



КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ И МОЩНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Первоисточник: <http://craig.backfire.ca/pages/autos/horsepower>

Без претензий на авторское право текст видоизменил, приблизив его к более понятным для европейца единицами измерений, владелец сайта и гл. редактор журнала «АвтоСпециалист+» Дмитрий Титаренко



Цель изучения:

После самостоятельного изучения дополнительных материалов к Главе 37 читатель должен быть готовым:

- Объяснить значение терминов мощность и крутящий момент
- Переводить численные значения мощности, выраженной в лошадиных силах (л.с.) в киловатты
- Оперировать Традиционными единицами измерений, таких как фут (*ft*), фунт-силы (*lbf*) и производить перерасчет численных значений, выраженных в этих единицах в метрические единицы измерений.
- Объяснить, что значит термин «тяговая сила», и привести примеры формирования тяговой силы на колесах автомобиля
- Объяснить, что такое динамометрический стенд и рассказать, как производятся испытания двигателя с целью получения внешних характеристик двигателя
- Объяснить взаимосвязь мощности двигателя и крутящего момента, формируемого на фланце коленчатого вала двигателя
- Продемонстрировать понимание, как передаточное число коробки передач оказывает влияние на крутящий момент и мощность, передаваемую на ведущие колеса
- Рассказать о значении передаточного числа главной (финальной) передачи
- Производить сравнение возможностей автомобилей к движению с ускорением с различными вариантами комплектации двигателями, коробками передач и главной (финальной) передачей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

О мощности двигателя и крутящем моменте говорят многие, но мало кто четко понимает, что означают

эти два параметра, характеризующие потенциальные возможности двигателя. В этой статье мы попробуем разораться, как эти величины влияют на возможность автомобиля быстро разогнаться, и как эти величины влияют на возможность автомобиля буксировать прицеп.

Знаменитый американский автомобильный инженер и талантливый гонщик Кэрролл Шелби однажды изрек глубокомысленную фразу:

«Лошадиные силы продают автомобили, а крутящий момент выигрывает гонки»

Предлагаю разобраться, насколько правдиво это изречение?

Часть 1: МОЩНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ

КАК РАБОТАЮТ ЛОШАДИНЫЕ СИЛЫ

Скорее всего, Вы не раз слышали о лошадиных силах. Журналы и телевидение упоминают это, люди в разговорах об автомобилях обмениваются этим определением, и даже на газонокосилках красуется наклейка с числом «лошадок», спрятанных внутри них. Но что такое мощность, и каким образом термин «лошадиная сила» характеризует производительность автомобиля?

В этой части статьи Вы узнаете, что же такое лошадиная сила, и как Вам представить тот объем работы, которую может выполнить автомобиль, наделенный большим или малым количеством лошадиных сил.



РЕМАРКА:

Поскольку публикация этой статьи рассчитана на самостоятельное изучение во время выполнения домашнего задания, стиль изложения – популярный, не сильно обремененный требованиями стандартов. Нумерация приведенных рисунков показывает: CP – самостоятельная работа; 37 – номер главы в учебнике «Автомобильные технологии. Диагностика, сервис, и ремонт». Главы этого учебника помещены на этом сайте в разделе «Колледж» >> «Техник механик».

Термин **«Лошадиные силы»** был введен Джеймсом Ваттом (Уаттом). Талантливый инженер Джеймс Ватт (1736...1819) был хорошо известен в научных кругах того времени за свою работу, направленную на повышение эффективности парового двигателя. Мы часто упоминаем фамилию Ватта, когда говорим о лампочках, или усилителях звуковой аппаратуры.

История гласит, что Ватт работал на угольной шахте, используя лошадей в качестве тягловой силы для подъема угля, и задался целью сравнения возможностей лошадей к этой изнурительной работе.



Рисунок SP37-01: Джеймс Ватт высчитал, что мощность одной лошади составляет 33000 фунтов-силы-фута; источник: *craig.backfire*

Он высчитал, что одна лошадица может за минуту выполнить 22000 фут-фунт-силы работы за одну минуту ($0,0082855 \times 60 = 0,497133$ кВт-ч). Ватт увеличил эту силу на 50% и получил 33000 фут-фунт-силы работы за одну минуту ($0,7456995$ кВт-ч), которую и привязал к потенциальной возможности одной лошади к работе.



РЕМАРКА:

Фунт – единица измерения массы и веса принятая в Великобритании, Соединенных Штатах Америки и других странах содружества наций (Британского содружества). Слово фунт пришло из латыни (*pondus* – означает вес). Сокращение *lb*, принятое для обозначения фунта, также произошло от латинского слова *libra* (в переводе – весы), которым обозначали меру веса, аналогичную фунту в древнем Риме.

Одна тонна (*ton, t*), согласно Британской системе мер это 2240 фунтов, тонна по-американски – 2000 фунтов. Чтобы отличать от американских Британские центнер и тонну принято называть длинными (*long ton, long hundredweight*), американские аналоги получили название коротких (*short ton, short hundredweight*).

22000 фунтов равно 9979 килограмм.

Фут (англ. *foot* – ступня) – единица измерения расстояния в американской традиционной системе мер и равная точно $1200/3937$ метра = $0,3048$ метра.

Фут-фунт или **фут-фунт-сила** — традиционная американская и британская единица механической работы и энергии, приблизительно равная 1,36 джоуля в единицах СИ. Это работа, выполненная силой в один фунт-сила по перемещению тела на расстояние один фут.

Работа в 22000 фут-фунт-силы (lb-ft) численно равно работе 3041,6 килограмм-сила-метр, или 29828 ньютон-метр = 29828 джоулей.

33000 фут-фунт-силы численно равно 44742 джоулей. Единица измерения работы и энергии, а также количества теплоты в Международной системе единиц (СИ) – джоуль (Дж). Джоуль (Дж) равен работе, совершаемой при перемещении точки приложения силы, равной одному ньютому, на расстояние одного метра в направлении действия силы/

Часто используются и другие единицы измерения, такие как киловатт-часы или килокалории.

33000 фут-фунт-силы за одну минуту численно равно 0,7456995 кВт-ч.

Лошадиная сила – внесистемная единица измерения, которая проделала свой путь через века, и сегодня применяется при описании возможностей Вашего автомобиля, газонокосилки, Вашей цепной пилы и даже, в некоторых случаях, пылесоса.

Лошадиная сила означает: по Джеймсу Ватту – одна лошадь может произвести 33000 фут-фунт-силы в минуту.

Представьте себе лошадь, показанную на рисунке SP37-01, которая поднимает уголь из шахты.

Лошадь, мощностью 1 лошадиная сила, может поднять на 100 футов (на 30,5 метров) 330 фунтов (149,7 кг) угля за 1 минуту, или 33 фунтов (14,97 кг) угля на 1000 футов (305 метров) за 1 минуту, или 1000 фунтов (453,59 кг) на 33 фута (10,6 метров) за 1 минуту.

Вы можете составить любую комбинацию футов и фунтов силы, или килограммов и метров, какая Вам понравится, но произведение этих величин должно быть 33000 фут-фунт-силы, или 4562,42 килограмм-силы-метр, причем эта работа должна быть выполнена за 1 минуту. Конечно же, Вы не должны загружать 33000 фунтов (около 15 тонн) угля в бадью, и заставить лошадь переместить этот груз на 1 фут (0,305 метров) в минуту, потому что никакая лошадь не сможет сдвинуть с места такой большой груз. Столь же невероятно предположить, что лошадь переместит 1 фунт (0,450 кг) угля в ведре со скоростью 33000 футов (10058,4 метров) в минуту, поскольку это выливается в 375 миль в час (603,5 км/ч), а лошадь не может бежать так быстро. Однако, если Вы хорошо знакомы с предметом Физика, в частности, возможностью использования неподвижных и подвижных блоков,

Вы легко сможете спроектировать блочную систему даже для самых невероятных вариантов очень тяжелых грузов, или очень резвых лошадок. В принципе, шахты могут быть очень глубокими, и, не применяя блочную систему, вынуть бадью с углем из такой шахты было бы затруднительно. Но для того мы учим, а Вы учитесь, чтобы смочь с помощью технических средств, в частности блочной системы, создать комфортные условия подъема посылного груза на необходимое расстояние.

Лошадиная сила может быть преобразована в другие единицы измерений.

Например:

- Одна лошадиная сила эквивалентна 746 ваттам. Поэтому, если Вы получили в распоряжение одну лошадиную силу в виде живой лошади, и отправили её на беговую дорожку ипподрома, она сможет непрерывно производить мощность, которая эквивалентна электрической энергии, вырабатываемой генератором, мощностью 746 ватт (0,746 киловатт).
- Если 1 лошадиная сила эквивалентна 0,746 киловаттам, то можно представить, что электрический нагреватель сможет выдать тепловую энергию 656,92 килокалорий за 1 час. Этой тепловой энергии хватит для того, чтобы нагреть 190 граммов воды за 1 минуту с 20°C до 100°C (от комнатной температуры до температуры кипения).



РЕМАРКА:

Приведенный пример нагрева воды справедлив при 100% КПД тепловой установки, то есть вся теплота была передана воде.

КАК ИЗМЕРИТЬ МОЩНОСТЬ?

Если Вы хотите узнать мощность двигателя, его необходимо подключить к динамометрическому стенду. Динамометр создает нагрузку на двигатель и измеряет мощность, которую может развить двигатель, воспринимая нагрузку.



РЕМАРКА:

Крутящий момент

Представьте, что у Вас большой торцевой гаечный ключ с 2-метровой рукояткой, и Вы прилагаете 10 кг силы к 2 метровой рукоятке. То же самое Вы сде-

лаете, прилагая крутящий момент, или вращающую силу 20 килограммометров (10 кг-силы к 2-метровой рукоятке) к головке болта. Поскольку мы привыкли крутящий момент выражать в ньютон-метрах, пересчитаем наш пример: пусть 10 кг силы (98,0665 ньютон) прилагаются к 1-метровой рукоятке, что равносильно крутящему моменту примерно равному 98 ньютон-метров.

Вы смогли бы получить те же 98 ньютон-метров крутящего момента путем приложения 1 ньютон к 98 метровой рукоятке или, что более реально, приложить силу 326,67 ньютон к концу 30 сантиметровой рукоятки.

По аналогии, если вы приложите к гайке крепления шкива, установленного на переднем удлинителе коленчатого вала, крутящий момент, то Вы сможете вращать коленчатый вал. Точно так же поршни двигателя через шатуны прилагают к кривошипам коленчатого вала вращающую силу, которая отбирается с коленчатого вала двигателя в виде крутящего момента. Динамометр измеряет этот крутящий момент.

Поскольку мощность – способность производить работу в единицу времени, крутящий момент, получаемый с коленчатого вала двигателя, следует умножить на угловую скорость вращения коленчатого вала. Напоминаю, что угловая скорость измеряется в радианах в секунду. Если длина окружности равна $2\pi d$, то 1 оборот в минуту будет равен $2\pi/60$ радианам в секунду.

А теперь пробуем подсчитать мощность двигателя, коленчатый вал которого вращается со скоростью 1000 оборотов в минуту, и с коленчатого вала можно снять крутящий момент 98 ньютон-метр.

1000 оборотов в минуту = 1000/60 оборотов в секунду = 16,667 оборотов в секунду, или $16,667 \times 2\pi = 104,72$ радиана в секунду.

Умножив 104,72 на 98, получим 10269 ватт, или 10,269 киловатт.

Если удвоить скорость вращения коленчатого вала двигателя, оставив тот же самый крутящий момент, то удвоится и мощность двигателя. и т.д.

Вы можете получить представление о том, как работает динамометр, рассмотрев следующий пример: представьте, что вы запускаете двигатель автомобиля, поставив КПП в нейтральное положение, и нажимаете педаль акселератора в пол. Ничем не сдерживаемый коленчатый вал двигателя будет раскручиваться с ускорением, и если не сработает электронная отсечка топливopодачи, двигатель попросту взорвется. Это

не тот результат, которого мы ожидаем, поэтому к коленчатому валу двигателя подключают динамометр, который прилагает нагрузку, позволяя двигателю при положении педали газа в пол, достигать различных оборотов.

