

УДК 629.3.027.2

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ АВТОМОБИЛЯ, И СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЕГО КОНТРОЛЯ

П. А. Красавин, к. т. н., доц. / Г. В. Фисичев, к. т. н. / А. О. Смирнов / Н. О. Касимов
Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

ВВЕДЕНИЕ

Шины являются, пожалуй, основной конструктивной составляющей активной безопасности автомобиля, так как через них реализуются все возможные в движении управляющие воздействия. В процессе эксплуатации транспортного средства давление газа в шинах постоянно изменяется под действием различных факторов, а именно температуры и влажности окружающей среды, атмосферного давления, изменения температуры самой шины, скорости транспортного средства, режима движения, загрузки, манеры вождения водителя. Нормированная величина давления в шинах является и остаётся одним из самых важных параметров безопасной и правильной эксплуатации автомобильных шин. По данным ГИБДД РФ за период с 2013 по 2014 год, одной из распространённых причин ДТП с участием грузового транспорта и междугородних автобусов является как нарушение правил эксплуатации самой автомобильной шины (износ протектора шины, несоблюдение направленности рисунка протектора шины с направлением вращения колеса транспортного средства, разноразмерность установленных на ТС шин, различие видов сезонности шин на одном ТС и т. п.), так и несоблюдение нормированного давления газа в самих шинах в зависимости от условий эксплуатации транспортного средства (темпа движения, максимальной скорости ТС, загрузки ТС с правильным распределением нагрузки по его осям).

Ненормированное давление в шинах автомобиля (как недостаточное, так и избыточное) пагубно сказывается на устойчивости и управляемости автомобиля и даже может стать причиной внезапного разрушения самой шины. Неодинаковое давление в шинах является главной причиной непредсказуемой реакции автомобиля на управляющее воздействие, что часто приводит к ДТП. Несоблюдение нормированного давления в шинах по осям автомобиля при различной загрузке транспортного средства вызывает преждевременный износ шины, заметно увеличивающий выброс в окружающую

среду крайне вредной резиновой пыли. Недостаточное давление газа в шинах однозначно увеличивает сопротивление качению колеса и, следовательно, повышает расход топлива, что негативно отражается не только на экологии окружающей среды, но и на эксплуатационно-экономических показателях автомобиля в целом. Установлено, что изменение давления на каждые $15,3 \cdot 10^{-3}$ МПа ($0,15$ кгс/см²) в диапазоне давлений воздуха $17,3 \cdot 10^{-3} \dots 22,4 \cdot 10^{-3}$ МПа ($1,7 \dots 2,2$ кгс/см²) приводит к соответственному изменению сопротивления качению примерно на 5 %.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Давление в шинах транспортного средства под действием различных факторов изменяется непрерывно. Первоочередное воздействие оказывают температура и давление воздуха окружающей среды, затем подъём на новый гипсометрический уровень, а также условия эксплуатации транспортного средства. Так, например, рост температуры и давления газа в шине при тяжёлых условиях эксплуатации вызван трением шин о дорожное полотно (загрузка транспортного средства). Падение давления за счёт снижения объёма газа в шине может быть вызвано в результате проколов и порезов самой шины или повреждений обода колеса. За счёт только этих факторов изменение давления газа в шине в течение относительно короткого времени может достигать $20,4 \cdot 10^{-3} \dots 40,8 \cdot 10^{-3}$ МПа ($0,2 \dots 0,4$ кгс/см²) и более, и заблаговременно выставленное нормированное давление газа во всех шинах автомобиля может существенно изменяться под действием только вышеприведённых факторов.

Рассмотрим алгоритмы и причины изменения давления газа в шинах наземного транспортного средства на примере автомобиля в статических и динамических условиях.

