

Влияние давления газа в шинах на эксплуатацию ТС.

Причины изменения давления газа в шинах

Смирнов А.О., Колбасов А.Ф., Монахов В.П.

Университет машиностроения,

(495) 223-05-23, доб. 1204, avt@mami.ru

Аннотация. В статье рассматриваются факторы, влияющие на процесс изменения давления газа в шинах автомобиля, и последствия несоблюдения нормированного давления в шинах автомобиля.

Ключевые слова: автомобиль, давление, датчик, температура окружающей среды, атмосферное давление окружающей среды, транспортное средство (ТС), система контроля, шина.

Шины, на сегодняшний день, были и остаются самым активным элементом безопасности автомобиля. Все рулевые реакции между дорогой и транспортным средством проходят через шины. За последние 15 лет не только конструкторские решения самой шины, но так же, технологические процессы изготовления самих шин шагнули далеко вперед. Но тем не менее давление газа в шине было и остается самым нестабильным параметром в правильной эксплуатации шины.

Шины легковых автомобилей являются наиболее нагруженным и дорогостоящим элементом автомобиля. В процессе эксплуатации они испытывают статические и динамические нагрузки, которые вызывают соответствующие деформации. При статических нагрузках деформация шины зависит от внешней нагрузки и внутреннего давления газа в ней. В результате статической деформации происходит уменьшение профиля шины, увеличение ширины профиля и площади контакта с дорогой, уменьшается ее радиус. Радиальная динамическая нагрузка вызывает деформацию шины, перемещающуюся по окружности при качении колеса. Каждый элемент профиля шины за один оборот колеса претерпевает цикл нагружения и разгружения (циклические деформации). Установлено, что для шины ведущего колеса деформация в окружном направлении распространяется приблизительно на 120 градусов по центральному углу, в передней части шины будет наблюдаться сжатие, а при выходе из контакта – растяжение. В автомобиле ВАЗ 2112 при скорости передвижения 80 км/час участки шины испытывают 12 деформаций в секунду. Каждая шина при нормальной эксплуатации выдерживает до 25...35 млн. циклических деформаций. По данным многочисленных исследований динамические нагрузки превышают статические в 2...3 раза, а при наезде на препятствия – в 6...8 раз. Установлено, что затраты на шины в процессе эксплуатации автомобиля составляют от 18 % до 25 % всех эксплуатационных расходов. Автомобили эксплуатируются во всех климатических зонах земного шара в тяжелых условиях: снег, дождь, грязь и т.д.

Правильное давление газа в шинах автомобиля было и остается главным показателем правильной и безопасной эксплуатации автомобильных шин. В процессе эксплуатации дорожного транспортного средства на давление газа в шинах влияет целый ряд различных факторов таких как температура и атмосферное давление окружающей среды, режим движения автомобиля, а так же его загрузка. Немалую роль на изменение давления воздуха в шинах играет манера вождения автомобиля самим водителем – интенсивный разгон с буксованием колес автомобиля или резкое торможение, торможение юзом. По данным ГИБДД РФ за период с 2013 по 2014 гг. причиной ДТП с участием грузового транспорта и междугородних автобусов дальнего следования, является нарушение правил эксплуатации, как самой автомобильной шины (сильный износ рисунка протектора шины, несоблюдения направленности рисунка протектора шина с направлением вращения колеса транспортного средства, разноразмерность типоразмеров шин, а так же различие сезонности автомобильных шин установленных на одно транспортное средство), так и не соблюдение и не поддержание нормированного давления воздуха в самих шинах автомобиля, в зависимости от условий эксплуатации транспортного средства (темп движения, максимальная скорость движения, загрузка

