

Тормозной баланс и производительность. Почему тормозной баланс имеет значение?

by Tom McCready and James Walker, Jr. of scR motorsports

Давным давно в одном далеком далеком журнале несколько мятежных инженеров тормозных систем собрались вместе для того чтобы сделать следующее сообщение:

«Вы можете пополнить этим свою копилку. Независимо от диаметра ваших огромных тормозных дисков, плеча вашего педального узла, волшебного материала тормозных колодок и количества поршней в суппортах, ваше максимальное замедление ограничено взаимодействием шины и дороги. Это итог всей этой статьи. Останавливают машину не ваши тормоза. Останавливают машину ваши шины. Поэтому несмотря на то что изменения в тормозной системе могут оказывать воздействие на некоторые характеристики, использование более «липких» шин это единственные абсолютно надежный метод уменьшения тормозного пути.

Хотя можно ещё добавить. Да, шины останавливают автомобиль, но неправильный тормозной баланс может всё сильно нарушить даже при использовании лучших компонентов.

Для демонстрации правильного тормозного баланса, обычно, проще анализировать управление автомобилем, а потом применять эти принципы на тормозную систему. По неизвестным причинам люди лучше понимают принципы управления автомобилем, чем торможение. Парни, которые занимаются тормозами, думают, что это не очень честно, но мы попробуем использовать это как преимущество.

В теории то что ищут все это тонкий баланс управляемости, которые позволяет проходить повороты настолько быстро насколько это возможно. Говоря в общем, это называется нейтральным автомобилем, и это прямым образом может принести победу в гонке. Более редко мы слышим от победившего пилота, что машина управлялась ужасно.

Конечно нет идеального автомобиля, поэтому у нас есть способы выражения того как далек реальный баланс управляемости нашего автомобиля от оптимального. Когда машина входит в поворот и её перед сползает наружу это называется недостаточной поворачиваемостью, когда автомобиль поворачивает на меньший угол чем этого хочет водитель. С другой стороны, если зад машины сносит в повороте - это называется избыточной поворачиваемостью, когда автомобиль поворачивает на больший угол, чем хочет водитель.

В обоих случаях когда один край машины теряет сцепление, то есть начинает скользить, водитель осознает что он достиг максимальной скорости прохождения конкретного поворота. Да, есть миллион других факторов, которые могут изменить баланс управляемости, но чем дольше концы автомобиля не будут скользить, тем выше будет скорость прохождения поворота. Обратно, если один из концов автомобиля будет рано терять сцепление в повороте, скорость прохождения будет значительно снижаться.

Естественно, если скорость будет расти, то какой-то конец автомобиля начнет скользить, хотя самые лучшие системы подвески делают момент срыва для зада и передка примерно одновременным. Как быстро теряет сцепление один конец автомобиля по сравнению с другим целиком зависит от водителя (это только одна причина, почему нет «идеального» баланса), но если водитель жалуется на сильную избыточную или недостаточную поворачиваемость, то можно быть уверенным что один конец автомобиля «на три шага» впереди другого.

Хм... Разве эта статья не о тормозах?

Ну вот, теперь мы специалисту по настройке шасси и давайте взглянем как эта информация может пригодится для понимания тормозных систем. Возьмите попкорн и немного подождите.

Как и инженеры по настройке шасси, парни которые занимаются тормозами всегда ищут способы, чтобы добиться максимального ускорения, правда, конечно, это реально будет замедление. Во главе всего здесь будет тормозной путь и здесь каждый метр на счету. Запомните, сокращение тормозного пути всего на метр-два по сравнению с соперником в двадцатикруговой гонке даст преимущество в несколько корпусов на финише.

Когда тормозная сила нарастает, рано или поздно один конец автомобиля должен потерять сцепление. Если передние колеса блокируются и превращаются в кучку расплавленной резины, мы говорим, что у машины тормозной баланс смещен вперед, и ограничивающим фактором замедления будут передние шины. В менее благоприятной ситуации, когда первыми блокируются задние колеса, мы говорим, что у машины тормозной баланс смещен назад, но у водителя найдется ещё пара слов вдобавок. В обоих случаях, хотя один конец автомобиля будет блокироваться раньше, это будет в целом ограничивать замедление автомобиля.

