

# Секреты подвескостроения У-У-К

СЕРГЕЙ САМОХИН

*Каждый раз, когда по тому или иному поводу речь заходит об углах установки колес, приходится слышать общепринятые фразы о том, что УУК призваны «компенсировать, снижать, повышать и улучшать». Обычно этим и ограничиваются. Если же предпринимаются попытки «копнуть глубже», а именно объяснить, почему колеса устанавливаются так, а не иначе, и каким образом достигается «снижение и повышение», чаще всего знания об этом предмете оказываются поверхностными, не совсем верными или неверными вовсе. Попробуем «повысить и улучшить» осведомленность в этой непростой, но очень интересной теме, заручившись поддержкой эксперта в области «подвескостроения» АЛЕКСАНДРА СОЛНЦЕВА, профессора, заместителя заведующего кафедрой «Автомобили» МАДИ (ГТУ). Как говорится, еще раз и поподробнее...*

Экскурс в историю показывает, что мудреная установка колес применялась на различных средствах передвижения задолго до появления автомобиля. Вот несколько более или менее хорошо известных примеров.

Не секрет, что колеса некоторых карет и прочих колясок на конной тяге, предназначенных для «динамичной» езды, устанавливали с большим, хорошо заметным глазу положительным развалом. Делалось это для того, чтобы грязь, шмотками летевшая с колес, не попадала в экипаж и на важных седоков, а разбрасывалась по сторонам.

У утилитарных повозок для неспешного передвижения все было с точностью до наоборот. Так, дореволюционные руководства о том, как построить хорошую телегу, рекомендовали ставить колеса с отрицательным развалом. В этом случае при потере нагеля, стопорящего колесо, оно не сразу соскакивало с оси. У возницы было время, чтобы заметить повреждение «ходовой», чреватой особенно большими неприятностями при наличии в телеге нескольких десятков пудов муки и отсутствии домкрата.

В конструкции орудийных лафетов (опять-таки наоборот) иногда применялся положительный развал колес. Понятно, что не с целью уберечь пушку от грязи. Так прислуге было удобно накатывать орудие за колеса руками сбоку, не опасаясь отдавить ноги. А вот у арбы ее огромные колеса, кото-

рые помогали запросто перебираться через арыки, были наклонены в другую сторону — к повозке. Достигавшееся при этом увеличение колеи способствовало повышению устойчивости среднеазиатского «мобиля», отличавшегося высоким расположением центра тяжести.

Какое отношение эти исторические факты имеют к установке колес современных автомобилей? Да, в общем, никакого. Тем не менее они позволяют сделать полезный вывод. Видно, что установка колес (в частности, их развал) не подчинена какой-либо единой закономерности. При выборе этого параметра «производитель» в каждом конкретном случае руководствовался разны-



Похоже, мастер, сработавший эту коляску, имел представление о положительном развале колес.

ми соображениями, которые он считал приоритетными.

Итак, к чему стремятся конструкторы автомобильных подвесок при выборе УУК? Конечно, к идеалу. Идеалом для автомобиля, который движется прямолинейно, считается такое положение колес, когда плоскости их вращения (плоскости качения) перпендикулярны поверхности дороги, параллельны друг другу, оси симметрии кузова и совпадают с траекторией движения. В этом случае потери мощности на трение и износ протектора шин минимальны, а сцепление колес с дорогой, наоборот, максимально. Естественно, возникает вопрос: что же заставляет преднамеренно отклоняться от идеала? Забегая вперед, можно привести несколько соображений. Во-первых, мы судим об углах установки колес на основании статической картины, когда автомобиль неподвижен. Кто сказал, что в движении, при ускорении, торможении и маневрировании автомобиля она не меняется? Во-вторых, сокращение потерь и продление срока службы шин не всегда является приоритетной задачей.

Прежде чем рассказывать о том, какие факторы принимают в расчет разработчики подвесок, условимся, что из большого числа параметров, описывающих геометрию подвески автомобиля, мы ограничимся лишь теми, что входят в группу первичных (primary) или основных. Они называются так потому, что определяют настройку и свойства подвески, всегда контролируются при ее диагностике и регулируются, если таковая возможность предусмотрена. Это хорошо известные схождение, развал и углы наклона оси поворота управляемых колес. При рассмотрении этих важнейших параметров нам придется вспомнить и о других характеристиках подвески. Чтобы оживить память, можно воспользоваться приводящимися справками.