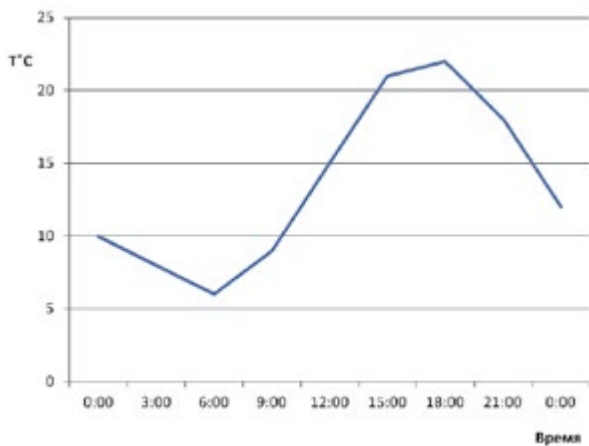


Рисунок 1. График изменения температуры окружающей среды в течение суток 9 сентября 2014 года в Якутске

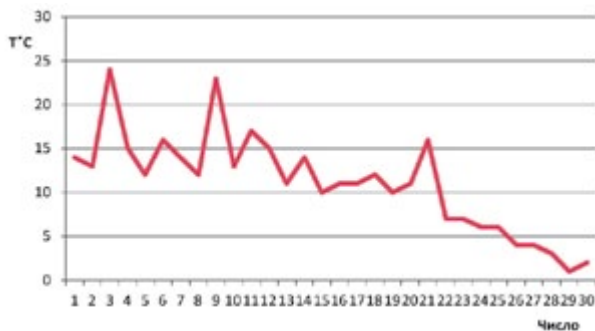


Рисунок 2. График изменения среднесуточной температуры окружающей среды в сентябре 2014 года в Якутске

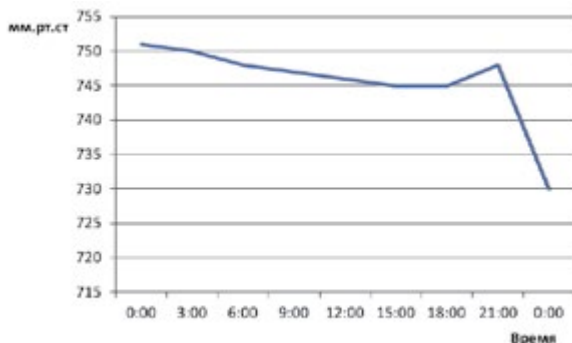


Рисунок 3. Изменение атмосферного давления в течение суток 9 сентября 2014 года в Якутске

ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ШИНЕ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Основной причиной изменения давления газа в шине остаётся изменение температуры окружающей среды. Среднесуточная температура окружающей среды может изменяться в пределах ± 25 °C. Подобные среднесуточные перепады температуры характерны для южных и горных регионов. Нахождение автомобиля длитель-

ное 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. Температура воздуха в течение суток 9 сентября 2014 года и среднесуточная температура за сентябрь 2014 года в городе Якутске (РФ) представлены на рис. 1 и 2.

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

$$p = p_0 \pm \Delta_{тв}, \quad (1)$$

где p — давление в шине в рассматриваемый период времени; p_0 — давление в шине в начальный момент времени; $\Delta_{тв}$ — 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.

Изменение атмосферного давления в течение суток 9 сентября 2014 года в городе Якутске (РФ) представлено на рис. 3.

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

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

где p — давление в шине в рассматриваемый период времени; p_0 — давление в шине в начальный момент времени; $\Delta p_{эф}$ — изменение атмосферного давления за рассматриваемый период времени.

Также не стоит 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 также через вентиль.

Уменьшение давления газа в шинах автомобиля только за счёт диффузии газа за определённый момент времени можно записать в виде формулы (3):

$$p = p_0 - \Delta p_{д}, \quad (3)$$

где p — давление в шине в рассматриваемый период времени; p_0 — давление в шине в начальный момент времени; $\Delta p_{д}$ — уменьшение давления газа за счёт диффузии.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что изменение давления газа в шине автомобиля под действием статических факторов, таких как изменения температуры и атмосферного давления окружающей среды и диффузия газа, проходит по следующему общему закону (4): $p_{cm} = p_0 \pm \Delta p_{эф} \pm \Delta t_a - \Delta p_d$.

ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ШИНЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Во время эксплуатации (движения) автомобиля на давление газа в шинах воздействует ряд факторов, к которым можно отнести следующие:

- перемещение автомобиля с одного гипсометрического уровня на другой, что характерно для горных регионов нашей страны, где при движении автомобиля гипсометрический уровень во время одной поездки может меняться достаточно часто. Также это характерно для карьерных самосвалов, где глубина карьера может составлять свыше 1 000 м;
- относительно высокая скорость движения автомобиля;
- максимальная нагрузка.

