

Разработка внешней косвенной системы контроля давления в пневматических шинах

д.т.н. проф. Иванов А.М., к.т.н. Шадрин С.С., к.т.н. Карпухин К.Е.

МАДИ

8-499-155-03-84, shadrin@madi.ru

Аннотация. В статье рассмотрены существующие системы контроля давления в шинах, описаны основные алгоритмы, используемые в работе косвенных систем. Приводятся результаты эксперимента с использованием комбинированного алгоритма для запуска на внешних к автомобилю устройствах.

Ключевые слова: автомобиль, пневматическая шина, система контроля давления в шинах.

Введение

Разработке и совершенствованию систем контроля давления в шинах (TPMS) отводится важное значение, т.к. правильное давление в шинах играет определяющую роль при формировании пятна контакта с опорной поверхностью [1]. При наличии систем контроля давления в шинах непредвиденные аварийные ситуации могут быть сведены к минимуму, при этом улучшится как срок службы шин, так и топливная экономичность автомобиля.

Существующие системы контроля давления в шинах разделяются на две группы:

- непосредственные или директивные (непосредственно измеряющие давления в шинах с помощью соответствующих датчиков);
- косвенные или индирективные (измеряют относительное изменение уровня давления в шинах при помощи косвенных факторов).

Определение недостаточного давления в шинах

Косвенная система контроля давления в шинах, основанная на принципе анализа радиуса качения колеса, использует тот факт, что динамический радиус качения колеса уменьшается при падении давления в шине [2]. Это, пожалуй, наиболее интуитивный способ обнаружения недостаточного давления в шине путем мониторинга угловых скоростей колес.

Определяющим фактором, на который ссылаются управляющие элементы систем автомобиля, является параметр z . Отличие этого параметра от нуля – это сигнал отклонения давления в шинах от рекомендуемых значений. Один из распространенных примеров – это так называемый «осевой» алгоритм [3], описываемый следующей формулой:

$$z_o = \frac{\omega_1}{\omega_2} - \frac{\omega_4}{\omega_3}. \quad (1)$$

Угловые скорости колес ω_i обозначены следующим образом:

ω_1 - угловая скорость переднего левого колеса (колесо 1);

ω_2 - угловая скорость переднего правого колеса (колесо 2);

ω_3 - угловая скорость заднего правого колеса (колесо 3);

ω_4 - угловая скорость заднего левого колеса (колесо 4).

Потери давления обнаруживаются в том случае, когда в результате испытания величина z_o становится неравной нулю. Отсюда сразу вытекает недостаток: тест не может обнаружить равные потери давления на одной оси или стороне автомобиля, а также невозможно определить, какое конкретное колесо спущено.

Электронный блок управления (ЭБУ) автомобиля высчитывает линейные скорости колес, значения которых присутствуют в высокоскоростной шине CAN, исходя из изначально прописанных в памяти ЭБУ значений радиусов колес при рекомендуемом давлении (r_0). Тогда, формула (1) может быть преобразована следующим образом:

$$z_o = \frac{\omega_1}{\omega_2} - \frac{\omega_4}{\omega_3} = \frac{v_1 \cdot r_0}{r_0 \cdot v_2} - \frac{v_4 \cdot r_0}{r_0 \cdot v_3} = \frac{v_1}{v_2} - \frac{v_4}{v_3}, \quad (2)$$

где: v_i – значения линейных скоростей колес автомобиля, сигналы которых присутствуют в высокоскоростной шине CAN.

Существует и другой алгоритм, основанный на таком же принципе, который называется «диагональным» [4]. Показатель z_d для «диагонального» алгоритма будет описываться следующей формулой:

$$z_d = \frac{\omega_2}{\omega_4} - \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{v_2}{v_4} - \frac{v_1}{v_3}. \quad (3)$$

Недостаток «диагонального» алгоритма в следующем: тест не может обнаружить равные потери давления на одной оси или по диагонали автомобиля, а также невозможно определить, какое конкретное колесо спущено.

Комбинация «осевого» и «диагонального» алгоритмов позволяет исключить невозможность определения недостатка давления на одной стороне автомобиля и по диагонали автомобиля, но нерешенной остается проблема равных потерь давления на одной оси автомобиля [5]. Также становится возможным определить, какое конкретное колесо спущено. Метод определения спущенного колеса по значениям параметров z_o и z_d представлен в таблице 1.

Таблица 1

Определение спущенного колеса по показателям z_o и z_d

Спущенное колесо	z_o	z_d
переднее левое (1)	>0	<0
переднее правое (2)	<0	>0
заднее правое (3)	>0	>0
заднее левое (4)	<0	<0

Для проверки работоспособности данных алгоритмов был спланирован, подготовлен и проведен натурный эксперимент с использованием в качестве объекта испытаний транспортного средства категории М1 – Chevrolet Orlando 1.8 LT АТ 2012 года выпуска, оснащенного системой сбора и записи данных с бортовой высокоскоростной шины передачи данных CAN [6, 7]. Использовалось следующее оборудование (рисунок 1):

- декодер высокоскоростной шины CAN «NI-8473s» (National Instruments);
- компрессор автомобильный MegaPower Automotive;
- ноутбук, соединительные провода.



Рисунок 1. Подключение измерительного оборудования к автомобилю

Рассматриваемый автомобиль, как и большинство современных колесных транспорт-

ных средств, оснащен в штатной комплектации высокоскоростной шиной CAN передачи данных, которая в данном случае относится к шинам CAN класса «С» со скоростью передачи данных 500 Кбит/с. Индивидуальные значения скоростей колес не относятся к стандартизованным параметрам OBD и, соответственно, не могут быть получены с помощью отправки стандартных запросов в ЭБУ ДВС. Однако, известно, что автомобиль оборудован системой ABS, которая предполагает наличие соответствующих датчиков скоростей колес, и значит, значения скоростей колес присутствуют в бортовой шине CAN.