## Схождение

В различных источниках, в том числе и серьезной технической литературе, часто приводится версия о том, что схождение колес необходимо для компенсации побочного действия развала. Мол, из-за деформации шины в пятне контакта «разваленное» колесо можно представить как основание конуса. Если колеса установлены с положительным углом развала (почему — пока неважно), они стремятся «раскатиться» в разные стороны. Чтобы этому противодействовать, плоскости вращения колес сводят. Версия, надо сказать, не лишена изящества, но не выдерживает критики. Хотя бы потому, что предполагает однозначную взаимосвязь между развалом и сходом. Следуя предлагаемой логике, колеса, имеющие отрицательный угол развала, обязательно должны устанавливаться с расхождением, а если угол развала нулевой, то и схождения быть не должно. В действительности это совсем не так. Действительность, как водится, подчиняется более

сложным и неоднозначным закономерностям.

При качении наклоненного колеса в пятне контакта действительно присутствует боковая сила, которую часто так и называют — тяга развала. Она возникает в результате упругой деформации шины в поперечном направлении и действует в сторону наклона. Чем больше угол наклона колеса, тем больше тяга развала. Именно ее используют водители двухколесной техники — мотоциклов и велосипедов — при прохождении поворотов.



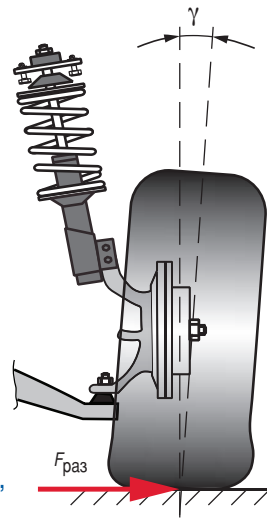
Если зрение не обманывает, это «правильная» телега.

Им достаточно наклонить своего скакуна, чтобы заставить его «прописывать» криволинейную траекторию, которую остается лишь корректировать рулевым управлением. Тяга развала играет немаловажную роль и при маневрировании автомобилей, о чем будет сказано далее. Так что вряд ли ее стоит намеренно компенсировать схождение. Да и сам посыл, что из-за положительного угла развала колеса стремятся развернуться наружу, т.е. в сторону расхождения, неверен. Напротив, конструкция подвески управляемых колес в большинстве случаев такова, что при положительном развале его тяга стремится увеличить схождение. Так что «компенсация побочного действия развала» не при чем. Известно несколько факторов, обуславливающих необходимость схождения колес.

Первый состоит в том, что предварительно выставленным сходом компенсируется влияние продольных сил, действующих на колесо при движении автомобиля. Характер и глубина (а значит, и результат) влияния зависят от многих обстоятельств: ведущее колесо или свободно катящееся, управляемое, или нет, наконец, от кинематики и эластичности подвески. Так, на свободно катящееся колесо автомобиля в продольном направлении воз-

действует сила сопротивления качению. Она создает изгибающий момент, стремящийся развернуть колесо относительно узлов крепления подвески в направлении расхождения. Если подвеска автомобиля жесткая (например, неразрезная или торсионная балка), то эффект окажется не очень значительным. Тем не менее он обязательно будет, поскольку «абсолютная жесткость» — термин и явление сугубо теоретические. К тому же перемещение колеса определяется не только упругой деформацией элементов подвески, но и компенсацией конструктивных зазоров в их соединениях, колесных подшипниках и т.д. В случае подвески с большой податливостью (что характерно, например, для рычажных конструкций с эластичными втулками) результат многократно возрастет.

Если колесо не только свободно катящееся, но и управляемое, ситуация усложняется. За счет появления у колеса дополнительной степени свободы та же сила сопротивления оказывает двоякое воздействие. Момент, изгибающий переднюю подвеску, дополняется моментом, стремящимся развернуть колесо вокруг оси поворота. Разворачивающий момент, величина которого зависит от расположения оси поворота, воздействует на детали механизма рулевого управления и вследствие



При качении наклоненного колеса в пятне контакта возникает боковая сила, так называемая тяга развала. Она увеличивает боковую реакцию колеса до тех пор, пока наклон не вызывает ощутимого уменьшения площади пятна контакта.

их податливости также вносит свою весомую лепту в изменение схождения колеса в движении. В зависимости от плеча обкатки вклад разворачивающего момента может быть со знаком «плюс» или «минус». То есть он может либо усиливать расхождение колес, либо противодействовать этому.

Если не принять все это во внимание и установить изначально колеса с нулевым сходом, в движении они займут расходящееся положение. Из этого «вытекут» последствия, характерные для случаев нарушения регулировки схождения: повышенный расход топлива, пилообразный износ протектора и проблемы с управляемостью, о чем будет сказано далее. Сила сопротивления движению зависит от скорости автомобиля. Поэтому идеальным решением стало бы переменное схождение, обеспечивающее столь же идеальное положение колес на любых скоростях. Поскольку сделать это сложно, колесо предварительно «сводят» так, чтобы достичь минимального износа шин в режиме крейсерской скорости.