Подобно автомобилю, который будет иметь недостаточную поворачиваемость, автомобиль с тормозным балансом, смещенным вперед будет раздражающим и медленным, но сравнительно простым в управлении. С другой стороны на монстре с избыточной управляемостью люди будут бояться ездить даже по паддоку, и машина с тормозным балансом смещенным назад будет пугать всех. Дерганая езда на такой машине в худшем случае выльется в синдром постоянной напряженности. Представьте, что воображаемый штурман будет дергать ручник в каждом повороте, и вы поймете, в чем здесь суть. Хотя управление таким автомобилем будет достаточно захватывающим, по секундомеру оно будет фантастически медленным.

Автомобиль с идеально сбалансированными тормозами, будет последним из всех начинать торможение на прямой. Путем распределения тормозной силы на все четыре колеса будет достигаться максимальное замедление, тормозной путь будет минимальным и наш герой быстро найдет путь к победе. Подобно нейтральной поворачиваемости, сбалансированные тормоза это прямой путь к уменьшению времени прохождения круга.

Всё что сказано это достигая идеального баланса тормозов тормозную силу будут всё таки генерировать шины. Шины будут останавливать автомобиль, но плохо спроектированная тормозная система может значительно удлинить тормозной путь независимо насколько дорогие и цепкие шины используются. Собственно, почему тормозной баланс важен?

Максимальная тормозная сила, которую определенная шина может создавать, теоретически равна коэффициенту трения на поверхности шина-дорога умноженной на вес поддерживаемый колесом. Например, шина поддерживает 250 кг с пиковым коэффициентом сцепления 0.8 (типичное значение для дорожной покрышки) в теории такая шина сможет создать тормозную силу в 200 кг. Хорошая гоночная шина с коэффициентом сцепления 1.5 сможет создать 375 кг тормозной силы. Большая тормозная сила означает большее замедление, и здесь мы можем увидеть математическую пользу от более цепкой шины.

С другой стороны, если наша гоночная шина поддерживает 130 кг, максимальная тормозная сила которую она сможет создать уменьшится на 52% с 375 кг до 195 кг.

Поскольку величина тормозной силы создаваемой покрышкой прямо пропорционально крутящему моменту, создаваемому тормозными цилиндрами, колодками и дисками, можно сказать что уменьшение веса на колесе будет уменьшать максимальный тормозной крутящий момент в момент блокировки колеса. В примере, приведенном выше, если мы предположим что 950 нм тормозного крутящего момента будет достаточно чтобы заблокировать колесо поддерживающее 250 кг, дальше всего

495 нм тормозного крутящего момента понадобится чтобы заблокировать колесо поддерживающее 130 кг.

На первый взгляд можно предположить что для того чтобы достичь идеального тормозного баланса нужно всего лишь:

1. Нагрузить 4 колеса машины
2. Спроектировать передние и задние тормоза таким образом чтобы создавать соотношение крутящего момента таким образом чтобы повторять распределение веса по осям.
3. Побеждать в гонках

Другими словами, для заднеприводной машины с распределением веса 50/50 необходимо чтобы передние и задние тормоза создавали одинаковый тормозной крутящий момент. В то же время, для переднеприводного автомобиля с распределением веса 60/40 из-за дополнительного веса на передней оси, будут нужны передние тормоза которые создают на 50% больше тормозного крутящего момента, чем задние,

Как и многие другие вещи, расчет тормозного баланса не такой простой как кажется на первый взгляд. Проектирование тормозной системы в таких статичных условиях не будет отражать второй важный фактор уравнения тормозного баланса – влияние динамического перераспределения веса при торможении

Явление перераспределения веса есть всегда.

Давайте предположим, что у нас есть машина весом 1100 кг и распределением веса по осям 50/50. Если мы будем рассматривать только автомобиль в состоянии покоя определить вес, а каждом колесе просто. Мы просто должны найти какие нибудь весы и взвесить. Сумма весов передних колес будет равна сумме на передней оси (550 кг), а сумма весов задних колес будет равна весу на задней оси (тоже 550 кг). Вес автомобиля конечно будет равен сумме весов по осям (исначальные 1100 кг), и этот вес может рассматриваться как будто он сосредоточен в центре тяжести. Рисунок 1 это хорошо иллюстрирует.

