

УДК 629.3.027.2

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ ВОЗДУХА В ШИНАХ АВТОМОБИЛЕЙ

М. Ю. Есеновский-Лашков, к. т. н., доц. / П. А. Красавин, к. т. н. / И. А. Маланин, ст. преп. / А. О. Смирнов, асп.
Университет машиностроения

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации автомобиля давление в его шинах постепенно изменяется под действием различных причин. Величина давления воздуха в шинах автомобильного транспорта является одним из главных параметров безопасной и правильной эксплуатации автомобильной шины и самого автомобиля. Поэтому контроль за состоянием давления в шинах транспортного средства (ТС) становится одним из важных вопросов в сфере автомобилестроения.

По данным ГИБДД РФ, большинство ДТП с участием грузового транспорта и автобусов за 2013 год произошли из-за несоблюдения нормативного давления в шинах, а также нарушения эксплуатации шин транспортных средств. На изменение давления воздуха в шинах влияет множество факторов — как внешних, так и внутренних. Эти факторы могут изменяться за относительно малые промежутки времени и не зависят от деятельности человека. Повлиять на изменение этих факторов не представляется возможным.

Изменение давления воздуха в шинах влияет на изменение пятна контакта шины с опорной поверхностью и на коэффициент сопротивления качению. Было установлено, что изменение давления на каждые $0,15 \text{ кгс/см}^2$ в диапазоне давлений воздуха $1,7 \dots 2,2 \text{ кгс/см}^2$ приводит к соответствующему изменению сопротивления качению на 5 %. Изменение в сторону увеличения коэффициента сопротивления качению приводит к повышенному расходу топлива и преждевременному износу шин.

Вопросу управления давлением воздуха в шинах автомобилестроение вплотную занялось после Второй мировой войны. Главным образом все исследования в этом направлении и конструкторские решения относились к военной автомобильной технике повышенной проходимости. Опыты показывают, что для каждого размера шины имеется определённое значение давления воздуха, обеспечивающее минимальное сопротивление движению. Также опы-

ты показали, что для каждого типа транспортного средства при движении по различным видам дорожных покрытий необходимо применять определённое оптимальное давление воздуха в шинах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Армейские многоцелевые колёсные автомобили повышенной проходимости, а именно грузовые автомобили и колёсная бронетехника оснащены системой подкачки 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. Автоматическое, то есть интеллектуальное, управление давлением воздуха в шинах без участия водителя пока серийно не применяется.

На легковых и лёгких коммерческих автомобилях контроль за давлением воздуха в шинах, а также информирование водителя в случае резкого его падения при повреждении шины уже давно не новость. Но системы, позволяющие управлять давлением воздуха в шинах легкового автомобиля в зависимости от условий эксплуатации, пока серийно не производятся.

Ранее было установлено, что общий коэффициент сопротивления качению f , определяемый экспериментально, в основном зависит от материала, типа конструкции шин, давления воздуха в них, твёрдости и состояния дорожного покрытия, сопротивлений в подвеске, режима движения автомобиля и иных факторов.

Применение новых технологий и материалов, обладающих малым внутренним трением, уменьшение жёсткости кордной ткани и числа её слоёв, облегчение протектора и другие конструктивные меры

значительно снижают гистерезисные потери в шинах.

С увеличением нагрузки на колесо коэффициент сопротивления качению возрастает, так как увеличиваются деформации шины и дороги. При изменении нагрузки с 80 до 110 % от номинальной 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.

Известно, что давление воздуха в шинах непосредственно влияет на параметры управляемости и устойчивости автомобиля, зависит от максимальной нагрузки на колесо и определяет его сопротивление качению.

Но задаваемые автопроизводителями значения давления воздуха в шинах, как правило, соответствуют только максимальной загрузке автомобиля без учёта распределения нагрузки по осям и при условии, что движение будет происходить по горизонтальной асфальтированной дороге.

Существует множество значений m_n , входящих в предел $m_{min} \leq m_n \leq m_{max}$, которым заданные автопроизводителем давления P_{min} и P_{max} , соответствующие значениям m_{min} и m_{max} , не будут удовлетворять.