- Вы можете подключить динамометр, и, вжав педаль газа в пол, подать на коленчатый вал двигателя нагрузку, которая удержит двигатель, скажем, на 7000 оборотах в минуту. Запишите, при какой нагрузке двигатель способен удерживать эти обороты.
- Затем Вы приложите дополнительную нагрузку, и двигатель снизит обороты, например, до 6500 оборотов в минуту, и Вам вновь предстоит записать этот новый уровень нагрузки.
- Следующим шагом Вы добавите очередную порцию нагрузки, которая снизит обороты до 6000, и далее в том же духе.
- И так Вы должны добавлять нагрузку, чтобы обороты снижались с шагом в 500 оборотов в минуту, пока не достигните уровня 1000 оборотов в минуту, а затем, постепенно снижая нагрузку, проделать тот же путь вверх, повышая обороты к исходным 7000 оборотам в минуту (мин^{-1}).

После завершения испытаний нагрузкой Вы должны будете пересчитать полученные результаты нагрузки в мощность, применив следующую формулу:

$$P_{\text{вал}} = \frac{M_{\text{кр}} [\text{Н} \cdot \text{м}] \times n [\text{мин}^{-1}]}{9549}$$

Рисунок СР37-02: По этой формуле можно высчитать мощность двигателя, выраженную в киловаттах, зная величину крутящего момента, и обороты двигателя, на которых сформирован этот крутящий момент



РЕМАРКА:

О том, откуда взялось число 9549 мы расскажем чуть позже, во второй части этой статьи.

ГРАФИЧЕСКОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ МОЩНОСТИ

Если Вы отобразите на листе бумаги графическую зависимость расчетных значений мощности от числа оборотов коленчатого вала двигателя, у Вас получится кривая, которая называется внешней мощностью характеристикой двигателя.



РЕМАРКА:

График зависимости мощности от скорости вращения коленчатого вала назван внешней характеристикой двигателя потому, что в нашем распоряжении находится любое значение мощности, лежащее под графической кривой мощности, а вот получить значение выше кривой мощности не удастся, то есть кривая мощности указывает предельную внешнюю нагрузку, которую может «потянуть» двигатель на данной скорости вращения коленчатого вала.

Типичная кривая мощности высокопроизводительного двигателя может выглядеть так, как это отображено графической кривой внешней характеристики 300-сильного двигателя Mitsubishi 3000 Твин-турбо:

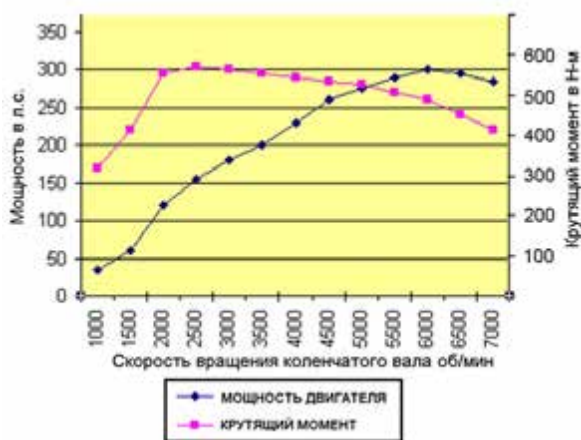


Рисунок СР37-03: Графическое отражение результатов испытаний двигателя Mitsubishi 3000 Twin Turbo; источник: craig.backfire

На графике внешних характеристик двигателя отображены точки, соответствующие нагрузке в виде крутящего момента, формируемого двигателем, и пиковая мощность для каждой из частот вращения коленчатого вала испытуемого двигателя. Здесь же можно увидеть, что испытуемый двигатель имеет максимальное значение крутящего момента на определенной скорости вращения коленчатого вала двигателя.

Читателям популярных автомобильных журналов технические характеристики двигателя чаще всего представлены в таком виде: «320 л.с. при 6500 мин^{-1} ; 393 Н·м при 5000 мин^{-1} ».

Когда Вы слышите фразу «Низкооборотный крутящий момент» это значит, что пик крутящего момента, создаваемого двигателем, лежит в пределах от 2000 до 3000 оборотов в минуту.

В ряде публикаций Вы можете увидеть графическое отображение мощности и крутящего момента, где Вы

Таблица CP37-1: Относительные сведения об некоторых автомобилях

	Мощность в лошадиных силах	Вес (кг)	Отношение мощности к весу	Разгон от 0 до 100 км в час (секунд)	Цена
<i>Dodge Viper</i>	450	3,320	0.136	4.1	\$66,000
<i>Ferrari 355 F1</i>	375	2,975	0.126	4.6	\$134,000
<i>Shelby Series 1</i>	320	2,650	0.121	4.4	\$108,000
<i>Lotus Esprit V8</i>	350	3,045	0.115	4.4	\$83,000
<i>Chevrolet Corvette</i>	345	3,245	0.106	4.8	\$42,000
<i>Porsche Carrera</i>	300	2,900	0.103	5.0	\$70,000
<i>Mitsubishi 3000GT Twin-Turbo</i>	320	3,740	0.086	5.8	\$45,000
<i>Ford Escort</i>	110	2,470	0.045	10.9	\$12,000

легко отыщите количество оборотов, при которых двигатель развивает максимальную мощность или максимальный крутящий момент.

При попытке быстро разогнать автомобиль, Вы будете удерживать обороты двигателя близкими к тем, где кривая мощности показывает пиковое значение. При попытке совершить обгон часто прибегают к переключению передач на одну ступень вниз, что позволит двигателю оказаться в зоне оборотов, соответствующих максимальной мощности. Если же Вы хотите оказаться первым после включения разрешающего сигнала светофора, Вы разгоняете двигатель до оборотов, близким к пиковой мощности, и затем, используя сцепление, постараетесь подвести максимальную тяговую силу к ведущим колесам автомобиля.

МОЩНОСТЬ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Автомобиль считается высокопроизводительным, если отношение его мощности к весу высоко. Несомненно, чем больше вес автомобиля, тем большую мощность потребуется подвести к ведущим колесам, чтобы разогнать автомобиль. Чтобы сделать ускорение как можно большим, необходимо, не меняя мощности, уменьшить вес автомобиля.

В таблице CP37-1 для сравнения приведены технические характеристики некоторых высокопроизводительных автомобилей, и одного маломощного автомобиля для сравнения. Вашему вниманию будут представлены: пиковая мощность двигателя, вес автомобиля и отношение мощности к весу (сколько лошадиных сил приходится на единицу веса), а также время разгона от 0 до 100 км/ч. Для сравнения представлены и приблизительные цены автомобилей.

Вы сможете увидеть определенную зависимость между мощностью и разгоном от 0 до 100 км/ч, и в подав-

ляющем большинстве случаев большая мощность сопутствует быстрому разгону автомобиля. Интересно отметить, что соотношение между скоростью и ценой не столь очевидно. Так *Dodge Viper* в этой таблице выглядит, как очень привлекательное вложение денег в лошадиные силы.

Если Вы хотите получить быстрый автомобиль, Вам надо найти наилучшее отношение мощности к весу. Это значит, что Вам потребуется автомобиль, наделенный максимальной мощностью при минимальном весе.

Часть 2: КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прежде всего, оговорим некоторые допущения, которыми мы будем оперировать в поисках истины.

1. Дорожное покрытие не оказывает существенного сопротивления движению автомобиля.
2. Автомобиль не испытывает какого-либо аэродинамического сопротивления.
3. Автомобиль движется по ровной плоской поверхности
4. В трансмиссии автомобиля отсутствуют механические и гидравлические потери, то есть трансмиссия автомобиля – идеальна.
5. Транспортное средство постоянно находится в движении, то есть его скорость ни в какой момент времени не является нулевой.
6. Переключение передач происходит моментально.
7. Дроссельная заслонка автомобильного двигателя всегда открыта на 100%
8. Двигатель автомобиля – атмосферный, то есть, не оснащен ни механическим, ни газотурбинным наддувом.

Очевидно, что ни одно из этих допущений невозможно в условиях реального движения (за исключением

восьмого пункта), но эти допущения позволят упростить понимание многих аспектов движения автомобиля.

Мощность двигателя будем измерять в лошадиных силах, но параллельно проведем расчеты и в условиях, когда мощность двигателя измеряется в киловаттах.

Крутящий момент будем измерять в фунтах-силы-футах, и параллельно будем проводить расчеты, когда крутящий момент будет измеряться в ньютон-метрах.

КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ

Крутящий момент – это сила, которая пытается вращать объект. Сила, прилагаемая к объекту на каком-

либо расстоянии от его центра масс, будет стремиться вращать объект вокруг его оси. Это легко увидеть в реальной жизни.

Если гаечный ключ надеть на головку болта, и к концу рукоятки гаечного ключа приложить силу, болт начнет вращаться.

Если же тяговое усилие приложить непосредственно к головке болта, то он не будет вращаться, потому что вектор силы будет проходить через ось вращения болта.

Величина крутящего момента определяется произведением величины прилагаемого усилия на расстояние, определяемое перпендикуляром, построенным к вектору прилагаемой силы.

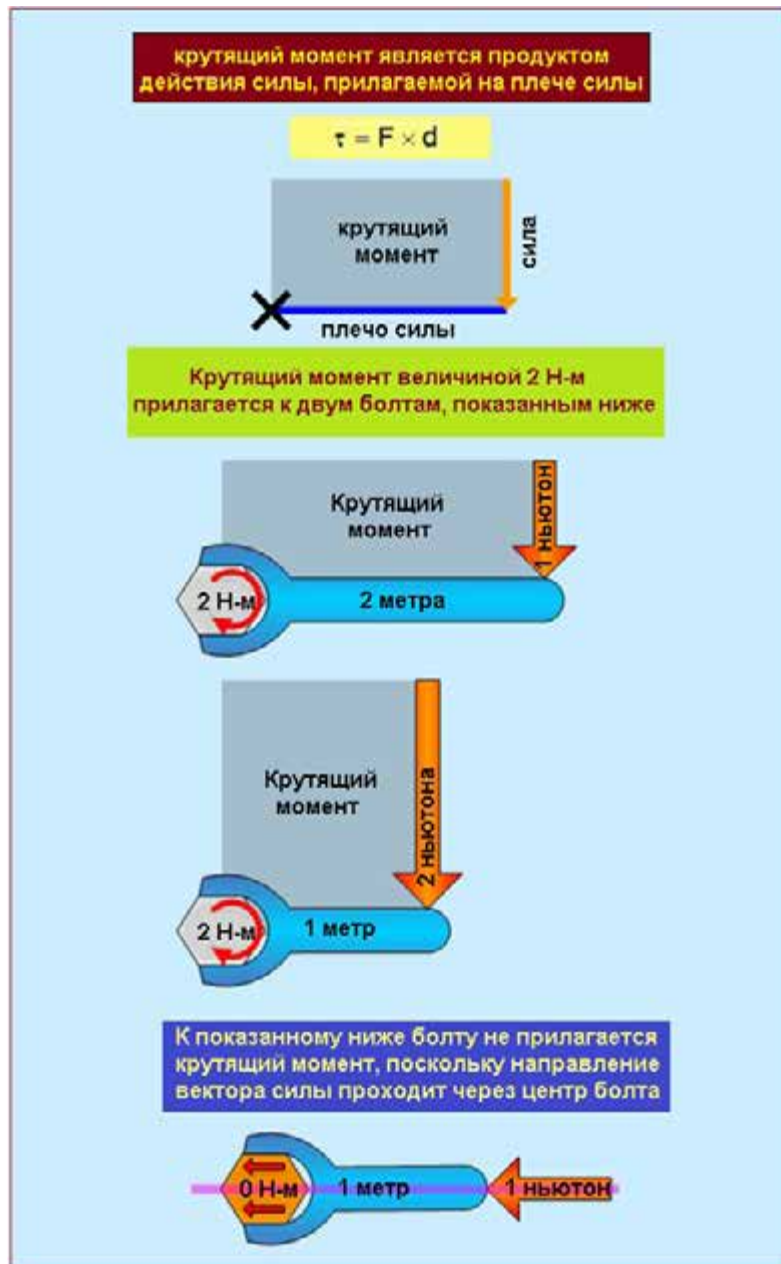


Рисунок CP37-04: Диаграмма, поясняющая сущность понятия «Крутящий момент»; источник: *craig.backfire*

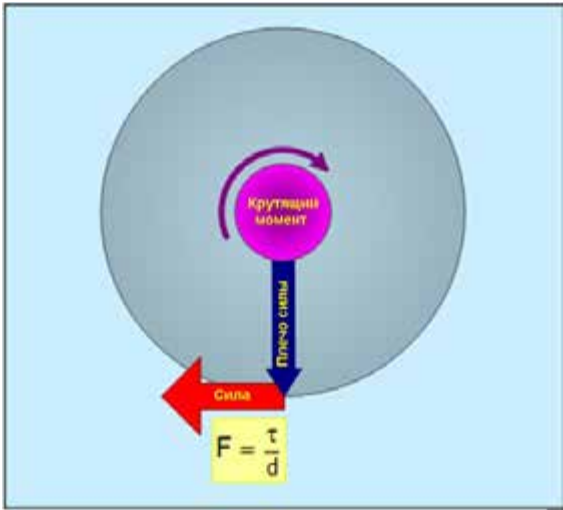


Рисунок CP37-05: Крутящий момент может быть реализован через силу тяги, прилагаемую к точке контакта колеса с дорожным полотном; источник: *craig.backfire*

Крутящий момент может быть использован для создания тяговой силы, прилагаемой на расстоянии, как это показано на рисунке CP37-04. На автомобиле крутящий момент, передаваемый на колесо, формирует тяговую силу, приложенную в точке контакта колеса с дорожным покрытием.