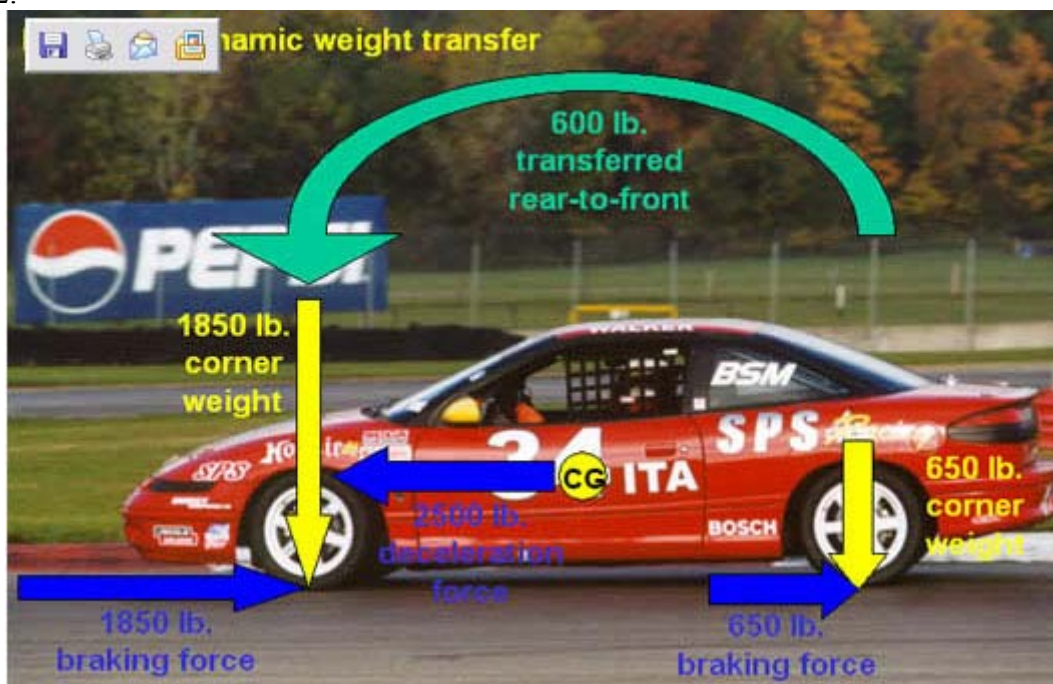


Отметим, что это состояние покоя, когда нет горизонтальных сил действующих на автомобиль. Все силы действуют в вертикальном направлении. Но что произойдет, когда мы начнем прикладывать силу к пятну контакта шины пытаясь остановить автомобиль. Давайте посмотрим.

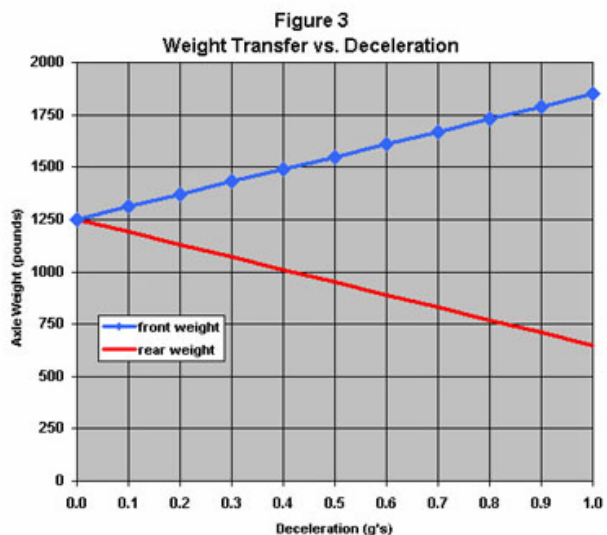
При торможении, вес переместится с задней оси на переднюю. Как при повороте, когда вес перемещается с внутренней стороны на внешнюю. Мы ощущаем этот эффект когда нас выбрасывает из сиденья. Следовательно, нам нужно добавить ещё несколько стрелок для демонстрации, но наиболее важный фактор это, то, что на центр тяжести будет испытывать замедление.