При перемещении автомобиля с одного гипсометрического уровня на другой давление газа в шине зависит от относительной высоты перемещения. По данным метеорологов, если на уровне моря нормальное атмосферное давление составляет 1 013,2 гПа, то на высоте 2 000 м над уровнем моря оно составляет уже 795 гПа, а на высоте 4 000 м — 616,6 гПа.

Изменение давления в атмосфере при перемещении с одного гипсометрического уровня на другой описывается уравнениями (5) и (6):

$$p_z = p_0 \frac{T_0}{T_z} e^{-\int_0^z \frac{g\mu}{R^*T} dz}; \quad (5)$$

$$\Delta p_z = p_z - p_0 = p_0 \left(\frac{T_0}{T_z} e^{-\int_0^z \frac{g\mu}{R^*T} dz} - 1 \right), \quad (6)$$

где μ — молекулярный вес газа; g — ускорение силы тяжести; T_0 — температура на начальном уровне ($T_0 = 0$ °С); T_z — температура на уровне высоты z ; R^* — универсальная газовая постоянная.

Следующим важнейшим фактором, действующим на изменение давления 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 вы-

сокой скоростью в летний период времени (температура окружающей среды +20 °С) давление в шинах увеличивается в среднем на $30,6 \cdot 10^{-3}$ МПа (0,3 кгс/см²). А при движении в зимний период времени (температура окружающей среды -15 °С) давление остаётся практически постоянным. Данное явление связано с относительно хорошим отводом тепла от шины холодным встречным потоком воздуха, а также со значительным теплоотводом при взаимодействии шины с промёрзшим дорожным полотном.

Целым рядом исследований доказано, что движение легкового автомобиля на шинах радиальной конструкции по дорожному покрытию типа «брусчатка» не приводит к пульсациям и скачкообразным изменениям давления газа в шине. Установлено, что при увеличении загрузки автомобиля изменяются пятно контакта шины с дорожным полотном и динамический радиус колеса, но при этом давление в шине остаётся постоянным. Тем самым данные установленные факты подтверждают возможность выполнения измерений и контроля давления газа в шинах в процессе движения колёсного транспортного средства с необходимой точностью при любой загрузке ТС и независимо от типа дорожного покрытия.

Изменение давления воздуха в шинах автомобиля только под действием нагрева шины за определённый рассматриваемый момент времени можно записать в виде формулы (7):

$$p_d = p_0 + \Delta p_s, \quad (7)$$

где Δp_s — влияние факторов увеличения температуры шины при движении на изменение давления в шинах автомобиля.

Из приведённых выше условий можно сделать вывод, что зависимость изменения давления газа в шинах автомобиля от статических и динамических факторов может быть представлена в виде формулы (8): $p = p_{cm} + p_d$.

В представленной формуле процессом изменения давления, связанного с диффузией газа, можно пренебречь, поскольку практика показывает, что при использовании качественных материалов и современных технологиях монтажа шины значения потерь давления от диффузии в шинах автомобиля крайне малы. Остальные показатели играют существенную роль и могут быстро изменяться, что отразится на изменении давления в шинах автомобилей в различные моменты времени в различных условиях.

Системы контроля давления газа (амер. англ. TPMS — Tires Pressure Monitoring System, в брит. англ. используется слово tyres) в шинах транспортного средства, а также корректировки давления вручную устанавливаются давно. В первую очередь это касается армейских многоцелевых колёсных транспортных средств повышенной проходимости, где возможность управляемого изме-

нения давления в шинах обусловлена соображениями достижения наилучшей проходимости транспортного средства в условиях бездорожья и сохранения боеспособности (работоспособности) машины. Все армейские многоцелевые колёсные транспортные средства повышенной проходимости оснащены системой подкачки и регулировки давления воздуха в шинах. 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.