Рисунок CP37-05: Крутящий момент может быть реализован через силу тяги, прилагаемую к точке контакта колеса с дорожным полотном; источник: *craig.backfire*

РАБОТА.

Работа – это не совсем то, о чем обычно говорят, когда речь идет об автомобилях. Работа определяется как передача энергии от одной системы к другой, например, человек везет тележку.

Математически, работа – это произведение силы на расстояние, исходя из этого, единицей измерения работы является такая мера, как ньютон-метр или фунт-силы-фут.

Направление силы (или, по крайней мере, направление её составляющей) должно совпадать с направлением движения объекта, тогда можно говорить о проделанной положительной работе.

Если же прилагаемая сила не вызывает движения объекта, работа считается нулевой.

Если к движущемуся объекту приложить силу, вектор которой направлен в противоположном движению направлении, то эта сила будет вызывать замедление скорости движения, и, можно сказать, что прилагаемая (тормозящая) сила вызвала появление отрицательной работы.

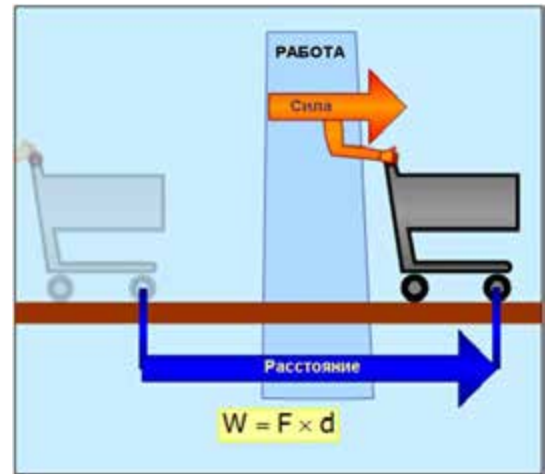


Рисунок CP37-06: Работа, прилагаемая к объекту, выражается произведением силы на расстояние; источник: *craig.backfire*

РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ КРУТЯЩИМ МОМЕНТОМ И РАБОТОЙ

Обратите внимание, что единицы измерения крутящего момента и работы отображаются произведением силы на расстояние, но крутящий момент и работа – это две разные вещи.

Крутящий момент выражается в виде силы, которая стремится вызвать вращение объекта, и это означает, что крутящий момент не вынуждает объект совершать прямолинейного движения по направлению приложения силы.

Работа является мерой передачи энергии между системами, которая может (а в ряде случаев и не может) быть получена с помощью силы тяги, сформированной крутящим моментом.



Рисунок CP37-07: Различие между крутящим моментом и работой выражается видом перемещения объекта; источник: *craig.backfire*

На крутящемся валу работа выполняется силой, сформированной крутящим моментом.

Крутящий момент – это сила, вынуждающая объект совершать вращение, а вал совершает вращательное движение.

Тяговая сила может быть получена в любой точке вращающегося колеса, и если колесо при его вращении будет находиться в контакте с дорожным полотном, и сила сцепления между поверхностью дороги и опорной поверхностью колеса не позволит колесу проскальзывать, крутящий момент, подаваемый на ведущий вал колеса, сформирует работу по линейному перемещению колеса, или ведущего вала вдоль дороги.

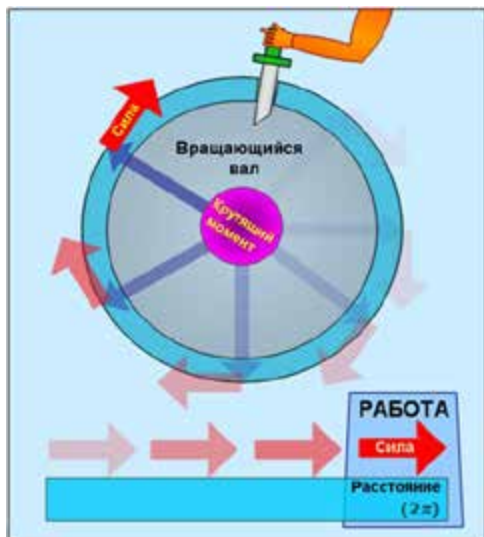


Рисунок CP37-08: На вращающемся валу крутящий момент и есть выполняемая работа; источник: *craig.backfire*

МОЩНОСТЬ

Мощность – это количество работы, которая может быть сделана за определенный промежуток времени, или «скорость работы», или «скорость передачи энергии между системами».

Формула для расчёта мощности приведена ниже:



Рисунок CP37-09: Мощность – это продукт произведения силы на расстояние за отчетный период времени.

Вышеприведенное уравнение может быть переписано с акцентированием внимания на такие понятия, как «Сила» и «Скорость».



Рисунок CP37-10: Используя определение скорости можно выразить мощность через силу и скорость.

МОЩНОСТЬ НА ВАЛУ

На вращающемся валу усилие, формируемое крутящим моментом, выполняет работу. Скорость, с которой будет производиться работа, зависит от скорости вращения вала. Следовательно, количество энергии, которая вращает вал, продуцирует скорость вращения вала и крутящий момент на валу.

Используя произвольные единицы, выразим формулу мощности через скорость вращения вала:



Рисунок CP37-11: Мощность на валу, выраженная в произвольных единицах; источник: *craig.backfire*

ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ НА ВАЛУ

При использовании фунты-силы-футы в качестве единиц крутящего момента, обороты в минуту (об/мин) для выражения скорости вращения, и лошадиные силы для выражения мощности, мощность на валу может быть выражена следующей формулой:

Джеймс Ватт вычислил эту величину

$$1 \text{ лошадиная сила} = \frac{(33000 \text{ фунтов} \cdot \text{силы} \cdot \text{фут})}{\text{минута}}$$

Мощность на валу = Крутящий момент \times Скорость вращения

$$P_{\text{вал}} = \frac{M_{\text{кр}} [\text{фунт} \cdot \text{силы} \cdot \text{фут}] \times n [\text{об}/\text{мин}]}{33000} \times \frac{2\pi \text{ радиан}}{1 \text{ оборот}}$$

или,

$$P_{\text{вал}} [\text{л.с.}] = \frac{M_{\text{кр}} [\text{lb} \cdot \text{ft}] \times n [\text{мин}^{-1}]}{5252}$$

Рисунок CP37-12: Отображение мощности в лошадиных силах через крутящий момент в фунтах-силы-футах и скорость вращения в оборотах в минуту; источник: *craig.backfire*

Приведенная выше формула часто вызывает ошибочное представление, что мощность, выраженная в лошадиных силах, и крутящий момент, выраженный в фунтах-силы-футах, равны между собой при скорости вращения 5252 оборота в минуту.

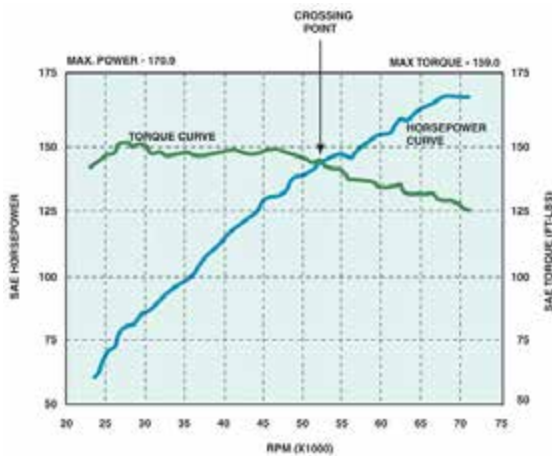


Рисунок CP37-13: Если внешняя характеристика мощности отображена в лошадиных силах, а внешняя характеристика крутящего момента отображена в фунтах-силы-футах, то кривые этих параметров пересекаются в точке, соответствующей скорости вращения коленчатого вала, равной 5252 оборотам в минуту. Это – частный случай, и если мощность будет выражена в ваттах, а крутящий момент в ньютонах-метрах, то данная зависимость исчезает; источник: *Pearson Education, Inc.*

Это заблуждение вызвано тем, что графическая характеристика максимальной мощности двигателя, выраженная в лошадиных силах, и графическая характеристика крутящего момента на фланце коленчатого вала, выраженная в фунтах-силы-футах, пересекается в точке, соответствующей скорости вращения 5252 оборота в минуту.

Графики крутящего момента и мощности могут пересекаться как в точке, соответствующей оборотам ниже 5252, так и в точке, лежащей выше этих оборотов. Многие дизельные двигатели, а также двигатели, работающие на газообразном топливе, не способны достичь скорости вращения коленчатого вала 5252 оборотов в минуту.



Рисунок CP37-14: Скорость вращения 5252 мин⁻¹ не является существенным моментом в физическом смысле. Это просто скорость, при которой график крутящего момента в фунтах-силы-футах и мощность в лошадиных силах будет пересекаться, когда они нарисованы на одном листе бумаги в одном масштабе. Если будут использоваться иные единицы измерений, графики кривых переключались бы в другую область, но принцип графического отображения внешних характеристик двигателя останется неизменным; источник: *craig.backfire*

Ошибочность выведенной зависимости может быть доказана путем изменения единиц измерения. В европейских странах и в большинстве азиатских стран мощность двигателя часто отображается в киловаттах, а крутящий момент – в ньютон-метрах. В этом случае формула расчета мощности на валу приобретает следующий вид:

$$1[\text{Вт}] = \frac{1[\text{Н} \cdot \text{м}]}{1[\text{с}]}$$

$$1[\text{кВт}] = 1[\text{Вт}] \times \frac{1[\text{кВт}]}{1000[\text{Вт}]} \times \frac{1[\text{мин}]}{60[\text{с}]} \times \frac{2\pi[\text{рад}]}{1[\text{оборот}]}$$

$$P_{\text{вал}} = \frac{M_{\text{кр}}[\text{Н} \cdot \text{м}] \times n[\text{мин}^{-1}]}{9549}$$

Рисунок СР37-15: Отображение мощности на валу через единицы Международной системы единиц измерений (СИ); источник: *craig.backfire*

Используя метрические единицы измерений, в формуле появляется иная константа 9549 вместо константы 5252, которая рождалась при использовании Американских и английских традиционных мер. Исходя из приведенного выше утверждения, графики мощности и крутящего момента должны будут пересечься в точке, соответствующей скорости вращения коленчатого вала 9549 оборотов в минуту. Однако практика исследований внешних характеристик различных двигателей показывает, что эта зависимость не выполняется.

ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА (ШЕСТЕРНИ)

Зубчатые колеса, или в просторечье – шестерни, используются для изменения крутящего момента и скорости вращения деталей системы вращающихся валов, или для изменения направления передаваемого движения. Примером первого могут служить передачи переднего хода, а примером последнего – шестерни задней передачи автомобиля.

Идеальный комплект шестерён передает такое количество мощности на выходной вал, какое количество мощности он получил от входного вала, то есть, производит передачу движения без потерь мощности.

Если коробка передач имеет передаточное отношение 2:1, ведомый вал будет вращаться в два раза медленнее входного вала, но с ведомого вала можно будет снять удвоенный крутящий момент.

На нижеприведенном рисунке демонстрируется эффект применения зубчатых передач с использованием произвольных передаточных отношений.