где m_{min} — минимальная нагрузка; P_{min} — минимальное давление, соответствующее m_{min} ; m_{max} — максимальная нагрузка; P_{max} — минимальное давление, соответствующее m_{max} .

Управлять давлением воздуха в шинах за относительно малый период времени вручную практически невозможно, так как значение m_n может изменяться непредсказуемо — скачкообразно (например, при посадке — высадке пассажиров).

Но так как движение автомобиля происходит по различным видам дорог, то для разработки полноценного алгоритма регулирования и поддержания необходимого давления в шинах следует учитывать и такие факторы, как тип дорожного покрытия, наклон дороги, температура шины, скорость движения и другие.

Рассмотрим алгоритм управления давлением воздуха в шине на примере транспортного средства, эксплуатирующегося в городских условиях (например, городской автобус) при движении по асфальтовой дороге.

Как было сказано выше, изменения коэффициента сопротивления качению и площади пятна контакта можно считать линейными. Автопроизводитель задаёт оптимальное минимальное и максимальное значения давления воздуха в шинах конкретного

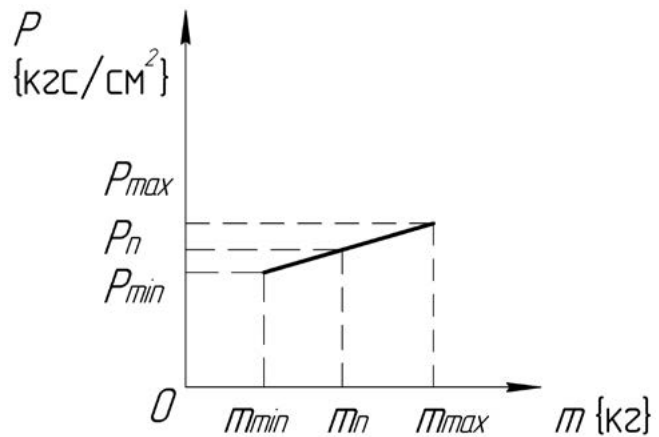


Рисунок 1. Изменение давления в зависимости от нагрузки

автомобиля, которые соответствуют минимальной и максимальной нагрузкам. График изменения давления воздуха в шине в зависимости от нагрузки представлен на рис. 1, а само изменение давления воздуха в шине можно записать в виде системы уравнений

$$\begin{cases} P_{max} = a m_{max} + b; \\ P_{min} = a m_{min} + b, \end{cases} \quad (1)$$

где a и b — коэффициенты данного уравнения, которые находятся из уравнения.

$$a = (P_{min} - P_{max}) / (m_{min} - m_{max}); \quad (2)$$

$$b = P_{max} - m_{max} (P_{min} - P_{max}) / (m_{min} - m_{max}). \quad (3)$$

Тогда любой допустимой нагрузке m_n , входящей в предел $m_{min} \leq m_n \leq m_{max}$, будет соответствовать определённое P_n , которое находится следующим образом:

$$P_n = m_n (P_{min} - P_{max}) / (m_{min} - m_{max}) + (P_{max} - m_{max} (P_{min} - P_{max}) / (m_{min} - m_{max})). \quad (4)$$

Таким образом, имеется возможность создания алгоритма автоматического управления давлением воздуха в шинах транспортного средства в зависимости от загрузки без участия водителя. Данная технология актуальна в первую очередь для городского наземного транспорта, передвигающегося в городских условиях по асфальтированным дорогам с определённой разрешённой Правилами дорожного движения скоростью. Технология позволит снизить затраты на топливо, увеличить ходимость шин, повысить комфортабельность и безопасность эксплуатации транспортных средств.

