

УДК 629.083

ДИСБАЛАНС. БАЛАНСИРОВКА. УПРАВЛЯЕМОСТЬ АВТОМОБИЛЯ.

Ткачева Татьяна Михайловна, канд. физ.-мат. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, tatmhtka@rambler.ru

Ниязбаев Дамир Алиевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, d.niazbaev@mail.ru

Килюшик Александр Витальевич, студент
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, 1562357416@mail.ru

Аннотация: Движение автомобиля представляет собой сложное движение, включающее, в том числе, колебания всех основных частей автомобиля и даже их вибрацию. Вибрация приводит к возникновению деформаций деталей автомобиля и влияет на самочувствие человека, управляющего этим автомобилем. Одной из причин возникновения вибраций может быть плохая балансировка колес. Плавность хода автомобиля, его управляемость, а также безопасность вождения зависят от состояния шин. Деформация шин может быть вызвана их неправильной центровкой относительно главной оси вращения колеса, проходящей через его центр масс, то есть дисбаланса. Наличие дисбаланса шин вызывает появление центробежных сил, которые являются причиной ударного воздействия на колеса. В данной статье рассмотрены варианты возникновения дисбаланса колеса, приведены расчеты ударной силы дисбаланса и названы действия по его устранению. Показано, что возможна ситуация, когда ударная сила статического и динамического дисбаланса практически равны по величине, и в этом случае для устранения дисбаланса достаточно провести динамическую балансировку колес.

Ключевые слова: дисбаланс, балансировка, ось вращения, управляемость автомобиля, ударная сила дисбаланса, статическая и динамическая балансировка

IMBALANCE. BALANCING. HANDLING OF THE CAR.

Tkacheva Tatiana V., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, tatmhtka@rambler.ru

Niazbaev Damir A., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, d.niazbaev@mail.ru

Kilushik Aleksandr V., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, 1562357416@mail.ru

Abstract. The movement of a car is a complex movement, including, among other things, the vibrations of all major parts of the car and even their vibration. Vibration leads to

deformations of vehicle parts and affects the well-being of the person driving this vehicle. Poor wheel balancing can be one of the causes of vibration. The smooth running of the vehicle, its handling and driving safety depend on the condition of the tires. Deformation of tires can cause by their incorrect centering relative to the main axis of rotation of the wheel, passing through its center of mass, that is, imbalance. The imbalance in the tires causes centrifugal forces, which cause shock to the wheels. This article discusses the options for the occurrence of imbalance in the wheel, provides calculations of the impact force of the imbalance and describes the actions to eliminate it. It is shown that a situation is possible when the impact force of static and dynamic imbalance is practically equal in magnitude, and in this case, to eliminate the imbalance, it is sufficient to carry out dynamic wheel balancing.

Key words: imbalance, balancing, axis of rotation, car's handling, shock force of imbalance, static and dynamic balancing.

Введение

Дисбаланс показывает степень разупорядоченности распределения масс деталей колеса относительно оси вращения. Диски и шины являются наибольшими по массе и по значимости деталями колеса. Наличие дисбаланса колес может увеличить износ шин и подшипников, деформировать подвеску, вызывать вибрацию рулевой колонки. При эксплуатации на дорогах с неровностями или даже на асфальте, но с повреждениями в виде сколов или ям шины деформируются, что приводит к перераспределению массы колеса относительно оси вращения.

Дальнейшая эксплуатация автомобиля с нарушенным распределением массы относительно оси вращения усугубляет дисбаланс колес (в основном шин), и, далее по списку, возникают различные неисправности, например, увеличение тормозного пути, возникновения вибрации кузова, ухудшение сцепления с дорожным полотном и увод автомобиля в сторону, полное разрушение крепления колеса или даже его потеря на скорости.

Следует упомянуть и дополнительные затраты, связанные с возросшим расходом топлива при разбалансированных колесах, то есть с деформированными шинами (до 12 %).

Неуравновешенность (дисбаланс)

Перераспределение массы колеса, изменение его формы вызывает изменение момента инерции, что ведет к перемещению главной оси инерции относительно оси вращения. Момент инерции изменяется не только из-за возникновения неуравновешенной массы, но и за счет появления нового радиуса вращения, так как положение центра масс сместилось на величину эксцентриситета. Кроме того, при вращении любого твердого тела относительно оси возникают центробежные силы, которые могут быть источником и причиной вибрации.

