk» s gibridnoi energoustanovkoi dlya perspektivnogo BTR,
URL: <http://www.sdelanounas.ru/blogs/37083/>
4. Transmissiya BTR-60,
URL: <http://www.niva4x4.ru/viewtopic.php?t=25629&start=15&postdays=0&postorder=asc&highlight=>
5. Istoriya razvitiya plavayushih bronirovannyh mashin v SSSR I Rossii,
URL: http://www.xliby.ru/transport_i_aviacija/tehnika_i_vooruzhenie_2000_08/p2.php

M. Kamitov

Analysis of existing layout schemes of multiaxial AWD trucks and possible ways of improving the design

Abstract. In this article the effectiveness of the existing layout schemes of AWD trucks and ways of improving the design are considered.

Key words: differentials, axle mismatch, electric transmission, the transmission efficiency.