Структурная схема системы автоматического управления и поддержания давления воздуха в шинах автомобилей представлена в зависимости от изменения нагрузки на рис. 2. В данной системе информация с датчиков поступает в блок усилителей (БУ), а на выходе формируются унифицированные сигналы, которые с помощью коммутатора (К) по сигналам

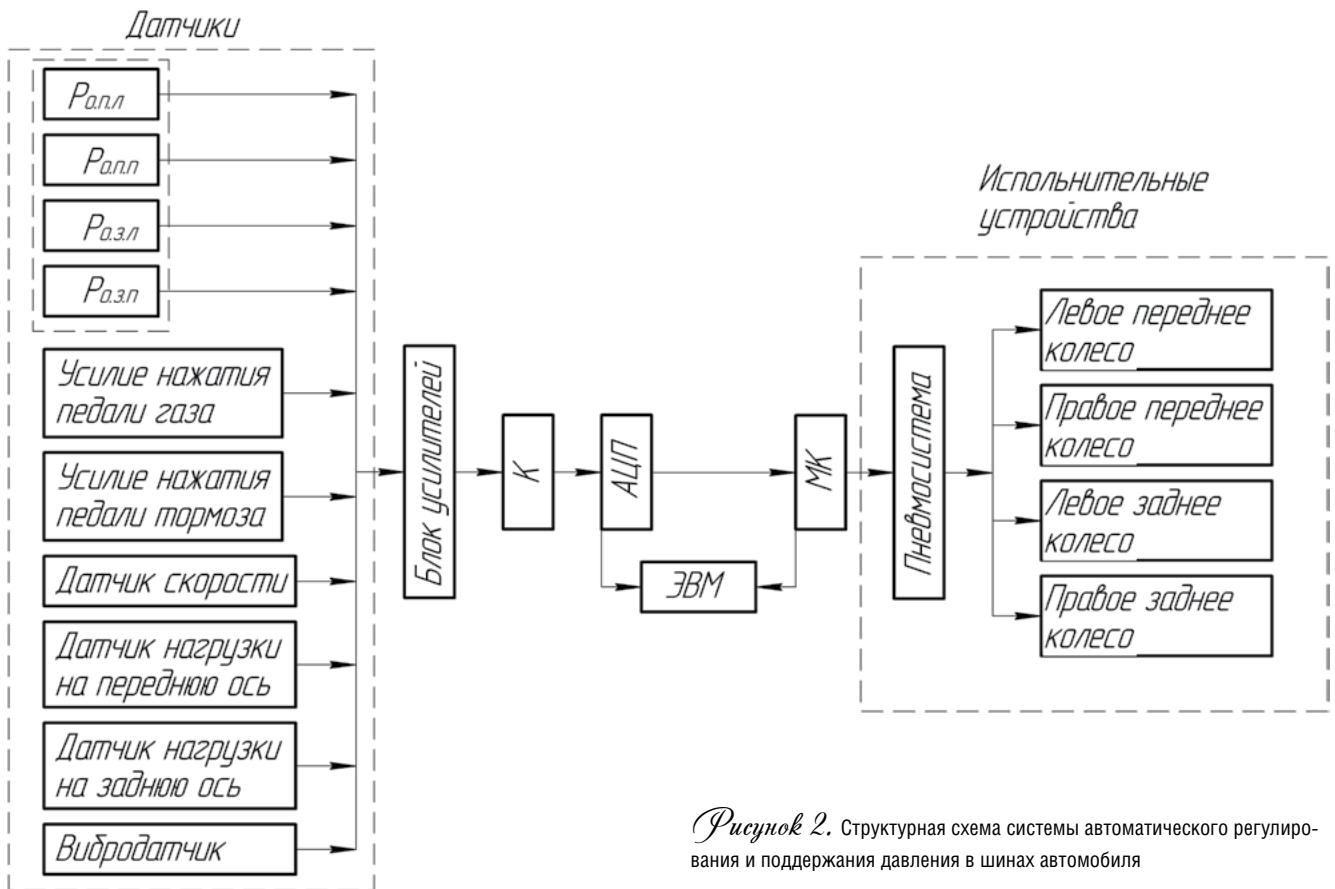


Рисунок 2. Структурная схема системы автоматического регулирования и поддержания давления в шинах автомобиля

лам микроЭВМ поочередно обрабатываются АЦП. Цифровые коды с АЦП поступают в микроЭВМ, которая по разработанной программе формирует сигналы и отправляет их на микроконтроллер. В свою очередь, микроконтроллер, получая информационные сигналы с ЭВМ и датчиков, обрабатывает входные параметры и отправляет управляющий сигнал на исполнительные устройства.