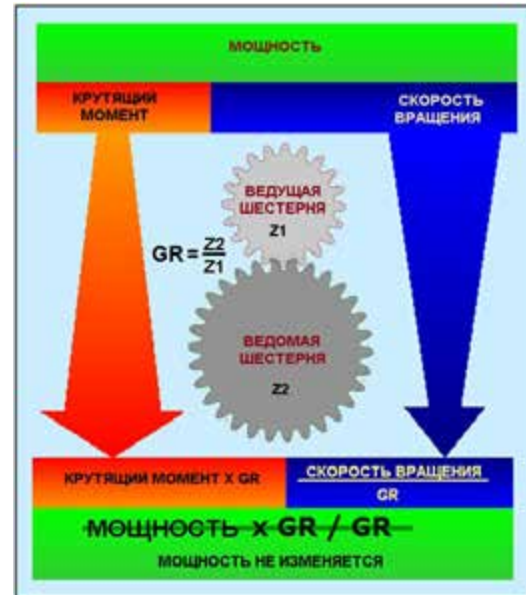


Рисунок СР37-16: Коробка передач передает определенное количество энергии в виде крутящего момента и оборотов. Она передает равное количество мощности, при изменении скорости вращения и крутящего момента, регулируемого в соответствии с передаточным отношением; источник: *craig.backfire*

$$\text{Передаточное отношение (GR)} = \frac{\text{Количество зубьев}_{\text{входные шестерни}}}{\text{Количество зубьев}_{\text{выходные шестерни}}} = \frac{\text{Диаметр окружности}_{\text{входные шестерни}}}{\text{Диаметр окружности}_{\text{выходные шестерни}}}$$

Если передаточное отношение $GR > 1$ → Понижающая передача
Если передаточное отношение $GR < 1$ → Повышающая передача

$$\text{Скорость вращения}_{\text{выходные шестерни}} = \frac{\text{Скорость вращения}_{\text{входные шестерни}}}{\text{Передаточное отношение GR}}$$

$$\text{Крутящий момент}_{\text{выходные шестерни}} = \text{Крутящий момент}_{\text{входные шестерни}} \times GR$$

$$\text{Мощность}_{\text{на выходе}} = \text{Мощность}_{\text{на входе}}$$

откуда:

$$\text{Мощность}_{\text{на выходе}} = \text{Скорость вращения}_{\text{выходные шестерни}} \times \text{Крутящий момент}_{\text{выходные шестерни}}$$

$$\text{Скорость вращения}_{\text{на выходе}} = \frac{\text{Скорость вращения}_{\text{на входе}}}{\text{Передаточное отношение GR}}$$

$$\text{Крутящий момент}_{\text{на выходе}} = \text{Крутящий момент}_{\text{на входе}} \times GR$$

$$\text{Мощность}_{\text{на выходе}} = \left(\frac{\text{Скорость вращения}_{\text{на входе}}}{GR} \right) \times (\text{Крутящий момент}_{\text{на входе}} \times GR)$$

$$\text{Мощность}_{\text{на выходе}} = \text{Скорость вращения}_{\text{на входе}} \times \text{Крутящий момент}_{\text{на входе}}$$

$$\text{Мощность}_{\text{на выходе}} = \text{Мощность}_{\text{на входе}}$$

Рисунок СР37-17: Формулы, используемые при определении выходных параметров зубчатых передач; источник.

Интересно отметить, что зубчатая передача и электрические трансформаторы имеют много общего. Зубчатые колеса изменяют крутящий момент и скорость, в то время как трансформаторы изменяют величину напряжения и силу тока. Оба устройства, и зубчатые передачи, и трансформаторы отдают столько энергии, сколько они получают. Автомобильная аккумулятор-

ная батарея вырабатывает 12-вольтовое напряжение и ток большой силы, но свечи зажигания нуждаются в напряжении до 50000 вольт и в очень маленьком токе. Катушки зажигания, которая является трансформатором, избыточный ток от аккумуляторной батареи преобразуют в высокое напряжение, необходимое для пробоя искрового промежутка свечи зажигания.

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ТРАНСМИССИИ

Автомобильная трансмиссия использует несколько наборов зубчатых передачи, необходимых для управления скоростью вращения ведущих колес и величиной крутящего момента, передаваемого от двигателя к ведущим колесам автомобиля. Все бензиновые поршневые двигатели производят слишком мало крутящего момента и слишком много оборотов, чтобы вращать ведущие колеса типичного дорожного автомобиля с необходимой скоростью.

Автомобильные шины размером 27 дюймов (686 мм), при вращении со скоростью 6000 оборотов в минуту должны катить автомобиль со скоростью 725 км/час (450 миль в час).

Тяговая сила на колесах размером 27 дюймов составит несколько сотен ньютон, которых не хватит, чтобы стронуть с места автомобиль, даже без пассажиров. Именно это заставляет все автомобили оснащать трансмиссией, которая является установкой для снижения скорости вращения и увеличения крутящего момента. Большинство автомобилей оснащаются двумя наборами зубчатых передач, установленных между двигателем и ведущими колесами.

Первое устройство – это коробка передач, которая увеличивает передаваемый к колесам крутящий момент в несколько раз, в зависимости от того, какой набор зубчатых колес введены водителем в зацепление. Как правило, первая передача имеет передаточное число 3:1, в то время как наивысшая передача имеет передаточное число 0,8:1



Рисунок CP37-18: Трансмиссия автомобиля оснащена коробкой передач и главной (финальной) передачей для регулировки крутящего момента двигателя и оборотов, необходимых для ускорения автомобиля; источник: *craig.backfire*

$$\text{Сила тяги} = \frac{M_{\text{кр.на колесе}}}{\text{Радиус колеса}}$$

$$M_{\text{кр.на колесе}} = M_{\text{кр.на двигателе}} \times \text{Передат. число}_{\text{КПП}} \times \text{Передат. число}_{\text{гл.передачи}}$$

$$\text{Сила тяги} = \frac{M_{\text{кр.на двиг}} \times \text{Передат. число}_{\text{КПП}} \times \text{Передат. число}_{\text{гл.передачи}}}{\text{Радиус колеса}}$$

$$\text{Скорость}_{\text{авто}} = \text{Скорость вращения}_{\text{колеса}} \times \text{Длина окружности}_{\text{колеса}}$$

$$\text{Скорость вращения}_{\text{колеса}} = \frac{\text{Скорость вращения}_{\text{двигателя}}}{\text{Передаточное число}_{\text{КПП}} \times \text{Передаточное число}_{\text{гл.передачи}}}$$

$$\text{Скорость}_{\text{авто}} = \frac{\text{Скорость вращения}_{\text{двиг}} \times \text{Радиус колеса} \times 2\pi}{\text{Передаточное число}_{\text{КПП}} \times \text{Передаточное число}_{\text{гл.передачи}}}$$

$$\text{Мощность}_{\text{на колесах}} = \text{Мощность}_{\text{двигателя}} - \text{Мощность}_{\text{потерь}}$$

Мощность потерь = 0  Это – принятое допущение

$$\text{Мощность}_{\text{на колесах}} = \text{Мощность}_{\text{двигателя}}$$

Рисунок CP37-19: Крутящий момент и скорость на колесах зависит от крутящего момента и скорости двигателя, а также от передаточного числа узлов трансмиссии, расположенных между ними; источник: *craig.backfire*

Кроме коробки передач в автомобиле имеется ещё один набор шестерен с передаточным отношением от 2,5:1 до 6,0:1 в зависимости от назначения автомобиля.

Причина установки в автомобиле трансмиссии с несколькими вариантами передаточных чисел состоит в том, чтобы удерживать автомобильный двигатель в диапазоне рабочих скоростей вращения коленчатого вала, даже в случае разгона автомобиля до скорости 325 км/ч. (200 миль/ч.)



Рисунок CP37-20: Каждая пара зубчатых колес в коробке передач позволяет получить различные ускорения и скорости. Сочетание скорости и ускорения обеспечивается крутящим моментом и мощностью двигателя; источник: *craig.backfire*

Первая передача предоставляет возможность самого быстрого ускорения автомобиля, поскольку передает к колесам максимально возможный крутящий момент, но скорость движения автомобиля на первой передаче ограничена максимальной скоростью вращения коленчатого вала двигателя.

На второй передаче возможность разгона меньшая, но максимальная скорость движения автомобиля на этой передаче выше, чем на первой передаче.

Такая тенденция сохраняется при включении каждой последующей передаче в трансмиссии.

УСКОРЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ

Второй закон Ньютона гласит, что ускорение тела прямо пропорционально прилагаемой силе и обратно пропорционально массе этого тела.

$$\text{Сила} = \text{Масса тела} \times \text{Ускорение}$$

$$\text{Ускорение} = \frac{\text{Сила тяги на колесах}}{\text{Масса автомобиля}}$$

Рисунок CP37-21: Согласно второму закону Ньютона, ускорение автомобиля будет зависеть не только от силы тяги, формируемой к точке контакта шины с дорогой, но и от массы автомобиля; источник: *craig.backfire*

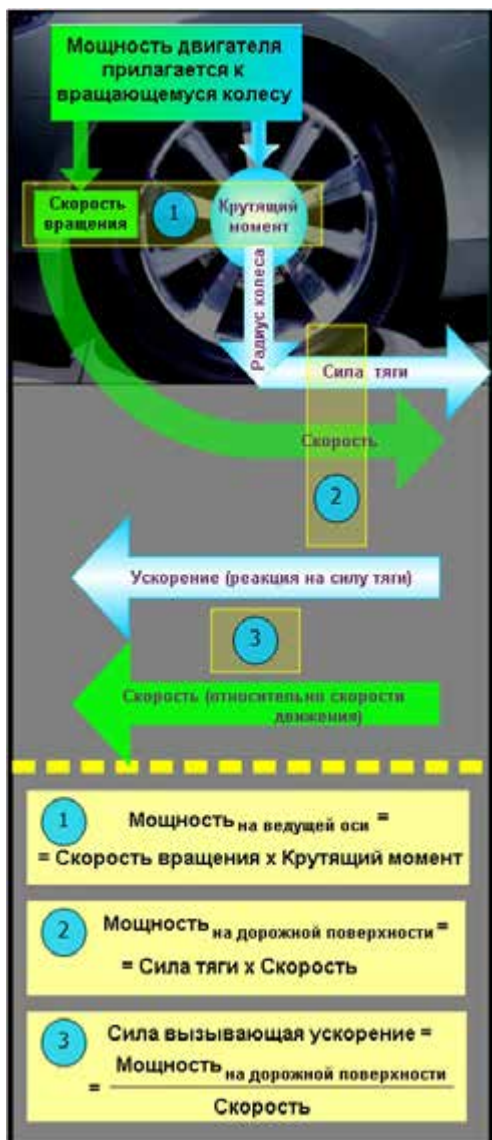


Рисунок СР37-22: Колеса получают крутящий момент и скорость вращения от двигателя, и прилагают тяговое усилие к дорожному покрытию. Именно это усилие, или тяговая сила, разгоняет автомобиль. Скорость автомобиля напрямую связана скоростью вращения колеса; источник: *craig.backfire*

Для того, чтобы получить ускорение, тяговая сила должна быть приложена в том же направлении и с той же скоростью, какая имеется в наличии в момент

$$\text{Тяговая сила} = \frac{M_{\text{кр.двиг}} \times \text{Передаточное число}_{\text{кпп}} \times \text{Передаточное число}_{\text{гл.передачи}}}{\text{Радиус шины}}$$

Рисунок СР37-24: Тяговая сила может быть рассчитана через величину крутящего момента, создаваемого двигателем, его изменением в коробке передач и главной передаче, с учетом радиуса колеса, опирающегося на дорогу; источник: *craig.backfire*

придания ускорения. Сила, прилагаемая к объекту с определенной скоростью и в течение определенного времени – и есть мощность, однако сила, вызывающая ускорение движущегося объекта, определяется мощностью, прилагаемой к объекту на его скорости движения.

$$\begin{aligned} \text{Мощность} &= \text{Сила тяги} \times \text{Скорость} \\ \text{Сила тяги} &= \text{Масса} \times \text{Ускорение} \\ \text{Мощность} &= \text{Масса} \times \text{Ускорение} \times \text{Скорость} \\ \text{Ускорение} &= \frac{\text{Мощность}}{\text{Масса} \times \text{Скорость}} \\ \text{Количество движений} &= \text{Масса} \times \text{Скорость} \\ \text{Ускорение} &= \frac{\text{Мощность}}{\text{Количество движений}} \end{aligned}$$

Рисунок СР37-23: Ускорение движущегося объекта равно подведенной мощности, поделенной на массу объекта и его скорость. Произведение массы на скорость называется количеством движений; источник: *craig.backfire*

Тяговая сила, вызывающая ускорение, действует со стороны колеса на дорожное покрытие, и эта сила формируется крутящим моментом на колесе. Вот почему тяговая сила, вызывающая ускорение, часто вычисляется через крутящий момент, создаваемый двигателем, и трансформируемая через коробку передач, главную передачу и колесами, как это показано в формуле, приведенной ниже.