транспортного средства с правильным распределением нагрузки по осям автомобиля). Ненормированное давление в шинах автомобиля (как избыточное, так и недостаточное) не только пагубно сказывается на устойчивости и управляемости автомобиля, но так же может привести к разрушению самой шины, что в процессе движения, особенно при движении с высокими скоростями, может быть причиной серьезного ДТП. Несоблюдение нормированного давления в шинах приводит к преждевременному износу шин, увеличивает выброс в окружающую среду крайне вредной резиновой пыли. Недостаточное давление в шинах транспортного средства при его значительной загрузке приводит к перерасходу топлива, что сказывается главным образом на экологию. Ранее уже было установлено, что изменение давления на каждые $15,3 \times 10^{-3}$ МПа ($0,15 \text{ кгс/см}^2$) в диапазоне давлений воздуха $17,3 \times 10^{-3} \dots 22,4 \times 10^{-3}$ МПа ($1,7 \dots 2,2 \text{ кгс/см}^2$) так же приводит к соответственному изменению сопротивления качению, примерно, на 5%.

Исследования различных компаний – мировых производителей шин таких, как Michelin, Pirelli, Goodyear показали, что в Европе большинство водителей не придают особого значения за контролем давления в шинах, мало того, правильное, нормированное давление в шинах, соответствующее определенному транспортному средству было обнаружено только у $\frac{3}{4}$ части всех проверенных в данном исследовании автомобилей. Так же было установлено, что водители грузовой техники, в особенности водители дальнего следования («дальнобойщики»), к контролю давления в шинах автомобиля и поддержанию его в необходимом диапазоне требуемых значений относятся более серьезно, нежели водители легковых автомобилей. Владельцы легковых автомобилей относятся к проблеме соблюдению нормированного давления в шинах автомобиля более чем халатно.

Проведенные исследования в России были такими же неутешительными, как и у зарубежных коллег. Большинство водителей легковых автомобилей, не проводят периодический контроль давления в шинах своего автомобиля, хоть это можно выполнить самостоятельно, особенно это касается водителей женского пола. В подавляющем большинстве случаев, контроль за давлением воздуха в шинах, а так же доведение его до «сомнительной» нормы, происходит два раза в год на шиномонтажном посту при замене летних шин на зимние или наоборот. Водители же транспортных средств специального назначения и грузовой техники наоборот – уделяют не малое значение контролю и поддержанию нормированного давления в шинах автомобиля. Несоблюдение нормированного давления в шинах не только грузовых автомобилей и автомобилях специального назначения, может привести к тяжелым последствиям, таким как, выход транспортного средства из строя из за внезапного разрушения самой шины или может быть причиной серьезного ДТП, с последующим выводом автомобиля из эксплуатации. Нормированное давление в шинах автомобиля не только позволяет безопасно эксплуатировать транспортное средство, но так же позволяет снизить экономические затраты, связанные с преждевременным износом шин. На сегодняшний день шины остаются самым дорогостоящим расходным элементом при эксплуатации ТС.

Гиганты мирового автомобилестроения уже как 10 лет назад задумались над проблемой контроля давления воздуха в шинах легковых автомобилей. Многоцелевые и армейские автомобили уже давно оснащены системой контроля и управления за давлением воздуха. Данные системы стали обязательным требованием к автомобилям данных категорий сразу после окончания Второй Мировой войны. В данном случае возможность управляемого изменения давления в шинах обусловлена соображениями достижения наилучшей проходимости транспортного средства в условиях бездорожья и сохранения боеспособности (работоспособности) машины. Данная система позволяет задавать необходимое давление в шинах в зависимости от загрузки транспортного средства и типа дорожного покрытия. Задание необходимого давления осуществляется водителем вручную и требует постоянного контроля и регулирования в зависимости от изменяющихся внешних факторов. Для легковых же автомобилей, требование о возможности контроля давления газа в шинах стало обязательным с 2009 г. По действующему во многих странах законодательству повсеместное использование системы измерения давления в шинах совместно с маркировкой шин и системой ESP входит в про-

грамму мер, принятых в 2009 году Европейской Комиссией с целью повышения безопасности автомобилей, и вступило в силу в 2012 году. Наличие TPMS стало обязательным для всех новых моделей автомобилей категории M1 - транспортных средств, используемых для перевозки пассажиров и имеющих, помимо места водителя, не более восьми мест для сидения. С 1 ноября 2012 года все новые модели автомобилей должны быть оснащены системой контроля давления в шинах. С ноября 2014 года данное обязательство распространяется на все виды автомобилей.