К проблеме контроля и поддержания нормированного давления газа в шинах особенно серьезно относятся эксплуатационники грузовых автомобилей и тяжёлой колёсной спецтехники. Наиболее серьезно к средствам контроля и возможности обычного ручного управления давлением газа в шинах относятся производители тяжёлых карьерных самосвалов. Все карьерные самосвалы таких компаний, как БелАЗ (Белоруссия), Caterpillar (США) и Liebherr (Германия), оснащены телеметрическими системами контроля за давлением газа в шинах и температурой самих шин. Данные системы контроля позволяют увеличить срок службы шин путём предупреждения повреждений в результате падения или увеличения давления и температуры шин. Это позволяет значительно повысить надёжность эксплуатации ТС в целом и предотвратить возникновение возможных аварийных ситуаций, связанных с повреждением шин карьерного самосвала, что заметно снижает затраты на эксплуатацию данной техники. Для таких компаний, как Caterpillar и Liebherr, самыми дефицитными запасными частями для продукции являются шины. Компания Michelin, единственный поставщик шин для указанных автопроизводителей карьерных самосвалов, с большим трудом справляется с постоянно увеличивающимся объёмом заказов. Применение TPMS позволяет сократить количество дорогостоящих шиномонтажных работ для данной техники.

На сегодняшний день большинство автопроизводителей задумались над проблемой контроля давления воздуха в шинах легковых автомобилей. К проблеме несоблюдения автовладельцами нормированного давления в эксплуатируемых транспортных средствах в странах Западной Европы и США относятся крайне серьезно. По действующему во многих странах законодательству повсеместное использование системы измерения давления в шинах совместно с маркировкой шин и системой ESP входит в программу мер, принятых в 2009 году Европейской комиссией с целью повышения безопасности автомобилей и вступивших в силу в 2012 году. Наличие TPMS стало обязательным для всех новых моделей автомобилей категории M_1 — транспортных средств,



Рисунок 4.
TPMS прямого типа

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. В настоящее 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 систем, включающих в себя датчики давления газа, устанавливаемые на каждом колесе автомобиля, и информационное табло, размещаемое в салоне автомобиля в зоне видимости водителя, не превышает 200 долларов за комплект. Но исследования показывают, что 98 % автовладельцев легковых автомобилей пренебрегают данной системой контроля, считая её посредственной и ненужной. Однако при этом большинство водителей легковых автомобилей неспособны определить факт резкого падения давления газа в шине при её повреждении и продолжают движение уже на «спущенной» шине, что приводит к невосстанавливаемому повреждению колеса и самой шины. Поведение автомобиля, движущегося с высокой скоростью, в такой дорожной ситуации непредсказуемо, особенно в зимний период времени, и может привести к серьёзному ДТП.

Сегодня в автомобилестроении наиболее распространены две технологии контроля давления газа в шинах.

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 ненадёжна и не показывает точного давления газа в шинах автомобиля. Однако она простая и недорогая.

2. TPMS прямого типа. В данном случае используется электронный датчик, расположенный в клапане (ниппе-



Тип № 1



Тип № 2



Тип № 3



Тип № 4



Тип № 5

Рисунок 5.

Датчики давления в TPMS прямого типа

ном табло данные давления каждой шины автомобиля, а в автомобилях более низких классов водитель видит только предупреждающий сигнал «Низкое давление в шинах» без указания, в какой конкретно шине давление вышло за пределы установленных значений. Такой системой сегодня комплектуются все автомобили ведущих мировых автопроизводителей, и если раньше подобные системы контроля устанавливались только на автомобили премиум- и бизнес-классов, то в настоящее время эта система активно устанавливается и на автомобили потребительского сегмента.

Существует пять типов датчиков давления газа в шинах, применяемых в TPMS прямого типа (рис. 5), различающихся в основном по способу соединения с вентилем (ниппелем) и крепления внутри шины.

Датчики типа № 1 (Siemens-VDO) наиболее распространены и встречаются в большинстве автомобилей производства Ford, Citroën, Peugeot и Mazda.

Датчики типа № 2 применяются на автомобилях Mercedes, Chrysler, Kia.

Тип № 3 — Jeep и иные автомобили американского производства.

Тип № 4 — в основном автомобили производства концернов GM (General Motors) и VAG (Volkswagen Audi Group).

Тип № 5 — Bentley, Mercedes, Ferrari.