Мы будем ссылаться на этот метод расчета силы тяги, вызывающей ускорение, как **метод крутящего момента**.

Если известна скорость движения автомобиля и мощность его двигателя, развиваемая в конкретный момент ускорения, то тяговую силу можно рассчитать, ничего не зная о передаточном числе трансмиссии, главной передачи и диаметре колеса, и даже крутящего момента, создаваемого двигателем.

Мы будем ссылаться на этот метод расчёта ускорения, как на **мощностной метод**.

$$1 \text{ лошадиная сила (л.с.)} = \frac{33000 \text{ фунтов - силы - фунт (ft - lbf)}}{\text{минута (min)}}$$

$$1 \text{ HP} = \text{л.с.} = \frac{33000 \text{ ft - lbf} = \text{футн - сила - фут}}{\text{min} = \text{минута}} \times \left(\frac{1 \text{ mile} = \text{миля}}{5280 \text{ ft} = \text{фут}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min} = \text{минут}}{1 \text{ hour} = \text{час}} \right)$$

$$1 \text{ HP} = 357 \text{ lbf} \times \text{mph} \text{ (фунт - силы} \times \text{миля/час)}$$

$$\text{Мощность [HP} = \text{л.с.]} = \frac{\text{Сила тяги [lbf} = \text{фунт - сила]} \times \text{Скорость [mph} = \text{миль/ч]}}{375}$$

$$\text{Сила тяги [lbf} = \text{в фунтах - силы]} = 375 \times \frac{\text{Мощность [HP} = \text{л.с.}]}{\text{Скорость [mph} = \text{миль/ч]}}$$

Рисунок СР37-25: Если известны мощность и скорость, силу тяги, вызывающую ускорение, можно рассчитать напрямую, ничего не зная о передаточных числах коробки передач и главной передачи. В этом примере приведен вывод формулы для американских и английских традиционных мер.

$$1 \text{ лошадиная сила (л.с.)} = 735,5 \text{ Вт (ватт)} = \frac{735,5 \text{ Дж (джоуль)}}{1 \text{ секунду (с)}} = \frac{735,5 \text{ Н} \times 1 \text{ м}}{1 \text{ с}}$$

$$1 \text{ л.с.} = \frac{735,5 \text{ Н} \times 1 \text{ м}}{1 \text{ с}} \times \left(\frac{1 \text{ км} = \text{километр}}{1000 \text{ м}} \right) \times \left(\frac{3600 \text{ с}}{1 \text{ час}} \right)$$

$$1 \text{ л.с.} = 2647,8 \text{ Н (ньютон силы)} \times 1 \text{ км/ч}$$

$$\text{Мощность [л.с.]} = \frac{\text{Сила тяги [Н (ньютон)]} \times \text{Скорость [км/ч]}}{2647,8}$$

$$\text{Сила тяги [Н]} = 2647,8 \times \frac{\text{Мощность [л.с.}]}{\text{Скорость [км/ч]}}$$

Рисунок СР37-26: Здесь приведен вывод формулы и расчет коэффициента для прямого определения силы тяги через мощность и скорость, но в привычных для нас единицах измерений. Вывод формулы для метрических единиц предлагаем сделать самостоятельно.

Вашему вниманию предложена формула мощностно-го метода с использованием американских и английских традиционных мер измерений.

И метод крутящего момента и мощностной метод оба дают одинаковые результаты, как это показано ниже.

ЗАДАЧА:

Определить тяговую силу, вызывающую ускорение, для автомобиля, технические характеристики которого приведены ниже.

Мощность двигателя: $HP = 120 \text{ л.с.} = 88,2 \text{ кВт} = 88235 \text{ Вт}$

Крутящий момент; $M_{кр} = 135,6 \text{ Н-м}$

Передаточное число КПП; $GR = 1,660:1$

Передаточное число гл. передачи: $AR = 4,195:1$

Динамический радиус колеса: $TR = 0,330 \text{ м}$

Скорость движения $V_s = 70 \text{ миль/ч} = 111 \text{ км/ч}$

Метод крутящего момента

$$\text{Сила тяги}_{\text{на колесе}} = \frac{M_{\text{кр двиг}} \times GR_{\text{перед число кпп}} \times AR_{\text{передат. число гл. передачи}}}{TR_{\text{радиус колеса}}}$$

$$\text{Сила тяги}_{\text{на колесе}} = \frac{135,6[\text{Н} \cdot \text{м}] \times 1,66 \times 4,195}{0,33[\text{м}]}$$

$$\text{Сила тяги}_{\text{на колесе}} = 2861 \text{ ньютон}$$

Мощностной метод

$$\text{Сила тяги}_{\text{на колесе}} = 2647,8 \times \frac{\text{Мощность двигателя}_{\text{в лошадиных силах}}}{\text{Скорость движения}_{\text{в км/ч}}}$$

$$\text{Сила тяги}_{\text{на колесе}} = 2647,8 \times \frac{120[\text{л.с.}]}{111[\text{км/ч}]}$$

$$\text{Сила тяги}_{\text{на колесе}} = 2862 \text{ ньютона}$$

Рисунок CP37-27: Расчет тяговой силы, вызывающей ускорение, на основе метода крутящего момента и мощностного метода показывает одинаковые результаты (небольшая погрешность связана с округлением величин при переводе из одних единиц в другие)

НЕСКОЛЬКО ПРОСТЫХ ПРИМЕРОВ

Чтобы продемонстрировать влияние мощности и крутящего момента предлагаем на один и тот же автомобиль условно установить три разных двигателя. Скорость автомобиля при трех различных тестах возьмем одинаковую, поскольку нас интересует тяговая сила, которая вызывает движение автомобиля с ускорением.

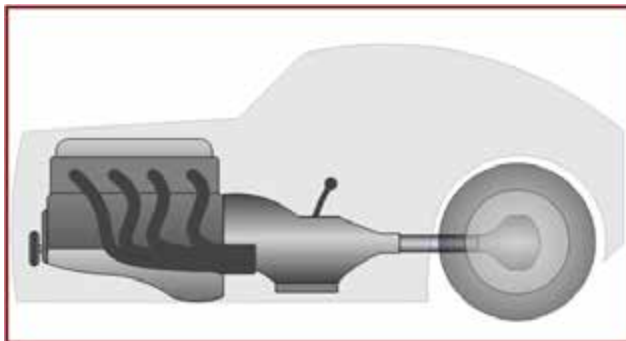


Рисунок CP37-28: Схематическое изображение автомобиля, который будет взят для примера; источник: *craig.backfire*

- Оснастим условный автомобиль шинами диаметром 610 мм, и примем радиус колеса равный 305 мм (0,305 метра)

- Колеса будут вращаться со скоростью 500 оборотов в минуту (мин^{-1}), это значит, что автомобиль будет двигаться со скоростью 57,5 км/ч.
- В коробке передач будет включена скорость, позволяющая получить передаточное число 2:1.
- Главную передачу выберем с таким передаточным отношением, чтобы колеса получили заданную скорость вращения.

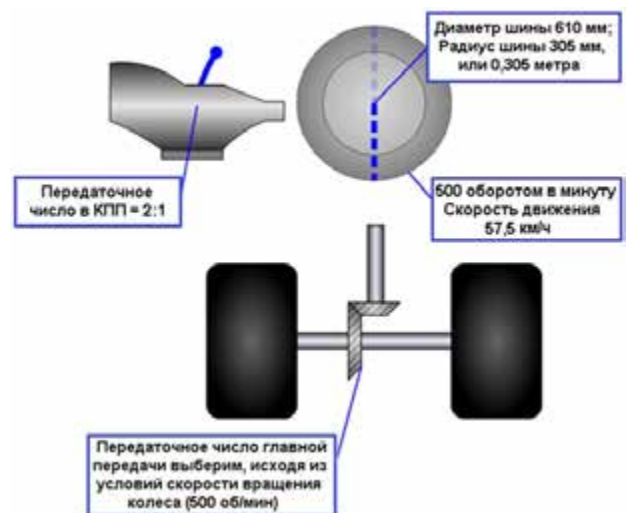


Рисунок CP37-29: Заданные условия расчета в детализации трансмиссии; источник: *craig.backfire*

Голубой двигатель работает на 2000 об / мин, производя крутящий момент и делая 271 ньютон-метр, и мощность двигателя 76 лошадиных сил.

Чтобы колеса вращались со скоростью 500 об/мин при скорости вращения коленчатого вала двигателя 2000 об/мин, главной передаче надо назначить передаточное отношение 2:1.

При заданных условиях через трансмиссию на ось колеса будет передаваться 1084 Н-м. В точке контакта колеса с дорогой тяговая сила будет равна 1777 ньютон.

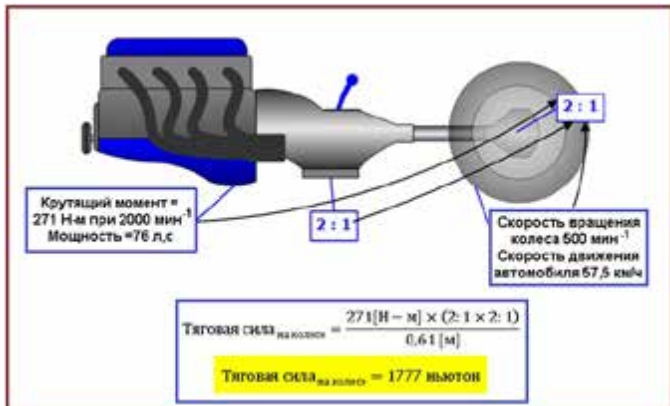
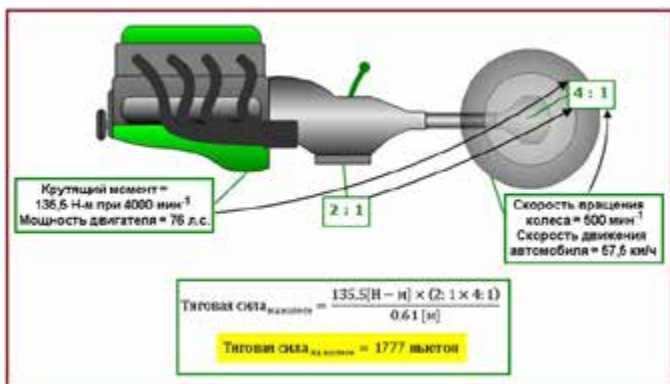


Рисунок СР37-30: Голубой двигатель мощностью 76 лошадиных сил, способен сформировать тяговую силу на колесе 1777 ньютон; источник: *craig.backfire*

Зеленый двигатель способен выдать крутящий момент 135,5 ньютон-метр при скорости вращения коленчатого вала 4000 оборотов в минуту, и мощностью на этой частоте вращения 76 лошадиных сил. Хотя обороты зеленого двигателя в два раза превышают обороты голубого двигателя, он способен сформировать вдвое меньший крутящий момент.

Рисунок СР37-31: Зеленый двигатель мощностью 76 ло-



шадинах сил способен сформировать тяговую силу на колесе 1777 ньютон-метр, но только при передаточном числе главной передачи 4:1; источник: *craig.backfire*

Главной передаче придется назначить передаточное число 4:1, чтобы при 4000 оборотах коленчатого вала колеса вращались с заданной скоростью 500 оборотов в минуту.

С помощью этого двигателя тяговую силу на колесе, равную тяговой силе автомобиля с синим двигателем, удалось получить при передаточном числе главной передачи 4:1.

Красный двигатель способен сформировать крутящий момент 271 ньютон-метр при 4000 оборотах в минуту, и на этой скорости вращения красный двигатель выдает 152 лошадиные силы.

Красный двигатель формирует такой же крутящий момент, как и синий двигатель, но на частоте вращения, как у зеленого двигателя.