Для автомобилей потребительского класса предлагаются различные системы контроля за давлением воздуха в шинах как дополнительная внешняя опция, использующая технологию Bluetooth. На данное время такие системы предлагают не только именитые производители шин, такие как Nokian Tyres и Pirelli, но и различные китайские производители начинают всё больше и больше завоевывать рынок. Стоимость большинства таких данных систем, включающих в себя датчики давления газа, устанавливаемые на каждом колесе автомобиля, и информационного табло, размещаемое в салоне автомобиля в зоне видимости водителя, не превышает 200\$ за комплект. Но исследования показывают, что 98% процентов автовладельцев легковых автомобилей пренебрегает данной системой контроля, считая её посредственной и ненужной. Но при этом большинство водителей легковых автомобилей не способны определить резкое падение давления газа в шине при её повреждении, и продолжают движение уже на «спущенной» шине, что приводит к невозможности восстановления поврежденного колеса и самой шины. Поведение автомобиля, движущегося с высокой скоростью, в такой дорожной ситуации непредсказуемо, особенно в зимний период времени, и может привести к серьезным ДТП.

На автомобилях же представительского класса наибольшее распространение получили две технологии контроля за давлением газа в шинах: *TPMS непрямого типа* и *TPMS прямого типа*. Рассмотрим основной принцип действия каждой технологии по отдельности:

1. *TPMS непрямого типа*. Соединённая с программой ABS и ESP, данная система измеряет разницу угловых скоростей вращения колёс. Увеличение угловой скорости вращения колеса указывает на уменьшение диаметра колеса в сборе с шиной, и, следовательно, на потерю давления в шине. Такая система неперспективна, поскольку в целом ненадежна и не показывает точного давления газа в шинах автомобиля. Однако она простая и недорогая. Но, тем не менее, такая система способна информировать водителя о резком падении давления в шине автомобиля. Как правило водитель видит предупреждающий сигнал об опасности на дисплее или на приборном щитке автомобиля.
2. *TPMS прямого типа*. В данном случае используется электронный датчик, расположенный в клапане (ниппеле) шины или закреплённый на ободной части колеса внутри шины, измеряющий её давление и передающий информацию по радиосигналу приёмному устройству, которое транслирует результаты на бортовой компьютер автомобиля. Преимущества такого типа TPMS - высокая точность и мгновенные результаты измерений.

Так же к преимуществу данной системы можно отнести возможность мониторинга каждой шины автомобиля по отдельности. Водитель получает всю необходимую информацию о состоянии шин на дисплей, а так же получает предупреждающий сигнал об угрозе при резком падении давления в шинах автомобиля. Недостатком же этой системы является не только её цена, но так же невозможность работоспособности всей системы при замене колесного диска. Для переноса данного датчика необходимо провести разборку-сборку всего колеса и перенести датчик на новый диск. Так же данные датчики зачастую страдают при проведении шиномонтажных работ.

В климатическом отношении Россия находится в пределах арктического, субарктического, умеренного и субтропического природно-климатических поясов.

Давление в шинах транспортного средства под действием различных причин постоянно изменяется. Изменения в давлении воздуха в шине, по сравнению с исходным, происходит под воздействием множества различных факторов. Среди множества факторов, выделим в первую очередь температуру и давление воздуха окружающей среды. В климатическом от-

ношении Россия находится в пределах арктического, субарктического, умеренного и субтропического природно-климатических поясов. Поэтому среднесуточная температура воздуха в некоторых регионах может изменяться в пределах $\pm 25^\circ\text{C}$. Подобные среднесуточные перепады температуры характерны для южных и горных регионов. На рисунке 1 показан график изменения среднесуточной за 10 июля 2014г. в разных регионах России.