Дисбаланс является вектором [1], но его значение по модулю можно рассчитать, как произведение неуравновешенной массы на модуль эксцентриситета. Вектор дисбаланса совпадает по направлению с вектором эксцентриситета, перпендикулярен оси вращения и проходит через центр тяжести неуравновешенной массы.

Неуравновешенность называют статической (статический дисбаланс), если расчет ее величины можно произвести, без движения автомобиля. За счет возникновения неуравновешенной массы ось вращения оказывается сдвинута относительно оси вращения для симметричного распределения массы на величину эксцентриситета, но располагается параллельно ей (рис. 1 а).

Если дать колесу с таким распределением массы свободно вращаться, то оно в какой-то момент остановится таким образом, что избыток массы останется внизу. Соответственно, исправление данного недостатка в распределении массы можно осуществить добавлением некоторой массы на диаметрально противоположном ободу колеса.

Еще существует моментная неуравновешенность (моментный дисбаланс), которая соответствует пересечению оси вращения колеса с главной осью момента инерции в центре масс колеса (рис. 1 б).

Наибольший интерес и наибольшее беспокойство при эксплуатации колес автомобиля вызывает динамическая неуравновешенность (динамический дисбаланс), которая возникает, когда ось вращения и главная ось момента инерции пересекаются в точке, не совпадающей с центром тяжести (рис. 1 в).

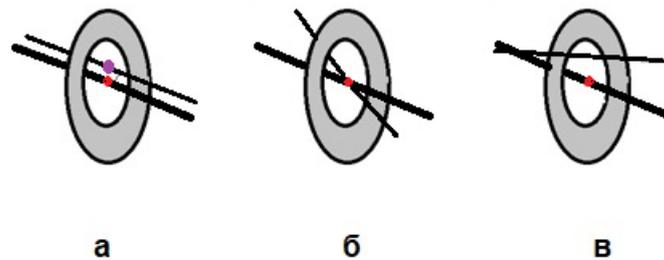


Рис. 1. Схема возникновения статического (а), моментного (б), и динамического (в) дисбаланса

Центробежная сила F выражается стандартной формулой $F=(P/g) \omega^2 \cdot e$, в которой использованы следующие обозначения: P – вес колеса, g – ускорение свободного падения; ω – угловая скорость, e – модуль эксцентриситета. Величина центробежной силы не должна превышать 4-5% от веса тела. Предельное значение величины центробежной силы, при котором наступает полное разрушение, составляет примерно 30% от веса колеса. Это возможно при очень больших скоростях (до 200 км/час) и для массивных колес.

Динамический дисбаланс возникает при движении и является результатом колебаний колеса относительно вертикальной оси. Расчет сил позволяет понять, насколько сильна деформация шин и колеса, в целом. Результатом является сильный аргумент, подтверждающий необходимость балансировки, как операции, устраняющей одну из возможных причин аварий на дорогах.

Расчет центробежных сил и оценка ударной силы дисбаланса.

В качестве примера можно определить ударную силу, вызывающую дисбаланс и биение колеса F_c с эксцентриситетом массы $e_m=1$ мм для колеса

автомобиля Фольксваген Поло с автомобильной шиной TigarCargoSpeed (165/70 R14 89/87R летняя). Для этой шины индекс скорости R (до 170 км/ч), а индекс нагрузки 89 (580 кг на одно колесо). Масса диска составляет 6,5 кг (литой), масса шины 9,3 кг. Внешний диаметр равен 586,6 мм [2]. Соответственно, масса колеса с шиной в сборе равна 15,8 кг, а длина окружности колеса $L=1,84$ м. Частоту вращения и, соответственно, угловую скорость рассчитываем по формулам

$$v = v/L; \quad \omega = 2\pi v$$

Оценим величину неуравновешенной массы для статического дисбаланса с эксцентриситетом $e=1$ мм. Для этого сначала запишем формулу для массы колеса m в виде:

$$m = \rho h \pi \frac{D^2}{4},$$

где ρ - плотность, h – ширина шины, D – диаметр колеса.

Коэффициент $4\rho\pi h$, умноженный на прямоугольник площадью eD равен массе, возникшей из-за отклонения возникшей оси вращения от оси, проходящей через центр масс, но параллельной ей. Эта масса представляет собой неуравновешенную массу. Расчет с использованием параметров выбранной шины дает значение 0,027 кг (0,17 % от массы колеса с шиной).