Поскольку сила замедления будет действовать на центр тяжести автомобиля, и потому что центр тяжести расположен над поверхностью земли, вес будет перемещаться с задней оси на переднюю прямо пропорционально скорости замедления. Столькими словами мы описали перемещение веса при торможении.

Эту замедляющую силу можно посчитать из уравнения $F=ma$, где F это сила действующая на пятно контакта, m – масса автомобиля и a – замедление. Хватит инженерных фокусов-покусов. Давайте посмотрим на эти дополнительные факторы на рисунке 2.



На рисунке 3 (начало которого мы называем диаграммой причинно-следственных связей, но об этом позже), мы видим, как наши 1100 кг с развесовкой 50/50 в покое перераспределяются при торможении. При торможении 1.0g (и использовании других типичных значений для нашего автомобиля) мы перемещаем 270 кг с задней оси вперед. Это означает что что мы перемещаем почти половину изначального веса на заднюю ось!



В этот момент, тормозная система которую мы спроектировали для того чтобы останавливать автомобиль с распределением веса 50/50 будет прикладывать слишком большую тормозную силу к задним тормозам, вызывая их блокировку до того момента как передние тормоза будут тормозить с максимальной силой. Следовательно, наш герой получит дерганую управляемость, о которой мы говорили раньше, потому, что задние шины будут начинать скользить гораздо раньше передних, и остановка будет занимать больше времени, поскольку передние шины будут создавать не такую большую тормозную силу как могли бы.

Итак, что же влияет на тормозной баланс?

Если мы посмотрим на уравнения, которые даны, мы увидим, что следующие факторы будут действовать на вес на осях в любой момент времени:

- Распределение веса по осям в состоянии покоя
- Высота центра тяжести – чем он выше, тем больше веса будет перемещаться при торможении
- Колесная база – чем она меньше тем больше веса будет перемещаться при торможении.

Мы ещё знаем фундаментальных основ проектирования тормозов что следующие факторы будут влиять на то какой тормозной момент создается на каждой оси автомобиля и какое количество этого момента передается через пятно контакта на земли:

- Эффективный диаметр тормозных дисков
- Диаметр рабочих тормозных поршней
- Коэффициент линейного трения
- Коэффициент сцепления шины

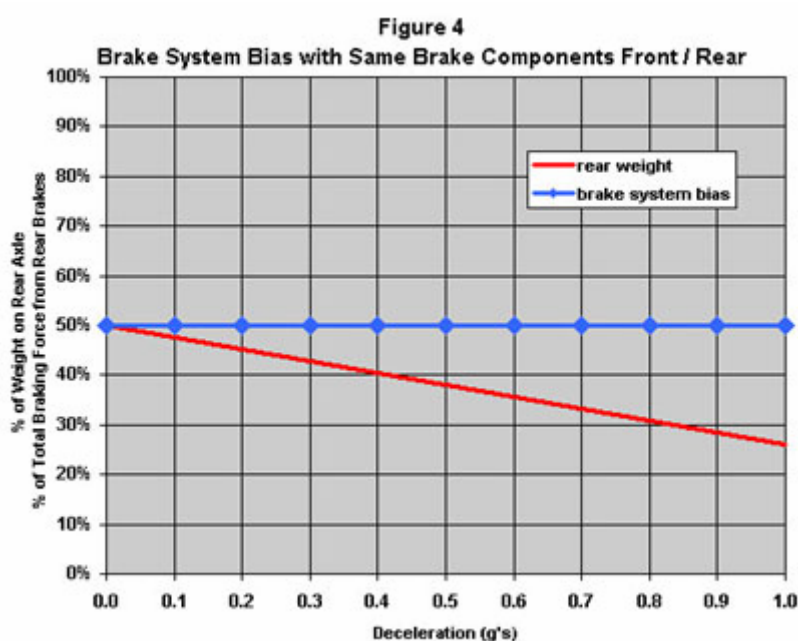
Комбинация этих двух функция – тормозная сила на колесе против веса поддерживаемого колесом определяет наш тормозной баланс. Изменения высоты центра тяжести и тормозной базы или величины торможения будет требовать другое распределение сил или другой тормозной баланс тормозной системы. Наоборот, изменение эффективности передних тормозов без изменения эффективности задних тормозов будет изменять тормозной баланс. Следующая таблица суммирует, как общие изменения, будут менять тормозной баланс