Главной передаче придется назначить передаточное число 4:1, чтобы при 4000 оборотах коленчатого вала колеса вращались с заданной скоростью 500 оборотов в минуту.

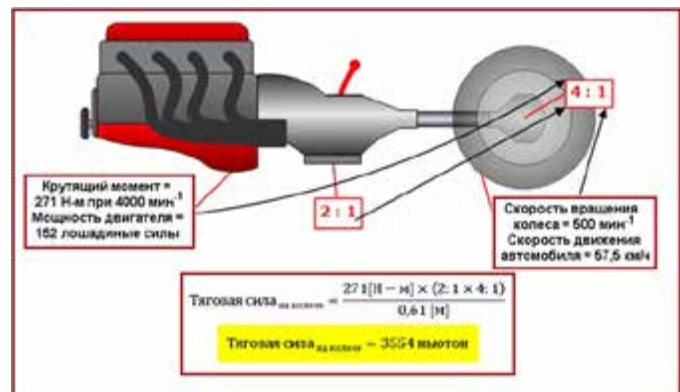


Рисунок СР37-32: Красный двигатель, мощностью 152 лошадиные силы, способен обеспечить в два раза большую тяговую силу на колесе автомобиля; источник: *craig.backfire*

Из представленных выше расчетов видно, что самый мощный (красный) двигатель обеспечил самую большую тяговую силу на колесе, в то время как два остальных двигателя (синий и зеленый) смогли обеспечить в два раза меньшую тяговую силу на колесах этих двух автомобилей, имеющих одинаковую мощность двигателя. Два двигателя одинаковой мощности имели различную величину крутящего момента, причем, на разных оборотах коленчатого вала двигателя, и обороты, но силы тяги, формирующие ускорение, благодаря измененной главной передаче сравнялись по величине.

Вышесказанное показывает, что мощность двигателя, независимо от того, сколько крутящего момента и на каких оборотах он производит, определяет тяговую силу, формирующую тяговую силу.

Таблица СР37-2: Диапазоны мощностей двигателя могут быть предсказаны, в том смысле, является ли диапазон широким или узким, основываясь на определенных характеристиках и оснащении двигателя, хотя есть и множество исключений.

Широкий диапазон мощностей	Узкий диапазон мощностей
Большой рабочий объем	Малый рабочий объем
Высокий крутящий момент	Низкий крутящий момент
Больше двух клапанов на цилиндр	Два клапана на цилиндр
Изменяемые фазы газораспределения	Нет механизма изменения фаз газораспределения
Механический или газотурбинный наддув	Атмосферный двигатель
Пиковое значение мощности и пиковое значение крутящего момента расположены далеко друг от друга по линии оборотов двигателя	Пиковое значение мощности и пиковое значение крутящего момента расположены близко друг к другу по линии оборотов двигателя.

КРИВЫЕ МОЩНОСТИ И ДИАПАЗОНЫ МОЩНОСТЕЙ

Технические характеристики двигателя часто представлены в виде графиков пиковой мощности. Хороший двигатель имеет не только высокую пиковую мощность, но обладает достаточно большим значением средней мощности в диапазоне от минимальных до средних частот вращения коленчатого вала. Графическая характеристика мощности по отношению к скорости вращения коленчатого вала, называется внешней мощностной характеристикой двигателя. График мощности двигателя может очень многое сказать о производительности двигателя во всем диапазоне скоростей вращения коленчатого вала двигателя. Сравнивая внешние скоростные характеристики двигателя можно констатировать следующее: один двигатель может иметь высокое среднее значение мощности в широком диапазоне скоростей вращения, в то время как второй двигатель имеет высокое пиковое значение мощности при узком диапазоне средних значений, которые оказываются ниже, чем у первого двигателя.

Диапазон мощностей – это доступные мощностные характеристики двигателя в диапазоне скоростей вращения коленчатого вала. Графически это отражается площадью фигуры, ограниченной кривой мощности, минимальной и максимальной частотами вращения. Например, выходную мощность величиной 400 лошадиных сил у 500-сильного двигателя можно получить в 80-процентном диапазоне скоростей вращения коленчатого вала.

Широкий диапазон мощности предусматривает высокую среднюю мощность, рассчитанную по всем оборотам двигателя

Диапазон мощностей может быть предсказан, как широкий или узкий, полагаясь на определенные характеристики двигателя и его оснащение.

Некоторые примеры мы сведем в таблицу.

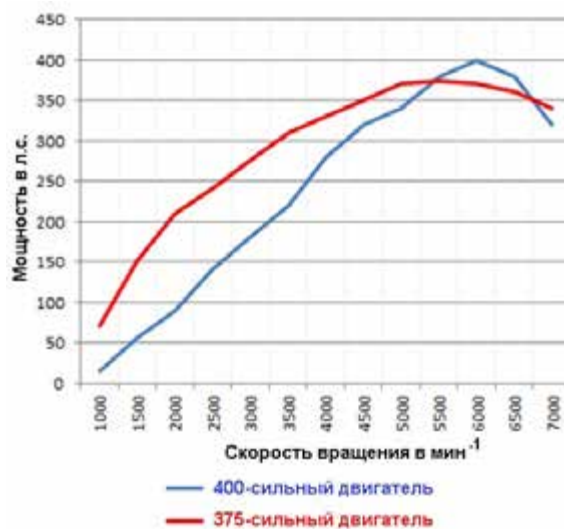


Рисунок СР37-33: Кривая мощности двигателя 400 с лошадиными силами выше кривой мощности двигателя с 375 лошадиными силами. Несмотря на то, что 400-сильный двигатель имеет большую мощность, 375-сильный двигатель имеет больший диапазон частот вращения, при которых двигатель имеет высокую мощность, и на оборотах, от низких до средних 375-сильный двигатель имеет более высокую мощность, чем 400-сильный двигатель. Это значит, что 375-сильный двигатель может обеспечить лучшие характеристики автомобилю, предназначенному, например, для Стрит-рейсинга; источник: *craig.backfire*

СРАВНИВАЕМ ДВА АВТОМОБИЛЯ

А теперь мы сравним два автомобиля с двумя разными двигателями, обладающими одинаковым значением пиковой выходной мощности, но с различными характеристиками мощности во всем диапазоне скоростей двигателя. Пусть оба автомобиля имеют одинаковую снаряженную массу, одинаковую коробку передач, радиус шин, и так далее. Единственной разницей между двумя автомобилями будут двигатели.

Один автомобиль оснастим 500-сильным V-8 двигателем, а второй – тоже 500-сильным, но 4-цилиндровым турбированным двигателем.

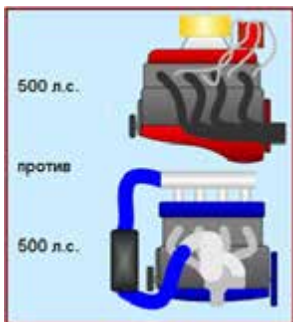


Рисунок CP37-34: К состязанию приглашаются два 500-сильных двигателя: V-8 и R-4; источник: *craig.backfire*

Раз уж мы выражаем мощность в «лошадках», автомобиль с двигателем V-8 назовем «Мерином» - трудолюбивым конем, спокойным и сильным, привычным к монотонной работе на ферме. Второй автомобиль с 4-цилиндровым двигателем назовем «Скакуном» - резвой седловой лошадкой, которая только и может, что бегать по ипподрому.



РЕМАРКА:

К автомобилям Mercedes-Benz слово Мерин не имеет никакого отношения.

Двигатель Мерина можно разогнать до 6000 оборотов в минуту, и он покажет тягу около тонны, а двигатель «Скакуна» может развить 9000 оборотов, но крутящий момент этого двигателя будет меньшим.

Зададим ещё одни условия. Двигатель Мерина может устойчиво работать на 600 оборотах в минуту, в то время как двигатель «Скакуна» не может держать устойчивые обороты холостого хода ниже 900 мин⁻¹.

Ниже мы приведем графики внешних характеристик двух наших автомобилей: график эффективной мощности и график крутящего момента.

Как было сказано ранее, оба двигателя производят по 500 лошадиных сил каждый.

V-8 производит 500 лошадиных сил на 5000 оборотах в минуту, и 777 Н·м на 4250 оборотах в минуту.

R-4 производит 500 лошадиных сил на 8000 оборотах в минуту, а его крутящий момент составляет 457 Н·м при 8000 оборотах в минуту.

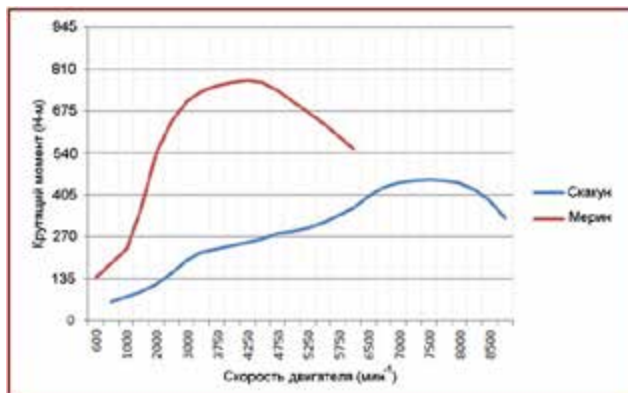


Рисунок CP37-35: Графические характеристики крутящих моментов двигателей Мерина и Скакуна были намеренно искажены, чтобы дать Вам лучшее представление о некоторых понятиях; источник: *craig.backfire*

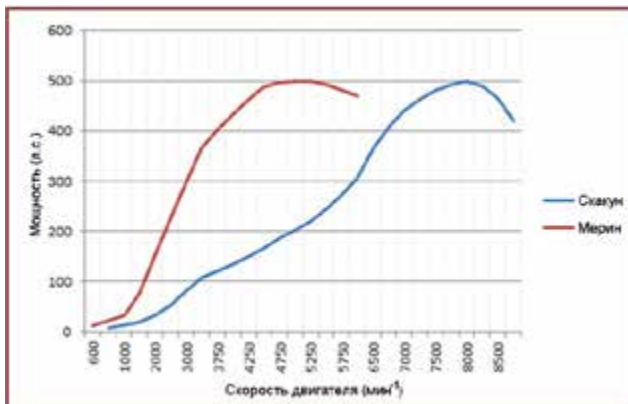


Рисунок CP37-36: Графические характеристики мощности Скакуна и Мерина, вычисленные путем умножения крутящего момента на скорость вращения коленчатого вала каждого из двигателей; источник: *craig.backfire*

Поскольку скорость вращения V-8 при максимальной мощности значительно ниже, ему для достижения заявленной мощности потребовался высокий крутящий момент. В R-4 ту же мощность достиг при очень высоких оборотах, поэтому ему для достижения заявленной мощности потребовался довольно низкий крутящий момент. Ниже приведем сравнение диапазонов мощности двух 500-сильных двигателя.

Если параметры, отраженные на оси «х» Вам показались необычными, или «неправдоподобными», объяснение тому – неочевидность прямого сравнения двух двигателей, у которых кривые мощностей отстоять друг от друга в горизонтальном направлении. Заметьте, что хотя оба двигателя имеют одинаковую пиковую мощность, но фигура, описывающая диапазон доступных мощностей (площадь под кривой мощности) у Мерина значительно шире, чем у Скакуна.

Таблица СР37-3: Мощностные характеристики двигателей Скакуна и Мерина

	Скакун	Мерин	Различия
Диапазон частот вращения	900...9000 мин ⁻¹	600...6000 мин ⁻¹	На 50% выше у Скакуна
Максимальный крутящий момент	457 Н-м	777 Н-м	На 40% больше у Мерина
Максимальная мощность	500 л.с.	500 л.с.	Одинакова

Возможность получить от Мерина большую мощность в обширном диапазоне частот – большое преимущество Мерина.