Колесо, расположенное на ведущей оси, большую часть времени подвергается действию силы тяги. Она превышает силы сопротивления движению, поэтому равнодействующая сил будет направлена по ходу движения. Применив ту же логику, получим, что в этом случае колеса в статике нужно установить с расхождением. Аналогичный вывод можно сделать и в отношении управляемых ведущих колес.

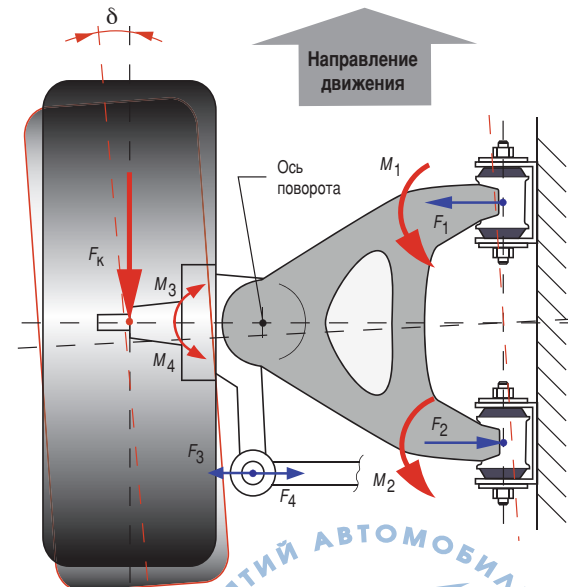
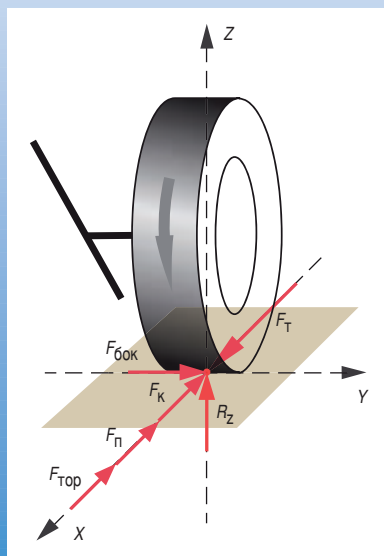
**Силы, действующие на колесо**

В пятне контакта колеса движущегося автомобиля с дорогой действуют продольные, боковая и вертикальная силы. В продольном направлении работают: сила тяги ( $F_T$ ) (только в случае ведущего колеса), сила торможения ( $F_{Тор}$ ), сила сопротивления качению ( $F_K$ ), а на подъеме — сила сопротивления подъему ( $F_N$ ). Последние две силы в сумме создают так называемую силу сопротивления дороги.

Боковая сила  $F_{бок}$  — реакция колеса на различные силы, действующие на автомобиль в поперечном направлении (центробежную, бокового ветра и т.п.) и провоцирующие его боковой уход.

Весовая нагрузка, приходящаяся на колесо, создает в зоне контакта вертикальную реакцию  $R_z$ .

При оценке характера воздействия этих сил на подвеску и рулевое управление их равнодействующие считаются приложенными в центре пятна контакта колеса с дорогой.

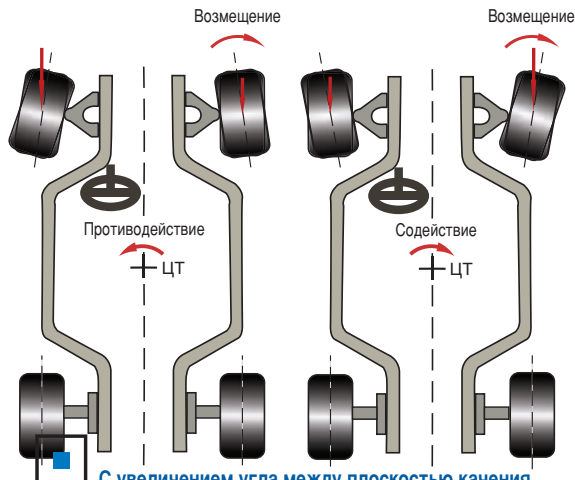


$M_1, M_2$  — моменты силы  $F_K$  относительно опор рычага;  $M_3, M_4$  — моменты силы  $F_K$  относительно оси поворота колеса;  $F_1, F_2$  — силы, действующие на опоры;  $F_3, F_4$  — силы, действующие на рулевое управление

Сила сопротивления качению стремится развернуть колеса в сторону отрицательного схождения.

Лучший критерий истины — практика. Если, памятуя об этом, посмотреть регулировочные данные для современных автомобилей, можно испытать разочарование, не обнаружив большой разницы в сходимости управляемых колес задне- и переднеприводных моделей. В большинстве случаев и у тех, и у других этот параметр будет положительным. Разве что среди переднеприводных автомобилей чаще встречаются случаи «нейтральной» регулировки схождения. Причина не в том, что описанная выше логика не верна. Просто при выборе величины схождения наряду с компенсацией продольных сил учитывают и другие соображения, которые вносят поправки в конечный результат. Одно из наиболее важных — обеспечение оптимальной управляемости автомобиля. С ростом скоростей движения и динамичности автотехники этот фактор приобретает все большее значение.