Факторы, которые смещают тормозной баланс вперед	Факторы, которые смещают тормозной баланс назад
Увеличение диаметра передних тормозных дисков	Увеличение диаметра задних тормозных дисков
Увеличение коэффициента трения передних тормозных колодок	Увеличение коэффициента трения задних тормозных колодок
Увеличения диаметра передних рабочих тормозных поршней	Увеличение диаметра задних рабочих тормозных поршней
Уменьшение диаметра задних тормозных дисков	Уменьшение диаметра передних тормозных дисков
Уменьшение коэффициента сцепления задних тормозных колодок	Уменьшение коэффициента сцепления передних тормозных колодок
Уменьшение диаметра задних рабочих тормозных поршней	Уменьшение диаметра передних рабочих тормозных поршней
Уменьшение высоты центра тяжести	Увеличение высоты центра тяжести
Увеличение веса на задней оси	Уменьшение веса на задней оси
Уменьшение веса на передней оси	Увеличение веса на передней оси

Менее цепкие шины (меньшее максимальное замедление)	Более цепкие шины (большее максимальное замедление)
---	---

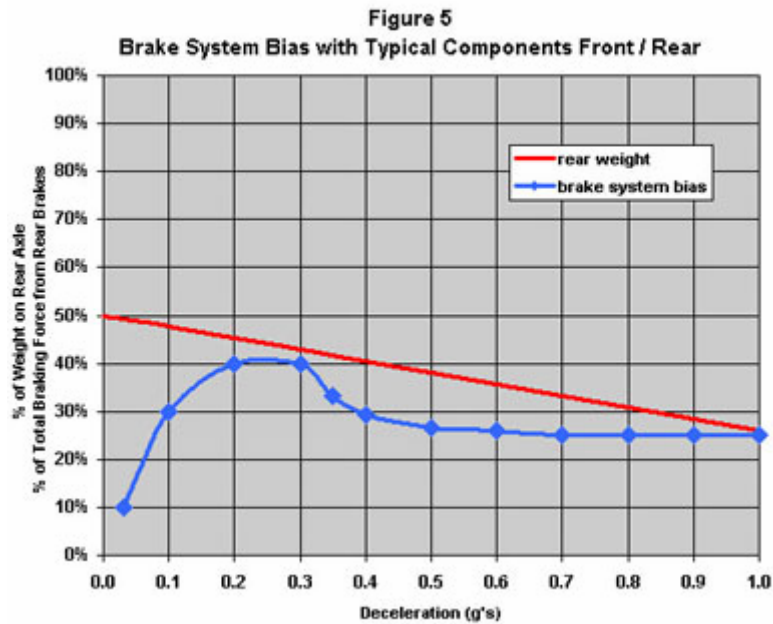
Идеально сбалансировано, в теории.

Пока мы считаем, как определить оптимальный тормозной баланс при любых условиях, трудной частью остается то, как создать такую тормозную систему учитывающую всё это. Наш гонщик делает это намного проще, чем это возможно сделать нам в реальной жизни. Если он знает что максимальное торможение ограничено шинами которые он использует он может улучшить тормозную систему до этого уровня. Надо заметить что если он улучшит свой автомобиль до уровня замедления 1.5g, поскольку будет работать перераспределение веса на его машине передние колеса будут перетормаживать в условиях меньшего уровня сцепления, например в дождь.



Рассматривая этот график, мы видим, что автомобиль всегда будет иметь тормозной баланс смещенный назад. Это так, потому что задние тормоза всегда будут создавать большую тормозную силу на пятне контакта, чем будет вес на задней оси. На таком автомобиле задние колеса всегда будут блокироваться раньше передних. Это не очень хорошо.

Большинство машин, имеют тормоза сзади меньше чем спереди. Есть много причин, чтобы так делать и одна из них это создание правильного тормозного баланса. Кроме того большинство автомобилей имеют регулятор который ограничивает давление на задних тормозах. Если мы посмотрим на ту же диаграмму с более реалистичной тормозной системой (кто-то может принять это к сведению), она может выглядеть примерно как на рисунке 5.