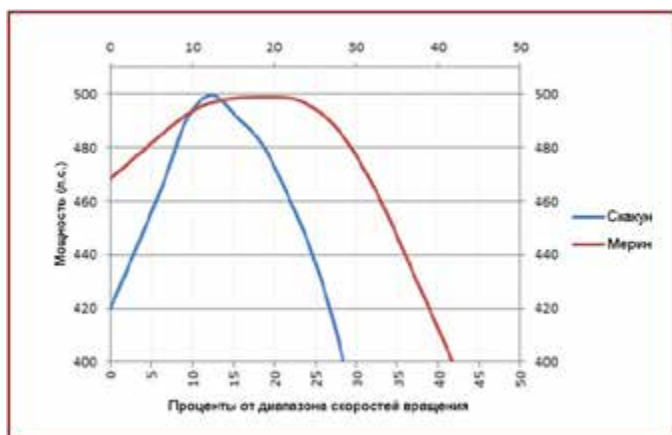


Рисунок СР37-37: Сравнение мощности двух двигателей. Обратите внимание, что у Мерина площадь области под кривой мощности значительно превышает площадь области под кривой мощности Скакуна, а площадь, ограниченную кривой мощности, можно назвать энерговооруженностью, или потенциалом автомобильного двигателя; источник: *craig.backfire*

Если параметры, отраженные на оси «х» Вам показались необычными, или «неправдоподобными», объяснение тому – неочевидность прямого сравнения двух двигателей, у которых кривые мощностей отстоять друг от друга в горизонтальном направлении. Заметьте, что хотя оба двигателя имеют одинаковую пиковую мощность, но фигура, описывающая диапазон доступных мощностей (площадь под кривой мощности) у Мерина значительно шире, чем у Скакуна.

Возможность получить от Мерина большую мощность в обширном диапазоне частот – большое преимущество Мерина.

В итоге можно констатировать, что первый автомобиль, условно названный Мерин, и оснащенный V-8 двигателем, будет быстрее второго автомобиля, условно названного Скакуном, поскольку диапазон мощностей у Мерина оказался шире, и средняя мощность на протяжении оборотов двигателя Мерина тоже превышает среднюю мощность Скакуна. «Выстрелить» Скакун во время стрит или драг-рейсинга сможет, но вот участвовать в изнурительных гонках с обилием торможений и разгонов – не способен. Мерин же напротив, предназначен для изнурительной гонки с множеством торможений и разгонов, крутых поворотов и т.п. Вы можете сравнить трассы двух гонок *NASCAR (National Association of Stock Car Auto Racing)* и *Gran Prix F-1*

Таблица СР37-4: Сравнительные характеристики мощностей двух автомобилей

	Скакун	Мерин
Пиковая мощность	500 л.с.	500 л.с.
Средняя мощность (во всем диапазоне оборотов)	263 л.с.	338 л.с.
Средняя мощность (от оборотов холостого хода до номинальных оборотов)	106 л.с.	166 л.с.
Средняя мощность (от номинальных оборотов до максимальных оборотов)	385 л.с.	460 л.с.
Средняя мощность (80% мощностного диапазона)	462 л.с.	471 л.с.

Масса обоих автомобилей одинакова, и составляет 1360 кг, поэтому у обеих машин отношение пиковой мощности к весу тоже одинаково, и составляет 312,5 л.с. на тонну.

Для Мерина было выбрано передаточное число главной передачи 3,55:1, а для Скакуна передаточное отношение главной передачи составило 5,325:1.

Выбор передаточного числа главной передачи Скакуна обусловлен более высокими оборотами двигателя.

Таблица CP37-5

	Скакун	Мерин
Передаточные отношения КПП	2,52; 1,52; 1,00	2,52; 1,52; 1,00
Передаточное число главной (финальной) передачи	5,325:1	3,55:1
Вес автомобиля	1360 кг	1360 кг

Опираясь на все ранее полученные данные можно представить графические зависимости скоростей по времени для обоих автомобилей.

Важно отметить, что в начале статьи мы оговорили некоторые допущения, в частности, договорились игнорировать аэродинамическое и иное сопротивление движению.

Ниже приведены графики ускорения Скакуна и Мерина.

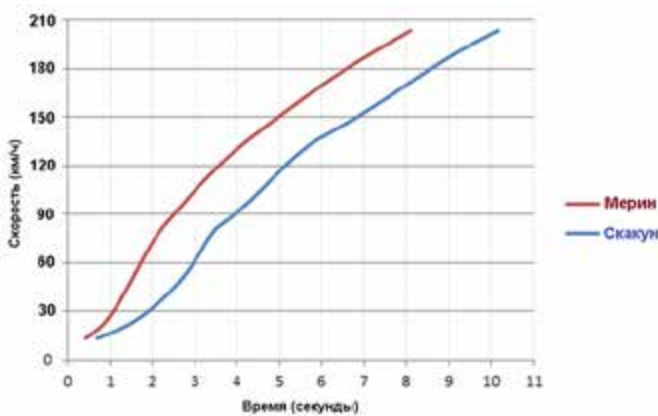


Рисунок CP37-38: Графики зависимости скорости по времени для Скакуна и Мерина. Наклон графика относительно оси времени представляет ускорение автомобиля; источник: *craig.backfire*

Скакун развил изрядное ускорение, сравнявшись по ускорению с Меринем после достижения скорости 60 км/ч.

С тем набором зубчатых колес, которые имеются у водителя для введения в зацепление при переключе-

нии передач, водитель разгоняет двигатель Скакуна до более высоких, чем у двигателя Мерина оборотов, получая по возможности наиболее высокий крутящий момент, передаваемый на колеса. Теперь, после достижения скорости 60 км/ч, Скакун способен идти на равных с Меринем, но до момента достижения этой скорости уже произошло отставание Скакуна от Мерина.

Скакун смог бы сократить отставание, если бы в его коробке передач были изменены передаточные отношения в сравнении с КПП Мерина.

Ну а теперь, для наглядности, рассмотрим варианты комплектации рассмотренных ранее автомобилей Скакун и Мерин различными коробками передач с разными вариантами передаточных отношений.

На оба автомобиля будем устанавливать вначале 3-ступенчатые автоматические коробки передач *TH350*; а затем и 6-ступенчатые механические коробку передач *T56*, и проведем анализ, какие преимущества и недостатки получают от этого Скакун и Мерин.

- Передаточные числа КПП *T56 Tremec*: 1-я = 2,66; 2-я = 1,78, 3-я = 1,30; 4-я = 1,00; 5-я = 0.80; 6-я = 0.63; передача заднего хода = 2,90.
- Передаточные числа АКПП *TH350*: 1-я = 2,52; 2-я = 1,52; 3-я = 1,00.

Следует отметить, что в этих коробках передач будут различные потери, включая: гидравлические потери, механические потери; тепловые потери, но мы договорились их не учитывать.

Автомобили будут комплектоваться главными (финальными) передачами с передаточными отношениями 5,67:1 и 3,73:1, и мы проведем сравнение динамических характеристик автомобилей с этими главными передачами.

Для Мерина будет интересно увидеть выгоду от применения финальных передач с различными передаточными отношениями.

Тем не менее, эта «гонка вооружений» не может продолжаться долго, так как, увеличивая крутящий момент, поступающий на колеса, мы вынуждены увеличивать скорость вращения коленчатого вала, и это вызовет ответное увеличение оборотов двигателя, при котором происходит «подхват» следующей передачи. Если переключение передачи производить после достижения предельно высоких оборотов двигателя, вращающиеся с высокой скоростью колеса автомобиля не позволят снизить частоту вращения коленчатого вала до оборотов холостого хода. Отсюда следует, что чем выше скорость, при которой будет производиться переключение передачи, тем дальше от оборотов холостого хода будут сдвигаться обороты перехода

на более высокую передачу. Если вернуться к рисунку CP37-35 и CP37-36, можно понять, что задержка в переключении передач на более высокую передачу, например, до 5000 оборотов в минуту, для Мерина эти обороты являются номинальными, когда мощность достигла максимума, и дальнейшее повышение оборотов снижает эффективную мощность двигателя.

Для Скакуна переключение на 5000 оборотах в минуту – не критично, поскольку у его двигателя дальнейшее увеличение скорости вызовет увеличение мощности. Для Скакуна 5000 оборотов – это только половина полной мощности двигателя, и ускорение Скакуна после 5000 оборотов будет интенсивно нарастать, в то время, как у Мерина из-за снижения мощности при увеличении оборотов более 5000, значение ускорения будет постепенно снижаться.

Сам процесс переключения передач потребляет драгоценное время. Двигатель с широким диапазоном мощности может обеспечить меньшее количество переключений передач во время гонок, что может дать значительное преимущество.

Если оба автомобиля оснастить бесступенчатой трансмиссией (вариатором), который позволяет получить бесконечное множество передаточных отношений, при этом на переключения передач время не затрачивается, двигатели обоих автомобилей работали бы на скоростях, соответствующих пиковой мощности, и ни один из автомобилей не получил бы какого-либо преимущества от применения различных двигателей.

Экзотичный суперкар, такой как *Lamborghini Murcielago*, имеет такой широкий диапазон мощности, что он способен достичь максимального ускорения практически на любых оборотах двигателя. Это значит, что автомобиль способен разогнаться от 0 до 100 км/ч практически на одной передаче. Отсюда и столь поразительные разгонные характеристики большинства суперкаров.

Но вернемся к нашим Скакунам и Меринам, и поставим их на дорогу, чтобы понять, как они смогут сформировать тяговую силу, которая разгоняет автомобиль.

Для простоты сравнения оба пилота начнут гонку с ходу, то есть каждый автомобиль будет начинать отсчет ускорения после достижения скорости 30 км/ч, и эта скорость будет служить точкой отсчета, и каждое последующее переключение передач будет производиться после достижения «красной линии», то есть предельной величины оборотов.



РЕМАРКА:

«Красной линией» двигателя называют максимальную частоту вращения коленчатого вала, при которой не происходит повреждения компонентов двигателя и его деталей.



Рисунок CP37-39: Предельные обороты двигателя на тахометре обозначены красным цветом. Разгон коленчатого вала двигателя до красной линии возможен, но обороты выше красной линии обычно ограничиваются отсечкой топливоподачи в цилиндры двигателя; источник: *AcuraBoost*

Максимальная скорость будет засчитана по достижении красной линии оборотов на высшей передаче, причем, мы договорились, что аэродинамические и прочие потери игнорируются.

Гонки автомобилей начнем с установкой старой, 3-ступенчатой автоматической трансмиссии, и главной передачи с передаточным числом 3,73:1.

Заметьте, что Мерин имеет существенное преимущество при разгоне на 1-ой передаче, однако преимущество все больше и больше утрачивается при последующих переключениях передач. Это происходит из-за того, что двигатель при переключении передач не возвращается к оборотам холостого хода, а «подхватывает» следующую передачу на скорости, около 3600 оборотов в минуту.

Двигатель Скакуна тоже остаётся на высоких оборотах после первого переключения передачи, и если вернуться к рисунку CP37-37, станет понятно, что двигатель Скакуна имеет достаточный запас мощности, начиная с этих оборотов.

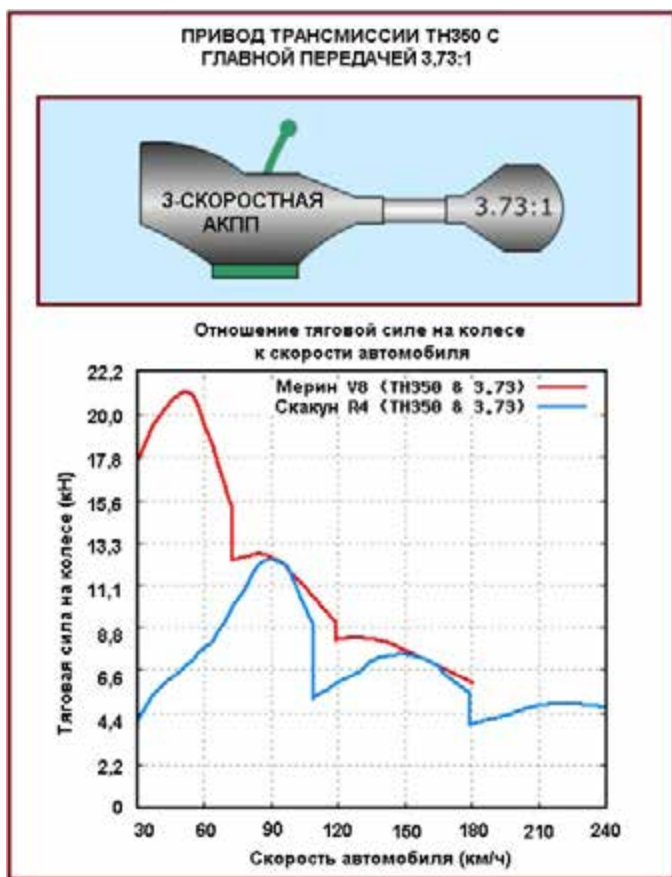


Рисунок CP37-40: Для сравнения оснастили Мерина и Скакуна 3-ступенчатой АКПП *TH350* и главной передачей с отношением 3,73:1. Сила тяги на задних ведущих колесах будет изменяться, в соответствии с кривой крутящего момента. Вертикальные линии – переключение передач при достижении красной линии оборотов двигателя, причём, будем считать, что переключения происходят мгновенно; источник: *craig.backfire*

Так же заметьте, что водитель Мерина произвёл переключение с 1-ой на 2-ю передачу раньше водителя Скакуна, и его автомобиль имеет примерно такое же ускорение в районе 60...65 и 100...115 миль в час, каким обладает Скакун.