На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма работы системы автоматического управления и поддержания давления воздуха в шинах автомобиля в зависимости от изменения нагрузки. После запуска двигателя автомобиля происходит сбор данных с датчиков нагрузки, приходящейся на переднюю и заднюю оси автомобиля. Идёт определение нагрузок $m_{п.о.}$ и $m_{з.о.}$, приходящихся на переднюю и заднюю оси ТС соответственно. Одновременно происходит сбор информации о давлениях воздуха в шинах всех колёс. Информация с датчиков поступает в ЭБУ. ЭБУ по выведенному ранее алгоритму (4) обрабатывает полученные данные о нагрузках и выдаёт необходимые значения давлений $P_{п.о.}$ и $P_{з.о.}$, которые необходимо поддерживать в шинах передней и задней осей автомобиля соответственно. Далее осуществляется сравнение $P_{п.о.}$ с имеющимся давлением в каждом колесе передней оси автомобиля и сравнение

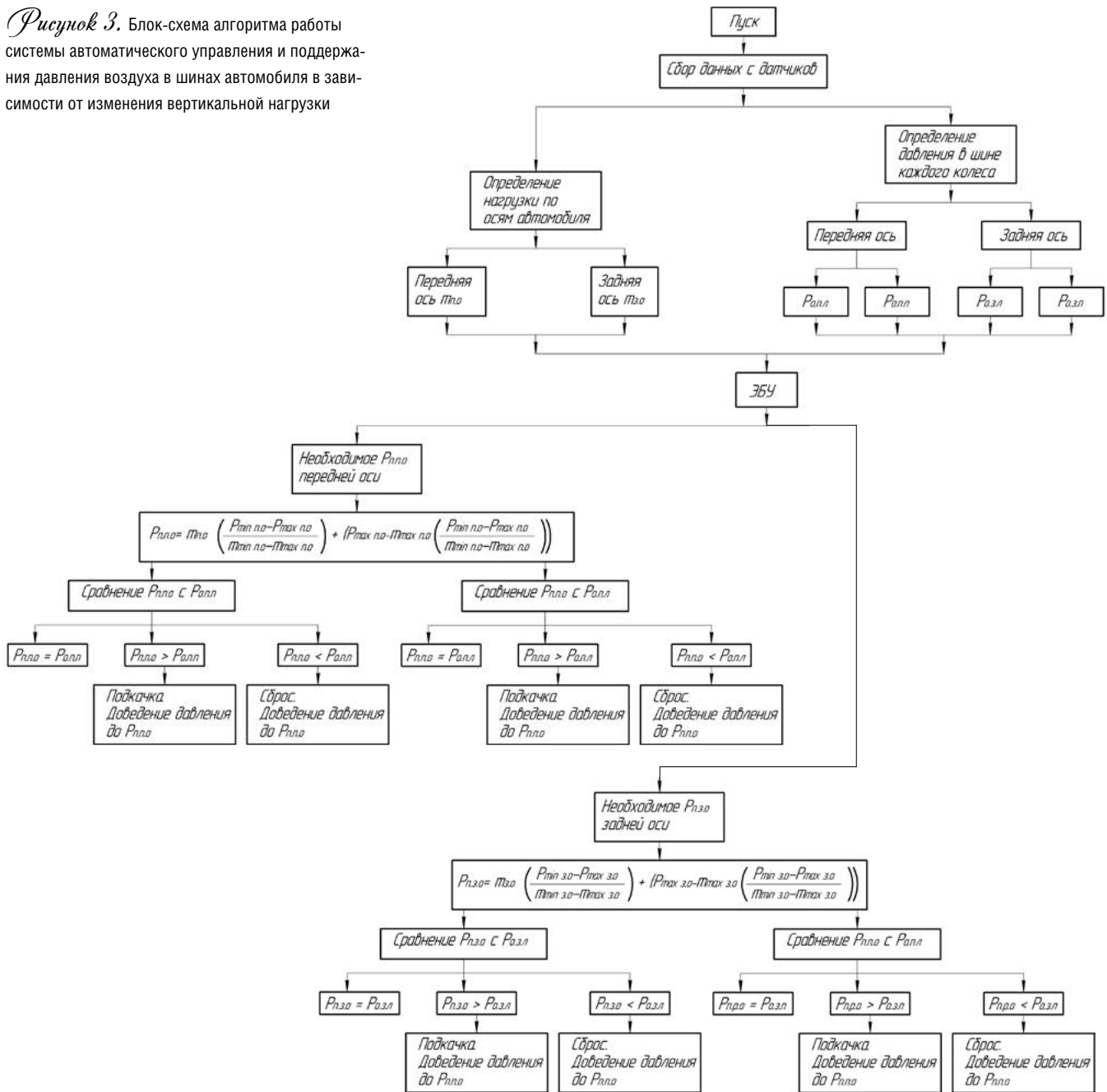
$P_{з.о.}$ с имеющимся давлением в каждом колесе задней оси ТС. В зависимости от результата сравнения величин давлений микроконтроллер передаёт сигнал на исполнительные устройства.