Идеальный тормозной баланс тормозной системы всегда должен повторять баланс веса автомобиля. Посмотрим на график обычной тормозной системы и мы увидим как сложно это сделать. Когда мы стараемся оптимизировать тормозную систему для определенного уровня замедления это гораздо проще. Мы можем улучшить систему таким образом, чтобы обе линии пересекались (или были близки к этому) на уровне с замедлением которое используется чаще всего. Это просто для не гоночных автомобилей, которые обычно тормозят с примерно одинаковым замедлением. Для дорожных машин этого достичь невозможно, поскольку водитель на дороге не всегда использует один уровень замедления.

И здесь ещё можно дать бесплатный совет. Эффект плохого тормозного баланса не только включает не оптимальный тормозной путь но ещё включает неоптимальный износ тормозных колодок. Если автомобиль имеет баланс, смещенный вперед в обычных условиях, он будет изнашивать передние колодки быстрее задних, потому что задние тормоза не будут создавать много тормозной силы, как могут. Тем не менее, задние колодки обычно не изнашиваются очень долго.

Тормозной баланс можно измерить разными способами. Первый метод – который используют производители автомобилей это поставить на автомобиль колеса, которые снабжены датчиками напряжения, поэтому тормозящий крутящий момент может быть измерен. Анализ данных торможения вместе с измеренной величиной тормозного крутящего момента и знанием параметров автомобиля указанных выше (колесная база, высота центра тяжести, вес на осях в состоянии покоя) позволит посчитать тормозной баланс при определенном торможении. Это наиболее точный метод измерения тормозного баланса. Есть и более простые и дешевые методы, которыми можно эффективно измерить тормозной баланс

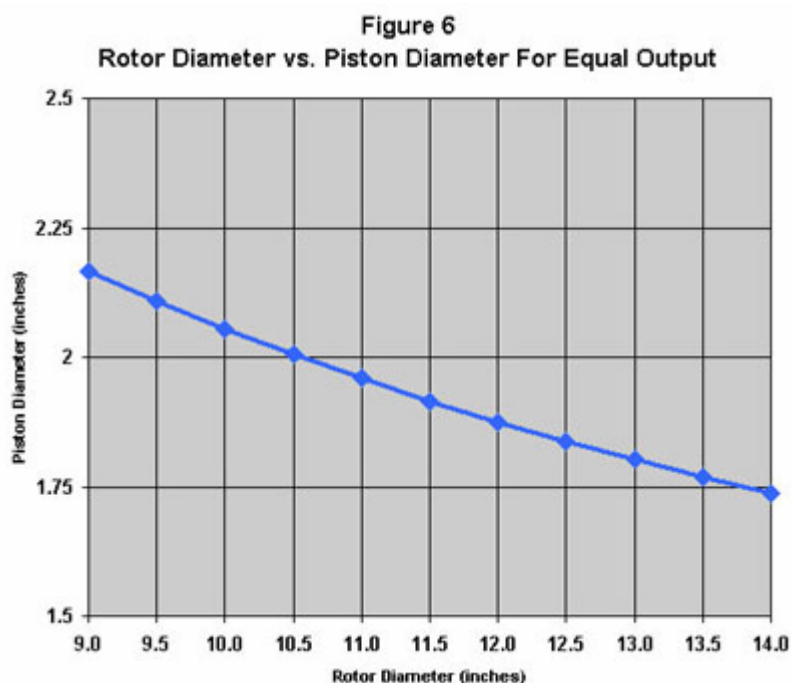
Мы знаем, что большинство автопроизводителей проектируют тормозные системы таким образом, чтобы тормозной баланс всегда был смещенным вперед с любыми дорожными шинами. Это помогает сделать автомобиль более стабильным на торможении для массового потребителя. Если мы измерим тормозной путь автомобиля взятого прямо в салоне мы сделаем тест автомобиля с тормозным балансом смещенным вперед на 5-10%.