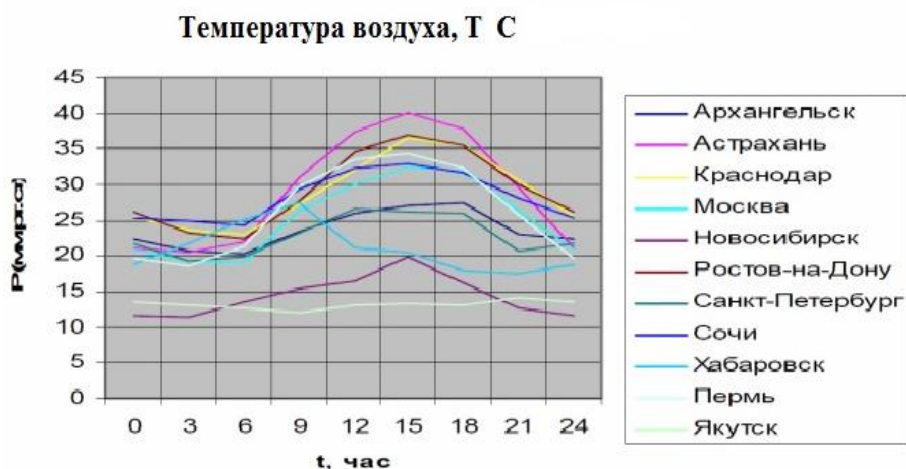


Рисунок 1. Изменения температуры окружающей среды в течение суток за 10.07.2014 г.

Выставить заранее нормированное давление в шинах автомобиля невозможно, т.к. нахождение автомобиля длительное время под солнцем может привести к значительному увеличению давления в шинах автомобиля за счёт очевидного нагрева поверхности шин с отличной теплопоглощающей способностью. Прямое попадание солнца на шины одного борта автомобиля во время его стоянки приводит к ощутимой разности давлений в шинах по бортам автомобиля, что сказывается на его устойчивости и управляемости.

Изменение давления газа в шинах автомобиля только под действием температуры воздуха за определенно рассматриваемый момент времени можно записать в виде формулы (1):

$$p = p_0 \pm \Delta p_{\text{тв}}, \quad (1)$$

где: p — давление в шине в рассматриваемый период времени; p_0 — давление в шине в начальный момент времени; $\Delta p_{\text{тв}}$ — изменение давления в шине при изменении температуры воздуха окружающей среды.

Вторым значимым фактором изменения давления газа в шинах автомобиля является изменение атмосферного давления воздуха окружающей среды. Как и температура воздуха, значение атмосферного давления так же может колебаться в значительных пределах, что сказывается на изменении давления в шинах автомобиля как в большую, так и в меньшую сторону от номинального значения.

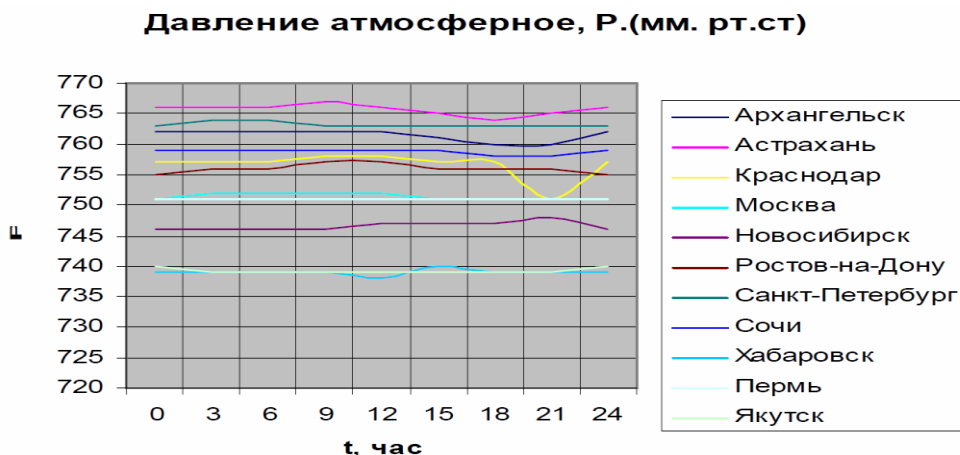


Рисунок 2. Изменения атмосферного давления окружающей среды в течение суток за 10.07.2014 г.