Проследить за множеством факторов, оказывающих влияние на давление газа в шине автомобиля, весьма затруднительно. Для создания работоспособного алгоритма управления давлением газа в шине в случае его отклонения от необходимой величины шину следует рассматривать как закрытую систему. В данной системе должна осуществляться постоянная коррекция давления до требуемого значения при любом возможном его (давлении газа) отклонении и независимо от причины (фактора), вызвавшей изменение давления. При разработке алгоритма необходимо учитывать два основных фактора, влияющих на пятно контакта шины с дорожным полотном: загрузку и скорость движения транспортного средства. Как было установлено ранее, загрузка автомобиля влияет на изменение пятна контакта и динамический радиус шины с дорогой. Корректировка в сторону увеличения давления до необходимого значения позволит сохранить оптимальное пятно контакта шины транспортного средства с дорогой. При увеличении скорости движения транспортного средства, как было установлено ранее теоретически, а затем и экспериментально, возрастает центробежная сила, действующая на изменение пятна контакта шины с дорожным полотном, вследствие чего автомобиль частично теряет необходимую устойчивость и управляемость. Увеличение давления при движении с высокими скоростями стабилизирует оптимальное пятно контакта.

ле) 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.

Работа датчика данной системы измерения давления газа в шине весьма проста. Газ воздействует на мембрану пьезокристалла через небольшое отверстие. Датчик работает от микробатарейки и передаёт сигналы приёмному устройству через радиосигнал с частотой 433 МГц (в Европе). Бортовой компьютер автомобиля получает данные и установленным образом отображает их на дисплее или иным способом. Например, в автомобилях премиум-класса водитель видит на контроль-

ВЫВОД

Задача разработки отдельной системы автоматического управления давлением газа в шинах в зависимости от нагрузки, скорости движения автомобиля и иных внешних факторов, а также информирования водителя о резком падении давления в случае, допустим, повреждения шины актуальна для мировых автопроизводителей, поскольку такая система позволит повысить безопасность и экологичность автомобиля в целом, положительно повлияет на его устойчивость, управляемость и топливно-экономические показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
2. Система контроля давления в шинах (TPMS) становится обязательной в Европе // Rezulteo: шины, цены, дистрибьюторы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rezulteo-shina.ru/reglamentatsija/sistema-kontrolja-davlenija-v-shinah-tpms-stanovitsja-objazatelnoj-v-evrope-5352> (дата обращения: 04.06.2015).
3. Официальный сайт Министерства транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mintrans.ru/news/> (дата обращения: 04.06.2015).
4. Красавин П. А., Смирнов А. О., Тимаев Д. М. О необходимости управления давлением воздуха в шинах легкового автомобиля // Известия МГТУ «МАМИ». — М., 2013. — Т. 1. — С. 91–96.
5. Есеновский М. Ю., Красавин П. А., Маланин И. А., Смирнов А. О. Разработка алгоритма управления давлением воздуха в шинах автомобилей // Журнал автомобильных инженеров. — 2014. — № 4 (87).
6. Официальный сайт компании Caterpillar [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cat.com/> (дата обращения: 04.06.2015).
7. Официальный сайт компании Liebherr [Электронный ресурс]. URL: <http://www.liebherr.com/> (дата обращения: 04.06.2015).
8. Официальный сайт компании БелАЗ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.belaz.by/> (дата обращения: 04.06.2015).
9. Система контроля «телеметрическая СКТ» // Официальный сайт компании «Сенсор-плюс» [Электронный ресурс]. URL: http://www.sensor.by/control.device.html?item_id=3 (дата обращения: 04.06.2015).
10. Официальный сайт компании Nokian Tyres [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nokiantyres.ru> (дата обращения: 04.06.2015).
11. Официальный сайт компании Michelin [Электронный ресурс]. URL: <http://www.michelin.com/fre> (дата обращения: 04.06.2015).
12. Официальный сайт компании Porsche [Электронный ресурс]. URL: <http://www.porsche.com/> (дата обращения: 04.06.2015).
13. Сычёв А. В., Рябов И. М. Методика исследования диффузии газа в шине автомобиля // XI Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: сб. тез. докл. — Волгоград, 2007. — С. 85–86.
14. Сычёв А. В., Рябов И. М. Проблемы давления в шинах в России и за рубежом // Ежегодная XVIII Международная интернет-конференция молодых учёных и студентов по современным проблемам машиноведения (МИКМУС-2006): сб. тез. докл. — М., 2006. — С. 24.
15. Архив Гидрометцентра [Электронный ресурс]. URL: <http://www.niipogoda.ru> (дата обращения: 04.06.2015).