

Академик Е. А. ЧУДАКОВ

КАЧЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО КОЛЕСА ПРИ НАКЛОННОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ЕГО СРЕДНЕЙ ПЛОСКОСТИ

Передние управляемые колеса автомобиля часто устанавливаются таким образом, что расстояние между ободами правого и левого колеса в верхней их части получается больше, чем в нижней части тех же колес. Такая установка колес называется «развалом» колес. В современных автомобилях угол α развала колес принимается изменяющимся в пределах от $0,5$ до 2° .

При цельной передней оси угол развала колес сохраняется более или менее постоянным, даже при езде автомобиля по сравнительно неровной дороге. При разрезной же передней оси и независимой подвеске передних колес угол α развала не сохраняется постоянным, и характер его изменения зависит от конструкции подвески. При подвеске, принятой для автомобилей советского производства (автомобили «Победа» и ЗИМ), колебание угла α развала колес при максимальном вертикальном перемещении колес достигает величины в несколько градусов.

Неоднократно было обнаружено, что при наклоне средней плоскости колеса вбок это колесо стремится откатываться в сторону наклона; удерживается оно от этого лишь благодаря тому, что при помощи соответствующего механизма (передняя ось, рулевая трапеция) оно соединено с другим колесом, и таким образом устанавливается равновесие обоих колес. Однако между колесами и опорной плоскостью при этом возникают боковые силы, которые увеличивают как сопротивление качению колес, так и износ шин.

Объяснение указанного явления, а именно стремления наклонно расположенного колеса откатываться в сторону наклона, было предложено Хелдт. По его представлению (см. рис. 1), наклоненное колесо стремится катиться вокруг оси, перпендикулярной к опорной плоскости колеса и проходящей через точку A пересечения оси колеса с опорной плоскостью, т. е. стремится катиться по дуге радиуса R . Такое объяснение, весьма подкупающее по своей иллюстративности, все же не объясняет рассматриваемого явления, а потому и не дает в распоряжение конструктора данных для борьбы с этим явлением, весьма вредным, так как оно вызывает усиленный износ шин. Стремление колеса откатываться вбок — в сторону наклона его средней плоскости — в действительности обуславливается влиянием сил, возникающих при этом между опорной плоскостью и шиной, сил, стре-

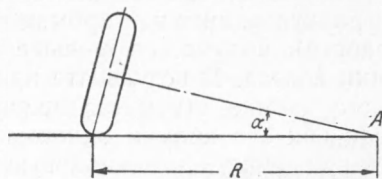


Рис. 1.

мящихся повернуть колесо в сторону его наклона. Это явление и рассмотрено ниже.

Так как протектор автомобильной шины всегда имеет форму, симметричную по отношению к средней плоскости колеса, то при вертикальном расположении колеса и (горизонтальной опорной плоскости) силы, действующие от опорной плоскости на отдельные элементы шины, располагаются симметрично по отношению к отпечатку шины и к средней плоскости колеса, и в этом случае у колеса не возникает стремления откатываться вбок. При боковом наклоне колеса участки шины, соответствующие разным ее сечениям (перпендикулярным к оси колеса), получают разную радиальную деформацию, а следовательно, будут стремиться иметь разные радиусы качения. Но так как для всего колеса, естественно, имеется один общий радиус качения, то между разными сечениями шины и опорной плоскостью возникают разные удельные тангенциальные реакции. В сечении колеса, наиболее отдаленном от поворотного шкворня, удельная тангенциальная реакция будет максимальной, и она будет направлена против качения колеса (рассматривается качение ведомого колеса автомобиля). В сечениях колес, более близких к поворотному шкворню, удельная тангенциальная реакция будет, соответственно, уменьшаться, и при некоторой форме протектора (большой радиус протектора и большая ширина беговой дорожки) эта реакция может получить направление в сторону качения колеса. Этот вопрос рассмотрен был автором в работе (1) при исследовании вопроса о циркуляции мощности в системе бездифференциальной оси, имеющей колеса разного размера.