Расчет частоты вращения, угловой скорости и центробежной силы для разных скоростей, связанных с возникшей неуравновешенной массой из-за эксцентриситета в 1 мм, приведены в Таблице 1 и на рис.2.

Таблица 1.

Параметры вращательного движения колеса

Скорость, км/час	60	90	120	170
Частота, об/с	4,5	6,8	9,0	12,8
Частота, об/мин	270	410	540	770
Угловая скорость, рад/с	28,3	42,7	56,5	80,4
Центробежная сила, Н (статический дисбаланс) (с учетом неуравновешенной массы 0,027 кг)	6,35	14,5	25,4	51,3
Центробежная сила, Н (динамический дисбаланс) (с учетом двух корректирующих масс 0,02 кг)	6,34	14,4	25,3	51,2

В случае динамической неуравновешенности ось вращения находится под углом к основной оси, не проходит через центр масс колеса, и эти оси пересекаются. Для достижения динамического равновесия необходимо совместить главную ось инерции с осью вращения. В таблице 1 представлены значения центробежной силы, возникающей при использовании корректирующей массы 0,2 кг.

Из данных таблицы видно, что ударная сила растет с увеличением скорости, но даже при максимально возможной для данной шины скорости она далека от величины нагрузочного предела. Статическая неуравновешенность дает представление об ударной силе (кривая 1 на рис. 2), которую можно интерпретировать как удары по колесу. Иначе говоря, колесо «подпрыгивает», когда избыточная масса попадает в соприкосновение с дорогой, и «проваливается» в ямку, когда на это место приходит противоположная часть колеса. Это соответствует изменению формы шины в вертикальной плоскости, перпендикулярной к оси вращения. Можно вообразить, что имеется некая масса $\sim 0,63$ кг, которой как будто бьют по шине 270 раз в минуту на скорости 60 км/час, а при скорости 170 км/час по шине бьет масса $\sim 5,13$ кг 770 раз в минуту.

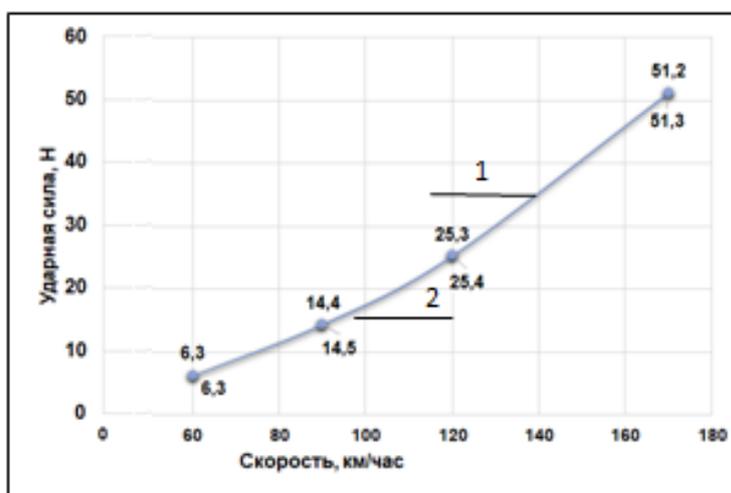


Рис.2. Зависимость ударной силы динамического (1) и статического (2) дисбаланса от скорости автомобиля с несбалансированной неуравновешенной массой.

Динамический дисбаланс, создает ситуацию, в которой колесо как бы «переваливается с боку на бок» за счет перекрещивания осей инерции и вращения. Траектория любой точки на ободке уже не будет представлять идеальную спираль, станет более сложной кривой, так как колесо испытывает в данном случае колебания относительно вертикальной плоскости. Соответственно возникает воображаемая ситуация, когда колесо получает удары сбоку. Для динамической неуравновешенности ударная сила практически равна (в пределах погрешности) ударной силе статической неуравновешенности (кривая 2 на рис. 2). То есть на скорости 60 км/час по колесу будет бить теперь сбоку такая же масса 0,63 кг, а на 170 км эта масса равна 5,12 кг.

Виды балансировки

Для устранения дисбаланса колеса необходимо выполнить балансировку колеса, то есть определить величину необходимой калибровочной массы и место для ее добавления. Различают два вида балансировки: статическую и динамическую. Каждый вид балансировки и балансировочного оборудования определены ГОСТами [3, 4, 5, 6].