Исполнительное устройство (пневмосистема) проводит коррекцию давлений воздуха в шинах колёс. В случае недостатка давления воздуха в одном из колёс происходит автоматическая подкачка и доведение давления до необходимой величины. В случае избыточного давления — сброс давления также до необходимой величины.

Однако изменение нагрузки на колесо является не единственным фактором, влияющим на коэффициент сопротивления качению f и площадь пятна контакта шины с дорогой. Ранее было установлено, что основное влияние на коэффициент f оказывает скорость движения автомобиля. При повышении скорости движения ТС сопротивление качению колеса с пневматической шиной может изменяться весьма существенно.

На основании ряда исследований установлено, что при скоростях движения до 70... 80 км/ч сопротивление качению колеса на твёрдом дорожном покрытии может считаться постоянным во всём диапазоне. Дальнейшее повышение скорости сопровождается быстрым увеличением коэффициента f , в особенно-

Рисунок 3. Блок-схема алгоритма работы системы автоматического управления и поддержания давления воздуха в шинах автомобиля в зависимости от изменения вертикальной нагрузки



где $m_{п.о.}$ — нагрузка, приходящаяся на переднюю ось автомобиля в настоящий момент времени; $m_{з.о.}$ — нагрузка, приходящаяся на заднюю ось автомобиля в настоящий момент времени; $P_{о.п.л.}$ — давление воздуха в переднем левом колесе автомобиля в настоящий момент времени; $P_{о.п.п.}$ — давление воздуха в переднем правом колесе автомобиля в настоящий момент времени; $P_{о.з.л.}$ — давление воздуха в заднем левом колесе автомобиля в настоящий момент времени; $P_{о.з.п.}$ — давление воздуха в заднем правом колесе автомобиля в настоящий момент времени; $P_{н.п.о.}$ — необходимое давление для колёс передней оси автомобиля, соответствующее $m_{п.о.}$; $P_{н.з.о.}$ — необходимое давление для колёс задней оси автомобиля, соответствующее $m_{з.о.}$; $m_{min.п.о.}$ — минимальная нагрузка, заявленная автопроизводителем, приходящаяся на переднюю ось автомобиля; $P_{min.п.о.}$ — оптимальное давление для колёс передней оси автомобиля, заявленное автопроизводителем, соответствующее $m_{min.п.о.}$; $m_{max.п.о.}$ — максимально допустимая нагрузка, заявленная автопроизводителем, приходящаяся на переднюю ось автомобиля; $P_{max.п.о.}$ — оптимальное давление для колёс передней оси автомобиля, заявленное автопроизводителем, соответствующее $m_{max.п.о.}$; $m_{min.з.о.}$ — минимальная нагрузка, заявленная автопроизводителем, приходящаяся на заднюю ось автомобиля; $P_{min.з.о.}$ — оптимальное давление для колёс задней оси автомобиля, заявленное автопроизводителем, соответствующее $m_{min.з.о.}$; $m_{max.з.о.}$ — максимально допустимая нагрузка, заявленная автопроизводителем, приходящаяся на заднюю ось автомобиля; $P_{max.з.о.}$ — оптимальное давление для колёс задней оси автомобиля, заявленное автопроизводителем, соответствующее $m_{max.з.о.}$.