Для более наглядной иллюстрации рассматриваемого явления на рис. 2 изображена схема автомобильного колеса, катящегося свободно по опорной горизонтальной плоскости.

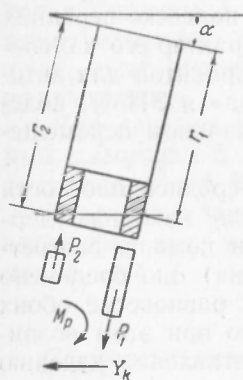


Рис. 2

Ось колеса наклонена к горизонтали под углом α , что определяет разные деформации сжатия на внешней и внутренней кромках колеса. Для максимального упрощения рассматриваемого явления предположено, что колесо имеет цилиндрическую форму; при этом выделены наружная и внутренняя его кромки, поведение которых и будет рассмотрено ниже.

Предполагается, что колесо катится от читателя (т. е. за чертеж). Если бы ось колеса располагалась горизонтально, то при этом на каждый элемент колеса, приходящий в соприкосновение с опорной плоскостью, действовала бы сила, имеющая общее направление, противоположное направлению качения колеса. Сумма этих сил и представляет собою силу сопротивления качению колеса. Однако в данном случае (наклон оси колеса под углом α к горизонтالي) в связи с разной деформацией внутренней и наружной кромок колеса все явление протекает иначе. Динамический радиус r_1 внешней кромки колеса (считая от оси колеса до опорной плоскости) получается меньше динамического радиуса r_2 внутренней кромки колеса. В результате при той же скорости качения колеса внешняя его кромка стремится вращаться быстрее, чем внутренняя кромка, но так как это кромки одного колеса, то они имеют одинаковую скорость вращения ω и одинаковую скорость качения v . Следовательно, при отсутствии скольжения или буксования отдельных элементов колеса обе кромки имеют и одинаковые радиусы качения (равные $r_k = v/\omega$). Это достигается тем, что внутренняя кромка колеса получает тангенциальную деформацию, вызывающую уменьшение радиуса качения; по этой причине от опорной плоскости на внутреннюю кромку колеса действует сила P_2 в направлении, противоположном действию силы P_1 от опорной плоскости на внешнюю кромку колеса.

При этом для создания силы P , идущей на преодоление сопротивления качению колеса, необходимо соответствующее увеличение силы P_1 . Сила P , передаваемая от оси к колесу и обеспечивающая качение последнего, в данном случае равна разности сил $P_1 - P_2$.

Таким образом, при качении колеса, наклонно расположенного по отношению к горизонтальной опорной плоскости, значительно возрастает абсолютное значение тангенциальных сил, действующих от опорной плоскости на отдельные элементы шины, что повышает деформацию этих элементов шины, а следовательно, во-первых, увеличивает потери на качение колеса (увеличение силы P_f и коэффициента f сопротивления качению) и, во-вторых, повышает износ шины.

При значительной же разнице в радиусах r_1 и r_2 (что зависит от угла наклона средней плоскости колеса и от формы протектора) радиусы качения внешней и внутренней кромок шины уже не могут сравниться за счет тангенциальной деформации протектора, и в этом случае начинается проскальзывание внутренней кромки колеса по опорной плоскости, что должно вызвать особенно интенсивный износ шин.

Возникновение противоположно направленных сил P_1 и P_2 вызовет появление момента M_p , действующего от опорной плоскости на колесо и стремящегося повернуть последнее в направлении, указанном стрелкой на рис. 2. Этот момент и стремится откатывать колесо вбок от автомобиля в направлении наклона средней плоскости колеса.

Если же колесо удерживать от бокового перемещения при помощи соответствующего механизма, как это, в частности, имеет место в случае переднего колеса автомобиля, то между колесом и опорной плоскостью возникает боковая реакция, аналогичная реакциям, возникающим при боковом уводе колеса. На рис. 2 такая реакция, действующая на колесо, обозначена буквой Y_k .