Теперь перейдем к более современной коробке передач. Оснастим оба автомобиля 6-ступенчатой коробкой передач *Tremec T56*, у которой шаг изменения передаточных отношения всех ступеней близок по величине.

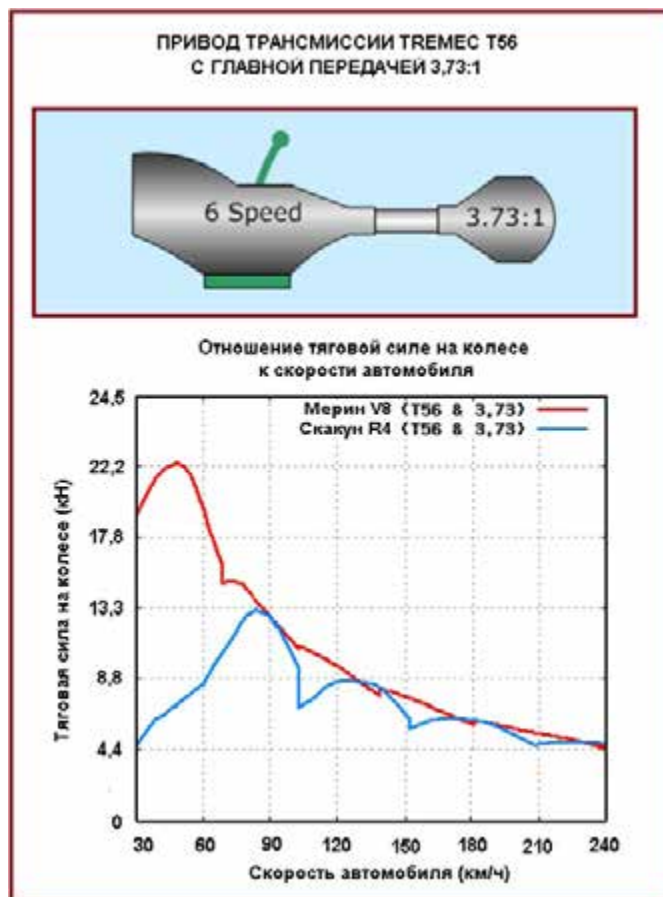
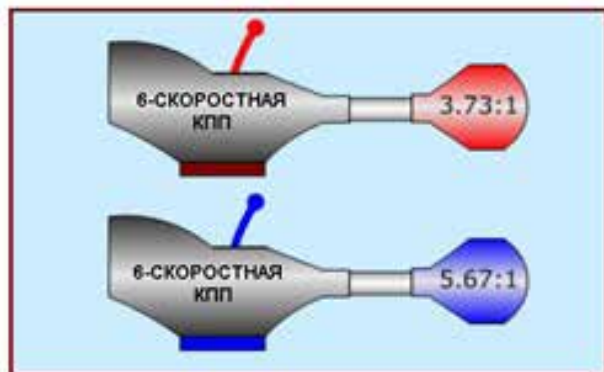


Рисунок CP37-41: Теперь для сравнения оснастим Мерина и Скакуна 6-ступенчатой коробкой передач *Tremec T56*, оставив ту же самую главную передачу с отношением 3,73:1. Отметим, что небольшая разница в передаточных отношениях сократила перепад мощности при переключениях передач для обоих двигателей, особенно для Мерина; источник: *craig.backfire*

На определенных оборотах Скакун сумел догнать Мерина. С малым шагом передаточных отношений в 6-ступенчатой трансмиссии Скакун сумел удержать обороты двигателя близкими к максимальной мощности, и это помогло сократить разрыв. Оставшиеся провалы после каждого переключения передач Скакуна показывают эффект от применения многоскоростной трансмиссии

Скакун все ещё отстаёт от Мерина на низких скоростях движения, но у него есть «козырь в рукаве». Скакун собирается установить ведущий мост с передаточным отношением 5,67:1, оставив в неведении Мерина.

ПРИВОД ТРАНСМИССИИ
6-СКОРОСТНОЙ КПП TREMEC T56
С ГЛАВНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ 3,37:1 ДЛЯ МЕРИНА
И С ГЛАВНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ 5,67:1 ДЛЯ СКАКУНА



Отношение тяговой силы на колесе
к скорости автомобиля

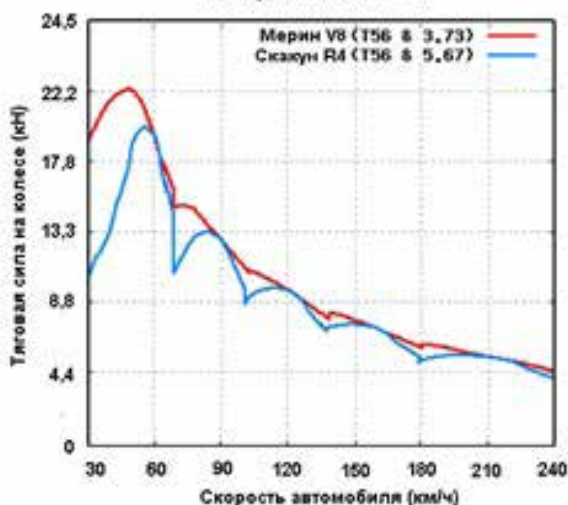


Рисунок СР37-42: Графическая зависимость тяговой силы по отношению к скорости автомобилей, оснащенных следующим образом: оба автомобиля имеют 6-ступенчатую КПП *Tremec T56*, но у Мерина главная передача 3,37:1, а у скакуна 5,67:1. Обратите внимание, что оба водителя стали переключать передачи в одно и то же время, и бывшее преимущество Мерина исчезло; источник: *craig.backfire*

АНИЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СОРЕВНОВАНИЙ И ВЫРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ

УСКОРЕНИЕ НА НИЗКОЙ СКОРОСТИ

Результаты гонки между Меринем и Скакуном показали, что Мерин имел значительное преимущество перед Скакуном при разгоне от старта до 100 км/ч. При скорости выше 100 км/ч Скакун получил возможность раскручивать коленчатый вал в диапазоне мощностей, близких к максимальному значению, и обе машины имели одинаковое ускорение вплоть до

скорости 215 км/ч. В драг-рейсинге Скакун проиграл бы гонку Мерину, но при трековой гонке различие возможностей Скакуна и Мерина будут незначительными.

Таким образом, можно констатировать, что автомобиль, предназначенный для движения в широком диапазоне скоростей, должен иметь очень широкий диапазон мощности. Автомобиль с узким диапазоном скоростей не способен работать в широком диапазоне скоростей.

СДВИГ ТОЧКИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ

Во время виртуальной гонки Мерина со Скакуном водители обеих машин производили переключение передач по достижению коленчатым валом двигателя оборотов «красной линии». В реальных гонках переключение передач раньше достижения красной линии бывает полезным для ускорения.

Водитель автомобиля с двигателем, у которого кривая мощности начинает «отваливаться» на очень высоких оборотах, должен переключать передачи раньше, чтобы позволить двигателю довести обороты до тех значений, где двигатель выдает больше мощности. Точка переключения передач должна быть выбрана таким образом, чтобы двигатель мог поставлять колесам самую высокую мощность.

В первой гонке между Скакуном и Меринем оба автомобиля были оснащены 3-скоростной автоматической трансмиссией с широким шагом диапазона скоростей. Высокооборотный двигатель с узким диапазоном мощности нуждается в коробке передач с малым шагом передаточных отношений, и повышающей передачей, так чтобы водитель смог максимально использовать узкий диапазон мощности, чтобы пик мощности двигателя как можно лучше соотносился со скоростью автомобиля.

УПРАВЛЯЕМОСТЬ

Управляемость – это субъективный показатель, используемый для описания способности доступа к использованию мощности двигателя.

Атмосферный двигатель с широким диапазоном мощности будет иметь очень хорошую управляемость; резкое нажатие на педаль акселератора на любой скорости на любой передаче должно принести разумное ускорение.

С другой стороны, автомобиль с узким диапазоном мощности не может рассматриваться, как обладающий хорошей управляемостью. Во время совершения обгона при движении по шоссе водителю такого автомобиля часто приходится переходить на более низкую

передачу, чтобы получить доступ к высокой мощности двигателя.

Это одна из причин, по которой автомобили премиум класса часто оснащаются большим, атмосферным или турбированным двигателем, в то время как маленькие турбированные двигатели не так распространены, и часто встречаются в более ориентированных на активный отдых спортивных автомобилях, где выдающаяся управляемость не ожидается и/или требуется.

Часто в описании двигателя применяется термин «приемистый». Этот термин относится к автомобильным двигателям с хорошей управляемостью, широким диапазоном мощностей или высокой мощностью на низких оборотах коленчатого вала.

«Streetability» = Приспособленность к уличному движению – это еще один термин, который часто используется для описания двигателей, которые наряду с вышеуказанными характеристиками, обладают устойчивыми оборотами холостого хода, и хороший запуск при очень холодных температурах.

ВЫСОКИЙ КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫСОКИХ ОБОРОТОВ ДВИГАТЕЛЯ

Крутящий момент, который двигатель может производить, в некотором роде связан с объемом двигателя. Двигатели большого рабочего объема, как правило, тяжелы, что делает их непригодными для установки на легкие спортивные автомобили. Именно поэтому многие спортивные автомобили оснащены двигателями с малым рабочим объемом, высокими скоростями вращения коленчатого вала, и довольно часто – оснащенных устройствами принудительного наддува для получения высокой мощности. Кроме того, классификация гоночных автомобилей, допускаемых к соревнованиям, опирается на ограничения по рабочему объему, и единственным способом производства большой мощности является высокие обороты и наддув.

Двигатель с большим рабочим объемом способен продуцировать мощность более стабильно, чем маленькие двигатели, но не обязательно. Но все же существует множество больших, но «бесхарактерных» двигателей, совсем не предназначенных для спортивных автомобилей.

Тяжелые автомобили почти всегда оснащаются двигателями с большим рабочим объемом, поскольку им нужна большая мощность на низких оборотах коленчатого вала, и очень низких скоростях движения.

Так как вес современных транспортных средств все больше и больше увеличивается, способность к раз-

гону от старта до скорости движения в населенных пунктах становится все более актуальной.

ВЫВОД

Для того, чтобы быстро разгонять автомобиль, необходимо, чтобы двигатель мог поставить большую мощность на той скорости, с которой движется автомобиль.

Количество мощности определяет величину тяговой силы, которую двигатель может поставить к колесам автомобиля, причем, оценивается возможность поставки большой тяговой силы как на низких скоростях движения, так и на высоких скоростях.

Не имеет принципиального значения, имеет ли двигатель большую мощность на высоких оборотах, и насколько велик крутящий момент, создаваемый двигателем на низких оборотах, современная многоскоростная трансмиссия и правильный подбор передаточного числа главной передачи откорректирует возможности любого двигателя. Ну а применение гибридного силового агрегата на электрических гибридных автомобилях позволяет получить очень высокий крутящий момент на низких скоростях, но об этом – в другой статье.

Поэтому предлагаю откорректировать фразу Кэрролла Шелби так: «Пиковая мощность продаёт автомобили, а большой диапазон мощности выигрывает гонки»

Поскольку значения максимального крутящего момента и мощность могут дать только общее представление о возможностях автомобиля, лучшим способом хорошего сравнения между автомобилями – жить в мире автомобильных гонок, чаще заглядывать в конюшни спортивных команд, искать и находить нужную информацию, считать и воплощать расчеты в металл! А главное – настойчиво и прилежно учиться, поскольку «More learning, to more earning».

Материал для Вас подобрал, перевел и пересказал Дмитрий Титаренко

В основу легли материалы с сайта:

<http://craig.backfire.ca>