сти у шин с малым давлением воздуха и массивным протектором.

Эксперименты на беговом стенде показали, что с повышением давления в шине коэффициент сопротивления f значительно уменьшается. Следовательно, повышенное давление в шине при минимальной нагрузке значительно снизит коэффициент сопротивления f . Но, как мы знаем, при повышенном давлении в шине нарушается оптимальное пятно контакта шины и дороги. Также избыточное давление в шине не только приводит к преждевременному износу шины, но и негативно сказывается на управляемости и комфортабельности автомобиля. Перекачанная шина может быть подвержена наибольшим повреждениям не только при наезде на острые предметы (например, камни), но также может повредиться при движении по разбитому дорожному покрытию.

Как показывают исследования, при движении автомобиля с относительно высокими скоростями площадь пятна контакта шины с опорной поверхностью изменяется и знак этого изменения определяется первоначальным давлением воздуха в шине. Потому перед продолжительной поездкой с относительно высокой скоростью производители автомобилей рекомендуют увеличивать давление воздуха в шинах с целью обеспечения общей безопасности движения, так как увеличение внутреннего давления автоматически уменьшает гистерезисные потери в шине. Основным же способом снижения гистерезисных потерь в шине остаётся совершенствование её конструкции за счёт применения новых материалов и технологий изготовления. Вполне естественно, что большинство водителей не проводят данного мероприятия при запланированной поездке с высокими скоростями, а так как движение автомобиля не может быть заранее запланировано и в повседневной жизни является смешанным, то постоянный контроль и корректировка давления в шинах практически неосуществимы. Тем более что заранее увеличенное даже на $0,2 \text{ кгс/м}^2$ давление будет негативно сказываться на эксплуатации автомобиля при скоростях ниже 90 км/ч .

На основании вышеизложенного можно заключить, что автоматическое управление давлением в шинах в зависимости от скорости движения является столь же необходимым, как и автоматическое управление давлением воздуха в шинах в зависимости от изменения нагрузки. Мало того, давление в шинах по осям не должно быть одинаковым. Некоторые исследования показали, что при движении легкового автомобиля с относительно малыми скоростями (в населённых пунктах) желательно давление в шинах передней оси устанавливать выше, чем в шинах задней оси. Это приводит к улучшению

управляемости автомобиля, улучшает манёвренность в городских условиях, не сказываясь на устойчивости. При движении с высокими скоростями, как правило, на прямых участках желательно более высокое давление устанавливать в шинах задней оси автомобиля с целью повышения устойчивости. Но движение с повышенным давлением при высоких скоростях с максимальной загрузкой целесообразно только по высококачественному дорожному покрытию. Движение по неровной дороге негативно сказывается на эксплуатационных показателях не только шины, но и всего автомобиля в целом.

ВЫВОДЫ

Таким образом, при создании автоматической системы управления давлением воздуха в шинах автомобилей необходимо учитывать как минимум три фактора: нагрузку на колесо, скорость движения автомобиля, качественные показатели дорожного покрытия, так как для каждого типа дороги существует оптимальное максимальное давление воздуха в шинах, при котором движение будет оптимальным с точки зрения эксплуатационных показателей автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смирнов А. О., Красавин П. А., Тимаев Д. М. О необходимости управления давлением воздуха в шинах легковых автомобилей // Известия МГТУ «МАМИ». — М., 2013. — Т. 1. — № 1. — С. 91–96.
2. Острецов А. В., Красавин П. А., Воронин В. В. Шины и колёса для автомобилей и тракторов: учебное пособие. — М.: МГТУ «МАМИ», 2011.
3. Красавин П. А., Харитонов В. И., Чернокозов В. В. Разработка программных средств распознавания дорожной разметки // Известия МГТУ «МАМИ». — М., 2014. — № 1.