Если мы внесем изменения в автомобиль, которые влияют на тормозной баланс и снова измерим тормозной путь, мы сможем сразу понять, если мы будем двигаться в неверном направлении. Например, не принято устанавливать улучшенные тормозные

колодки на заднюю ось (что сделает тормозной баланс ещё более смещенным вперед) и увеличит тормозной путь на 5% и более. Чисто гоночные колодки дадут и большее увеличение тормозного пути.

Наиболее сильное влияние на тормозной баланс обычно оказывает покупка больших тормозов, которые не очень подходят конкретному автомобилю. При установке больших передних тормозных дисков одновременно необходимо уменьшать сжимающую силу передних тормозных цилиндров (установка меньших цилиндров простейший метод) чтобы сместить возросший тормозной момент за счет увеличения эффективного радиуса тормозных дисков. Задача поддержания постоянного тормозного крутящего момента при данном давлении в тормозных магистралях, как показывает рисунок 6. К несчастью многие улучшения не учитывают этот момент, и такие машины имеют баланс тормозов ещё более смещенный вперед. Несмотря на то, что такие машины стабильны на торможении тормозной путь лишь увеличивается.

Это и есть та причина, по которой StopTech проводит инструментальную проверку каждого комплекта для нужд, для которых он разработан. Вы не просто покупаете запчасти, вы покупаете уверенность в том, что ваш тормозной баланс будет оптимизирован для определенных нужд.

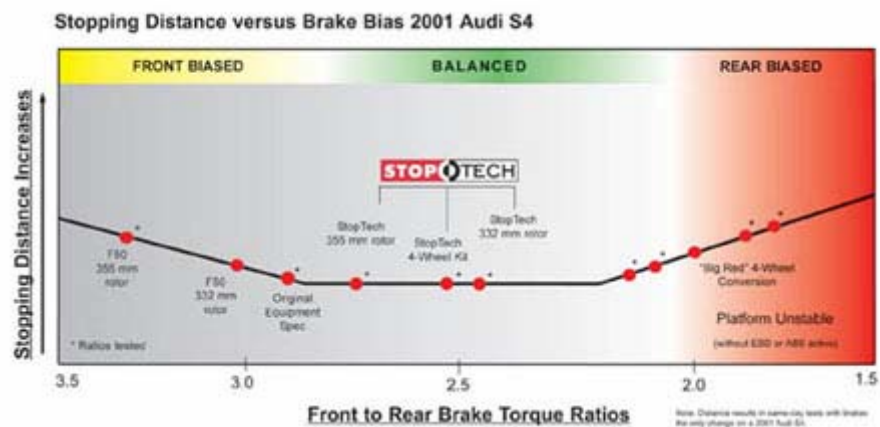


Посмотрим с другой стороны, какие изменения могут сдвинуть тормозной баланс назад. Поскольку автопроизводители при создании тормозных систем оставляют «место для маневра», обычно возможно немного сдвинуть тормозной баланс назад и добиться уменьшения тормозного пути от заводского. Но надо всегда помнить что это «пространство для маневра» не такое большое. После некоторого изменения, смещение тормозного пути назад вызовет нестабильность при сильных торможениях и последующее сокращение тормозного пути через крышу.

Мораль истории.

Итак, чему же мы научились? Как показывает рисунок 7, любая машина имеет идеальный тормозной баланс, который будет давать наименьший тормозной путь. Обычно, автопроизводители проектируют тормозные системы с балансом, смещенным на 5-10% вперед от оптимального, таким образом, достигается большая стабильность на

торможении. Это неплохо для общего пользования, и не так плохо для гоночного автомобиля.



Если вы собираетесь улучшить вашу машину для повседневной езды и для гонок всегда учитывайте что изменения в тормозной системе как и изменения в дорожном просвете, распределении веса или размерах могут сместить тормозной баланс. Единственный абсолютно верный метод измерения оптимальности итогового тормозного баланса это измерение тормозного пути до и после внесения изменений

В заключении, ваши шины естественно останавливают автомобиль, но если ваш тормозной баланс будет неправильным, вы не сможете воспользоваться всем доступным сцеплением. Тормозная система это просто система и нужно следить за тормозным балансом во время её улучшения чтобы пройти долгий путь до того как принесешь домой клетчатый флаг. Конечно, выбор подходящего комплекта от производителя, который уже сделал сложную часть работы за вас, может сделать путь к победе более простым.