Изменение атмосферного давления в течение суток за 10 июля 2014г. в разных регионах России представлено на рисунке 2.

Изменение давления газа в шинах автомобиля только под действием атмосферного давления воздуха окружающей среды за определенно рассматриваемый момент времени можно записать в виде формулы (2):

$$p = p_0 \pm \Delta p_{\text{вф}}, \quad (2)$$

где: p – давление в шине в рассматриваемый период времени; p_0 – давление в шине в начальный момент времени; $\Delta p_{\text{вф}}$ – изменение атмосферного давления за рассматриваемый период времени.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что только под действием таких природных факторов, как температура воздуха и атмосферное давление окружающей среды, изменение давления газа в шинах автомобиля происходит по следующему закону (3):

$$p = p_0 \pm \Delta p_{\text{вф}} \pm \Delta p_{\text{тв}}. \quad (3)$$

Так же не следует забывать и о диффузии газа, заполняющего внутренний объём шины автомобиля. Диффузия проходит как через саму автомобильную шину, так и через места прилегания шины к ободу колеса, а так же через вентиль. Но благодаря новым технологиям и материалам применяемым при изготовлении автомобильных шин потери вызванные диффузией газа крайне малы, поэтому ими можно пренебречь.

Следующим важнейшим фактором, действующим на изменение давления газа в шинах, является нагрев шины. Нагрев шины происходит вследствие её контакта с дорожным полотном за счёт трения, что особенно характерно при движении с относительно высокими скоростями и нагрузкой. Экспериментально было установлено (исследования по замеру давления в шинах автомобиля проводились на автомобиле Porsche Macan), что при длительном движении на автомобиле с высокой скоростью в летний период времени (температура окружающей среды $+20^\circ\text{C}$), давление в шинах увеличивается в среднем на $30,6 \times 10^{-3}$ МПа ($0,3 \text{ кгс/см}^2$). А при движении в зимний период времени (температура окружающей среды -15°C) давление остается практически постоянным. Данное явление связано с относительно хорошим отводом тепла от шины холодным встречным потоком воздуха, а так же значительным теплоотводом при взаимодействии шины с промёрзшим дорожным полотном.

Изменение давления воздуха в шинах автомобиля только под действием нагрева шины за определенный рассматриваемый момент времени можно записать в виде формулы (4):

$$p_{\text{д}} = p_0 + \Delta p_{\text{з}}, \quad (4)$$

где: $\Delta p_{\text{з}}$ – влияние факторов увеличения температуры шины при движении на изменение давления в шинах автомобиля.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что закон полного изменения давления газа в шинах автомобиля можно представить в виде формулы (5):

$$p = p_0 \pm \Delta p_{\text{вф}} \pm \Delta p_{\text{тв}} + \Delta p_{\text{з}}. \quad (5)$$

Ранее было установлено, что с увеличением нагрузки коэффициент сопротивления качению возрастает, т. к. изменяется пятно качения. При изменении нагрузки существует почти линейная зависимость между силой сопротивления качению и нагрузкой на колесо.

Известно, что давление воздуха в шинах непосредственно влияет на параметры управляемости и устойчивости автомобиля, зависит от максимальной нагрузки на колесо и определяет его пятно контакта с дорогой, что сказывается на коэффициенте сопротивления качению. При изменении нагрузки существует почти линейная зависимость между силой сопротивления качению и нагрузкой на колесо. Однако влияние этого фактора можно компенсировать повышением давления воздуха в шинах до некоторого допустимого и заявленного автопроизводителем значения. Но задаваемые автопроизводителями значения давления воздуха в шинах, как правило, соответствуют только минимальной и максимальной загрузке автомобиля без учета распределения нагрузки по осям и, при условии, что движение будет происходить по горизонтальной асфальтированной дороге. На самом же деле существует множество значений m_n входящих в предел $m_{\text{min}} \leq m_n \leq m_{\text{max}}$, которым заданные автопроизводителем

давления p_{\min} и p_{\max} соответствующие значениям m_{\min} и m_{\max} не будут удовлетворять.