Основная задача статической балансировки состоит в том, чтобы совместить центр масс и геометрический центр колеса с использованием балансировочного станка. Дисбаланс устраняется путем подбора корректирующей массы. Корректирующую массу располагают в плоскости перпендикулярной оси вращения. Расположение этой массы должно приводить к появлению симметрии в распределении масс, причем возможно оставить некоторый приемлемый дисбаланс, который называют остаточным. Погрешности стандартно вызываются работой балансировочного станка (систематические погрешности), а также различными случайными факторами, например, плохим зажимом объекта в станке или температурным фоном (случайные погрешности) [6].

Динамическая балансировка позволяет устранить и статический, и моментный, и динамический дисбаланс, что показано нашими расчетами (табл.1). В зависимости от ширины шины величина биения колеса при динамическом дисбалансе будет разной: чем шире колесо, тем больше. Каждый край шины образует плоскость со своим центром масс. При корректировке динамического дисбаланса эти плоскости становятся плоскостями коррекции, куда помещают корректирующие массы. Роль корректирующей массы играют маленькие специальные свинцовые или цинковые грузики. Эти грузики надо поставить на обод колеса в тех местах, которые будут определены при первичном вращении на балансировочном станке. При динамической балансировке (колесо в сборе) используют грузики массой от 10 до 60 г. [7].

Совсем удалить дисбаланс и возможность биений невозможно. Остаточный дисбаланс рассчитывают, как произведение массы колеса на эксцентриситет. Остаточный дисбаланс в результате примененной балансировки должен оставаться в допустимых пределах. Качество балансировки оценивают по результатам измерений остаточного дисбаланса [8].

Для колес, колесных дисков и колесных пар допустимый остаточный удельный дисбаланс (дисбаланс, деленный на массу колеса) составляет: 60 км/ час – почти 1500 г мм/кг (1,5 мм), 90 км/час – 700 г мм/кг (0,7 мм), 120 км/час – 500 г мм/кг (0,5 мм), 170 км/час – 250 г мм/кг (0,25 мм).

В настоящее время существует много различных компаний, выпускающих балансировочное оборудование и предлагающих свои разработки для улучшения качества балансировки.

Одной из известных и успешных компаний, занимающихся балансировкой, как разработчика и новых методов, и различного балансировочного оборудования является компания Haweka [9]. Среди ее разработок особенно выделяются «задняя центровка конусом» и «быстрый зажимной фланец UniSimplex». Метод конуса позволяет четко центрировать колесо относительно оси вращения во время динамической

балансировки. В настоящее время этот метод применяется практически на всех балансировочных стендах. Метод универсального фланца включает в себя применение нескольких штырей, благодаря которым центровка колеса относительно вращения при динамической балансировке становится более точной. Расположение штырей этого фланца совпадает с крепежными отверстиями колеса, что и обеспечивает имитацию вращения колеса во время движения автомобиля. Соединение этих методов позволяет произвести балансировку колес для дальнейшего максимального комфорта движения автомобиля даже с максимальными скоростями.

После статической и динамической балансировок для обеспечения максимально возможного качества корректировки баланса колес можно выполнить финишную балансировку. Для проведения этого вида балансировки требуется наличие мультимедийного комплекса. Масса корректировочных грузиков и их точное расположение на колесе рассчитывается с помощью соответствующей программы [10].

Заключение

Балансировка для вращающихся деталей является важной технологической операцией для любого автомобиля - и легкового, и грузового, и всех других видов колесного транспорта. При эксплуатации автомобиля дисбаланс колес в сборе с шинами целесообразно проверять через каждые 2-3 тыс. км, а через каждые 10 тысяч колеса с шинами необходимо балансировать заново. Важность этой процедуры подчеркивается рекомендацией ее прохождения для колес в сборе через каждые 2-3 тыс. км, а через каждые 10 тысяч колеса с шинами необходимо балансировать заново [4, 5]. Как правило, аккуратные водители делают балансировку колес при замене летних шин на зимние и обратно.

Показано, что динамическая балансировка позволяет устранить и статическую и моментную неуравновешенность.

Балансировка устраняет деформацию деталей автомобиля, в основном, колес в сборе и позволяет:

- увеличить управляемость автомобиля,
- снизить расход топлива,
- уменьшить тормозной путь
- устранить вибрации кузова,
- улучшить сцепление с дорожным полотном,
- сократить увод автомобиля в сторону.

Балансировка, в целом, снижает риски аварий при движении.