Управляемость — понятие многогранное, поэтому стоит уточнить, что схождение колес наиболее ощутимо влияет на стабилизацию прямолинейной траектории автомобиля и его поведение на входе в поворот. Наглядно это влияние можно пояснить на примере управляемых колес. Допустим, в движении по прямой на одно из них оказывается случайное возмущающее воздействие от неровности дороги. Возросшая сила сопротивления поворачивает колесо в направлении уменьшения схождения. Через рулевой механизм воздействие передается на второе колесо, схождение которого, наоборот, увеличивается. Если изначально колеса



С увеличением угла между плоскостью качения колеса и направлением движения сила сопротивления возрастает. При положительном сходимости возникающая разница сил на колесах парирует возмущение. При отрицательном — способствует его развитию.

имеют положительное схождение, сила сопротивления на первом уменьшается, а на втором — растет, что противодействует возмущению. Когда схождение равно нулю, противодействующий эффект отсутствует, а когда оно отрицательное — появляется дестабилизирующий момент, способствующий развитию возмущения. Автомобиль с такой регулировкой схождения будет рыскать по дороге, его придется постоянно ловить подруливанием, что недопустимо для обычного дорожного автомобиля. У этой «монеты» есть и обратная, позитивная сторона — отрицательное схождение позволяет добиться от рулевого управления наиболее быстрой реакции. Малейшее действие водителя тут же провоцирует резкое изменение траектории — автомобиль охотно маневрирует, легко «согласается» на поворот. Такая регулировка схождения сплошь и рядом используется в

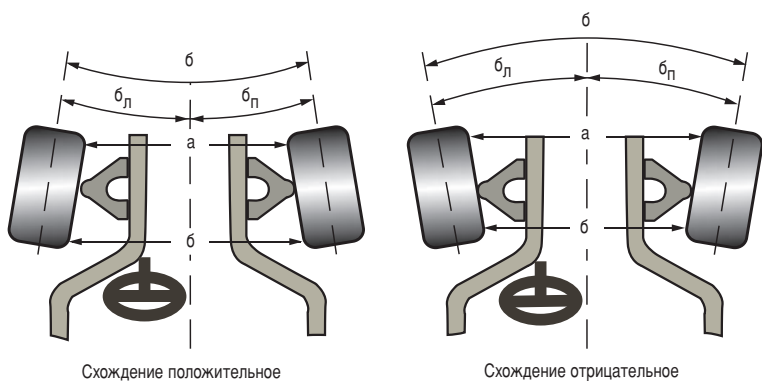


Для болида Ferrari F2008 износ колес — дело десятое, чего нельзя сказать об отзывчивости рулевого управления (вперед — toe-out) и компенсации избыточной поворачиваемости (сзади — toe-in).

### Схождение

Схождение (TOE) характеризует ориентацию колес относительно продольной оси автомобиля. Положение каждого колеса может быть определено отдельно от других, и тогда говорят об индивидуальном сходимости. Оно представляет собой угол между плоскостью вращения колеса и осью автомобиля при его наблюдении сверху. Суммарное схождение (или просто схождение) колес одной оси, как и следует из названия, представляет собой сумму индивидуальных углов. Если плоскости вращения колес пересекаются впереди автомобиля, схождение положительное (toe-in), если сзади — отрицательное (toe-out). В последнем случае можно говорить о расхождении колес.

В регулировочных данных иногда схождение приводится не только в виде угловой, но и линейной величины. Это связано с тем, что о сходимости колес также судят по разности расстояний между закраинами ободьев, замеренных на уровне их центров сзади и спереди оси.



б — суммарный угол схождения колес; б<sub>л</sub>, б<sub>п</sub> — индивидуальные углы схождения

автоспорте. Те, кто смотрят телепередачи о чемпионате WRC, наверняка обращали внимание на то, как активно приходится работать рулем тому же Лёбу или Гронхольму даже на относительно прямых участках трассы.

Аналогичное воздействие на поведение автомобиля оказывает схождение колес задней оси — уменьшение схождения вплоть до небольшого расхождения увеличивает «подвижность» оси. Этот эффект часто используют для компенсации недостаточной поворачиваемости автомобилей, например, переднеприводных моделей с перегруженной передней осью.

Таким образом, статические параметры схождения, которые приведены в регулировочных данных, представляют собой некую суперпозицию, а иногда и компромисс между желанием сэкономить на топливе и резине и добиться оптимальных для автомобиля характеристик управляемости. Причем заметно, что в последние годы превалирует последнее.

Продолжение следует.