Здесь m_{\min} – минимальная нагрузка; p_{\min} – минимальное давление соответствующее m_{\min} ; m_{\max} – максимальная нагрузка; p_{\max} – максимальное давление соответствующее m_{\max} ; m_n – нагрузка входящая в предел $m_{\min} \leq m_n \leq m_{\max}$; p_n – давление соответствующее m_n .

Регулировать давление в шинах за короткий период времени вручную так же является не возможным, т.к. значение нагрузки m может изменяться непредсказуемо – скачкообразно, например, посадка – высадка пассажиров.

Как было сказано выше, изменения коэффициента сопротивления качению и площади пятна контакта при изменении загрузки автомобиля можно считать линейными. Автопроизводитель задает оптимальное минимальное и максимальное значения давления воздуха в шинах конкретного автомобиля, которые соответствуют минимальной и максимальной нагрузкам. График изменения давления воздуха в шине в зависимости от нагрузки можно представить следующим образом (рисунок 3).

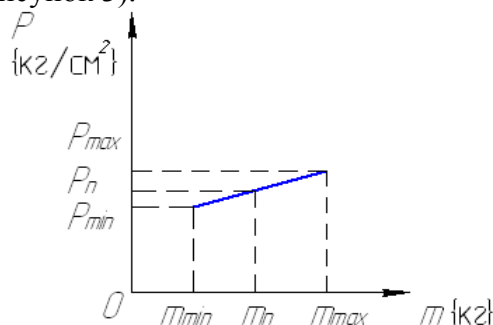


Рисунок 3. Изменение давления в зависимости от нагрузки

Вторым фактором, влияющим на изменение пятна контакта, является скорость движения автомобиля. С увеличением скорости движения автомобиля линейно возрастает угловая скорость вращения колес. С ростом угловой скорости колеса увеличивается центробежная сила действующая на шину. Под действием центробежной силы изменяется пятно контакта шины с опорной поверхностью. Было установлено, что процесс увеличения центробежной силы для различных типоразмеров шин легковых автомобилей практически идентичен. Процесс изменения центробежной силы для различных типоразмеров шин показан на рисунке 4.

На основании рисунка 4 можно смело утверждать, что увеличение центробежной силы имеет квадратичную зависимость и может быть представлено в виде следующей формулы:

$$F_n = 0,47 \cdot V^2 + 0,67 \cdot V + 0,27, \quad (6)$$

где: F_n – центробежная сила действующая на шину в пятне контакта шины с опорной поверхностью; V – скорость движения автомобиля.

Так же из графика (рисунок 4) наблюдаем, что до скорости движения автомобиля 40 км/ч центробежная сила практически не изменяется и остается постоянной. Далее наблюдается заметное ее увеличение по параболе. Под действием центробежной силы нарушается пятно контакта шины автомобиля с опорной поверхностью. Можно утверждать, что изменение пятна контакта шины описывается такой же зависимостью, что и изменение центробежной силы.

Для сохранения оптимального пятна контакта при движении автомобиля с высокими скоростями автопроизводитель рекомендует повышать давление в шинах от номинального значения на 10...15%. Но в реальной жизни движение автомобиля с заранее запланированной постоянной скоростью практически не возможно. Зачастую происходит не равномерное, или смешанное движение с изменением скорости от начала движения до максимальной скорости и от максимальной скорости до полной остановки автомобиля. В городской зоне происходит умеренное движение с частыми остановками, а в не населенных пунктах скорости движения автомобилей, как правило, значительно возрастают, вплоть до максимально возможных, определяемых параметрами их силовых установок.