Список литературы

1. Савич, Е.Л. Организация сервисного обслуживания легковых автомобилей: Учебное пособие. Серия «Бакалавриат» / Е.Л. Савич, М.М. Болбас, А.С. Сай. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 160 с.
2. Энциклопедия колес – Справочники и каталоги по шинам и дискам. – URL: <https://wheelspedia.ru>. (Дата обращения 18.03.2020)
3. ГОСТ 19534-74. Балансировка вращающихся тел. Термины. – Введ. 1975-01-01. – Москва: Гос. комитет стандартов Совмин. СССР; М. : Изд-во стандартов, 1974. –49 с.
4. ГОСТ 20076-89. Станки балансировочные. Нормы точности. – Введ. 1990-01-01. – Москва: Гос. комитет стандартов Совмин. СССР; М. : Изд-во стандартов, 1989. –11 с.
5. ГОСТ ИСО 1940-1-2007. Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 1. Определение допустимого дисбаланса. Взамен: ГОСТ 22061-76; – введ.2008-06-30. Посл. изм. 2018-09-12. –Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.:ФГУП «Стандартинформ»2008. – 34 с.
6. ГОСТ ИСО 1940-2-99. Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 2. Учёт погрешностей оценки остаточного дисбаланса. –введ. 2001-01-01. –Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 18 с.
7. Власов, В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. / В.М. Власов, С.Н. Жанказиев. В.М. Круглов; под ред. В.М. Власова – 13-е изд. стер. – М.: Издательский центр Академия, 2017. – 432 с.
8. О дисбалансе и биениях колеса. URL: <https://www.topof.ru/help/o-disbalance-i-bieniyah-kolesa>(Дата обращения 18.03.2020)
9. ГОСТ 4754- 97. Шины пневматические для легковых автомобилей, прицепов к ним, легких грузовых автомобилей и автобусов особо малой вместимости (Технические условия)

10. Хавека. Балансировка колес. URL: <https://www.haweка.ru> (Дата обращения 18.03.2020)
11. Тюнинг. Балансировка колес. Онлайн-журнал про автомобили. URL: <https://7gear.ru/tuning/balansirovka-koles>(Дата обращения 18.03.2020).

References

1. Savich E.L., Bolbas M.M., Say A.S. *Organizatsiya servisnogo obsluzhivaniya legkovykh avtomobiley* (Organization of passenger car service), Moscow, INFRA-M, 2018, 160 p.
2. URL: <https://wheelspedia.ru>
3. Balansirovka vrachshayuchshihya tel. Terminy. GOST 19534-74. (Balancing rotating bodies. Terms, State Standart 19534-74), Moscow, Standarty, 1974, 49 p.
4. Stanki balansirovochnye. Normy tochnosti, GOST 20076-89. (Balancing machines. Accuracy standards. GOST 20076-89), Moscow, Standarty, 1989, 11 p.
5. Vibratsiya. Trebovaniya k kachestvu balansirovki zhestkih rotorov. Chast 1. Opredeleniye dopustimogo balansa. GOST ISO 1940-1-2007. V zamem GOST 22061-76 (Vibration. Requirements to quality of rigid rotors balancing. Part 1. Determination of allowable imbalance. GOST ISO 1940-1-2007. In exchange: GOST 22061-76), Minsk, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; Moscow, Standartinform, 2008, 34 p.
6. Vibratsiya. Trebovaniya k kachestvu balansirovki zhestkih rotorov. Chast 2. Uchet pogreshnostey ostatochnogo disbalansa. GOST ISO 1940-2-99. (Part 2. Accounting for residual imbalance estimation errors. GOST ISO 1940-2-99) Minsk, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; Moscow, Standarty, 2000, 18 p.
7. Vlasov V.M., Zhankaziev S.N., Kruglov V.M. *Tekhnicheskoye obsluzhivaniye i remont avtomobiley* (Car maintenance and repair), Moscow, Izdatel'skiy tsentr Akademiya, 2017, 432 p.
8. URL: <https://www.topof.ru/help/o-disbalance-i-bieniyah-kolesa>
9. Shiny pnevmaticheskiye dlya legkovykh avtomobiley, pritsepov k nim, legkikh gruzovykh avtomobiley i avtobusov osobo maloy vmestimosti (Tekhnicheskkiye usloviya) GOST 4754-97 (Pneumatic tires for cars, trailers for them, light trucks and buses of extra small capacity (Technical conditions) GOST 4754-97)
10. URL: <https://www.haweка.ru>
11. URL: <https://7gear.ru/tuning/balansirovka-koles>

Рецензент: А.Ф. Смык, д-р физ.-мат.наук, проф. МАДИ