Указанное выше явление (увеличение абсолютного значения тангенциальной реакции P , появление момента M_p , стремящегося повернуть колесо около вертикальной оси, и появление боковой реакции Y_k), сопровождающее боковой наклон колеса (угол α), повышает напряжения в отдельных элементах шины и, в частности, в тех ее элементах, которые находятся в непосредственном соприкосновении с опорной плоскостью. Поэтому развал колес (угол α) должен вызвать увеличение коэффициента f сопротивления качению колеса, а также усиленный износ шин, особенно шин, имеющих широкую и плоскую беговую дорожку протектора, что при том же угле α развала колес способствует резкому изменению соотношения между динамическими радиусами r_1 и r_2 (рис. 2).

Этим, повидимому, следует объяснить повышенный износ шин передних колес автомобилей при независимой их подвеске. При принятой в этом случае рычажной независимой подвеске угол α бокового наклона колес колеблется в значительных пределах, что, как указано выше, вызывает увеличение тангенциальной реакции P , момента M_p и боковой реакции Y_k .

Ряд экспериментов, проведенных по этому вопросу в Автомобильной лаборатории Академии наук, подтвердил приведенные выше соображения о влиянии угла α наклона колеса на реакции P и Y_k и на момент M_p .

Обстоятельных опытов по влиянию формы шины (радиус протектора и ширина беговой дорожки) и ее бокового наклона на интенсивность износа шины до сего времени еще не было проведено. Такой опыт (на стенде с беговым барабаном) подготавливается. Однако некоторые выводы по этому вопросу можно сделать из рассмотрения экспериментов по износу передних и задних шин автомобилей с независимой рычажной подвеской передних колес; эксперименты были проведены в Научно-исследовательском институте шинной промышленности. Испытания шин проводились при пробеге автомобилей в эксплуатационных условиях. Износ резины наблюдался отдельно для передних и задних колес; при этом

пробег продолжался до полного износа протектора (появление нитей каркаса). Всего испытанию подвергнуто было 12 автомобилей (по 4 в разных эксплуатационных условиях) в Москве, в Сочи и в Крыму.

Результаты испытаний приведены в табл. 1; здесь указан пробег шин передних и задних колес до указанного выше износа протектора (появление нитей каркаса).

Таблица 1

Место испытания	Пробег шин в передних колес		Пробег шин задних колес
	в тыс. км	% к зад- ним колес- сам	в тыс. км
Москва	26,6	76,2	34,9
Сочи	9,2	56,4	16,3
Крым	7,4	70,4	10,5

Во всех случаях шины передних колес прошли заметно меньший путь, нежели шины задних колес.

Это может быть объяснено тем, что при независимой подвеске каждого колеса на двух рычагах разной длины угол α наклона средней плоскости колеса в средних дорожных условиях достигает значительной величины (нескольких градусов). Согласно же изложенному выше, это вызывает увеличение как боковой реакции Y_k , так и момента M_p , поворачивающего колесо в вертикальной плоскости. Оба эти фактора увеличивают коэффициент f сопротивления качению колеса и повышают интенсивность износа шин.

Повышенный износ шин в Сочи и особенно в Крыму по сравнению с пробегом тех же шин в Москве, по видимому, следует объяснить лучшим качеством дорог и меньшим количеством резких поворотов в Москве.

Для изыскания путей снижения износа шин автомобилей при независимой подвеске необходимо провести эксперимент с другой конструкцией подвески колес, а именно, с подвеской на рычагах одинаковой длины. В этом случае при том же колебании колес угол α бокового наклона их средней плоскости будет изменяться значительно меньше, чем при существующей конструкции подвески.

Поступило
21 III 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. А. Чудаков, Теория автомобиля, 1950. ² Е. А. Чудаков, ДАН, 70, № 5 (1950).