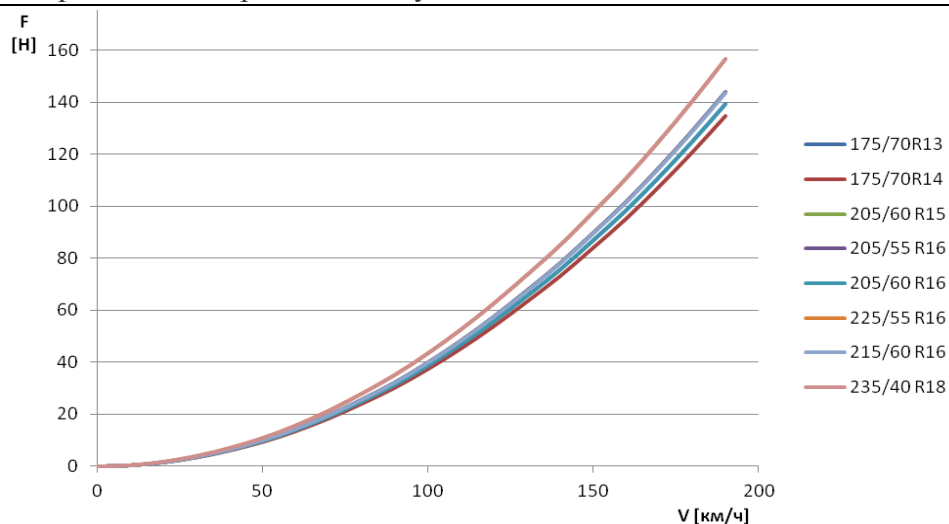


Рисунок 4. Зависимость центробежной силы, действующей на брекер и протекторный слой шины, от скорости автомобиля

Предварительное принудительное повышение давления в шинах, т.е. перед началом движения, не всегда оправданно и небезопасно. Автомобиль на заведомо «перекаченных» и «непрогретых» шинах с момента начала движения до достижения оптимальной скорости может повести себя не предсказуемо. Заранее заданное заведомо избыточное давление воздуха в шинах может спровоцировать заметное ухудшение устойчивости, управляемости, комфортабельности, увеличение тормозного пути, а, следовательно, и снижение безопасности автомобиля в целом.

Выводы

Проследить за множеством факторов, оказывающих влияние на давление газа в шине автомобиля весьма затруднительно. Заранее выставить оптимальное давление в шинах автомобиля как показывает практика тоже невозможно. Единственным решением данной проблемы является создание отдельной системы контроля за давлением воздуха в каждой шине автомобиля, а так же, создание автоматической системы управления этим давлением - доведение до необходимого давления газа в каждой шине и его поддержание в зависимости от загрузки и скорости движения ТС, и информирования водителя о резком падении давления в случае, допустим, повреждения шины. Такая система позволит повысить безопасность и экологичность автомобиля в целом, положительно повлияет на его устойчивость, управляемость и топливо - экономические показатели.

Литература

1. Смирнов А.О., Тимаев Д.М. О необходимости управления давления воздуха в шинах легкового автомобиля // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. Т.1.
2. Смирнов А.О., Тимаев Д.М. О необходимости управления давления воздуха в шинах легкового автомобиля // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. Т.1.
3. Ткаченко В.П., Колбасов А.Ф. Изменение давления в шинах легковых автомобилей при изменении температуры // Современные наукоемкие технологии (технические науки). – 2010. №6.
4. Колбасов А.Ф. Давление газов в автомобильных шинах и климатические факторы // Вестник СГУТиКД. – 2012. №1(19).
5. Колбасов А.Ф. Способы контроля давления воздуха в автомобильной шине // Известия Сочинского государственного университета. – 2012. №4(22).
6. Красавин П.А., Колбасов А.Ф. Влияние состава и состояния атмосферного воздуха на давление в шинах // Фундаментальные исследования. – 2013. № 4-1.
7. Красавин П.А., Смирнов А.О., Фисичев Г.О., Касимов Н.О. Факторы, влияющие на изменение давления в шинах автомобиля и современные системы его контроля // Журнал автомобильных инженеров. – 2015. № 3 (92).