Для определения сообщений CAN, содержащих значения скоростей колес исследуемого автомобиля, было применено ноу-хау МАДИ «Методика декодирования данных, передаваемых по CAN-шинам транспортных и технологических машин».

В архитектуре шины CAN применены 11-битные идентификаторы сообщений. Были декодированы и впоследствии использовались в алгоритмах TPMS следующие данные:

- приведенная линейная скорость движения автомобиля;
- линейные скорости четырех колес;
- угол поворота рулевого колеса;
- положение педали газа;
- положение педали тормоза.

Испытания проводились в условиях движения в городской среде [8] со скоростями движения в пределах 60 км/ч по замкнутой траектории, протяженностью 2,46 км. Было выполнено 10 заездов с различным давлением в пневматических шинах. Рекомендуемое давление для шин объекта испытаний составляло 2,4 кгс/см², программа испытаний представлена в таблице 2, нумерация колес идентична приведенной в формуле (1). Целью эксперимента было путем использования двух вышеуказанных алгоритмов обнаружить спущенное колесо.

Таблица 2

Программа испытаний

#	Время начала заезда	Давление в шинах (# колеса – давление)	Файл записи данных
1	14:32	1, 2, 3, 4 – 2,4 кгс/см ² (рекомендуемое)	o1.mat
2	14:43	1, 2, 3 – 2,4 кгс/см ² 4 – 2,2 кгс/см ²	o2.mat
3	14:53	1, 2, 3 – 2,4 кгс/см ² 4 – 2,0 кгс/см ²	o3.mat
4	15:05	1, 2, 3 – 2,4 кгс/см ² 4 – 1,5 кгс/см ²	o4.mat
5	15:14	1, 2, 3 – 2,4 кгс/см ² 4 – 1,0 кгс/см ²	o5.mat
6	15:30	1, 2 – 2,4 кгс/см ² 3 – 2,0 кгс/см ² 4 – 1,5 кгс/см ²	o6.mat
7	16:01	1, 2 – 2,4 кгс/см ² 3, 4 – 2,0 кгс/см ²	o7.mat
8	16:12	2 – 2,4 кгс/см ² 1, 3, 4 – 2,0 кгс/см ²	o8.mat
9	16:23	1, 2, 3, 4 – 2,0 кгс/см ²	o9.mat
10	16:36	2, 3, 4 – 2, 4 кгс/см ² 1 – 1,5 кгс/см ²	o10.mat

Для устранения погрешностей при определении спущенного колеса было введено условие, согласно которому доля сигналов недостаточного давления, приходящихся на одно колесо, должна составлять не менее 40% от сигналов недостаточного давления, приходящихся на все колеса.

Разработка алгоритма работы системы косвенного определения давления в пневматических шинах осуществлялась в среде MatLab. Для исключения ложных срабатываний были наложены ограничения на управляющие воздействия водителя и минимальный порог скорости автомобиля для начала работы системы. Разработанный алгоритм позволил определить максимально спущенное колесо в заездах # 4, 5, 6, 10 проведенных испытаний.

В результате была разработана для объекта испытаний внешняя система косвенного определения давления в пневматических шинах со следующими характеристиками: определение спущенного колеса при движении в городских условиях в течение 1 минуты (10 с. на определение, 50 с. на подтверждение) при падении давления в одном из колес более чем на 30% от рекомендуемого (от 2,4 кгс/см²).

Результаты и выводы

Таким образом, в результате проведенного исследования была:

- 1) установлена возможность использования значений параметров движения автомобиля, получаемых в реальном времени с высокоскоростной шины CAN, для работы внешних приложений [9];
- 2) разработан алгоритм системы косвенного определения давления в шинах;
- 3) подтверждена работоспособность предлагаемых подходов, что позволило обнаружить пневматическую шину с недостаточным уровнем давления. Время срабатывания системы составило 1 минуту при движении в городских условиях.

В дальнейшем для выбранного объекта испытаний представляется целесообразным разработать алгоритм косвенного определения давления в пневматических шинах методом резонансных частот [10] для сравнения с разработанным. Данный материал может быть полезен в образовательных целях.

Литература

1. Иванов А.М. Экспериментальная проверка методов оценки эффективности систем динамической стабилизации АТС / А.М. Иванов, А.А. Ревин, Э.Н. Никульников, Е.В. Балакина, А.А. Барашков, С.А. Лосев, С.С. Шадрин, Ю.Н. Козлов // Автомобильная промышленность. – 2009. – №7. – С. 31-33.
2. N. Persson et al., “Tire Pressure Estimation”, International patent application WO0187647, 1999.
3. United States Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration. August 2001, “Tire Pressure Special Study: Methodology.”
4. N. Persson et al., “Indirect Tire Pressure Monitoring Using Sensor Fusion”, Society of Automotive Engineers, 2002-01-1250.
5. F. Braun et al., “Method and apparatus for monitoring the tyre pressure of motor vehicle wheels”, EP 938987, 1999.
6. Шадрин С.С. Возможности использования бортовых сетей передачи данных автотранспортных средств в задачах интеллектуальных транспортных систем / С.С. Шадрин, А.М. Иванов // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 5. – С. 43-46.
7. Шадрин С.С. Идентификация параметров сопротивления движению колесных транспортных средств в эксплуатации / С.С. Шадрин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2013. – №2(16), т.1. – С. 248-251
8. Шадрин С.С. Расчетно-экспериментальный метод определения углов поворота управляемых колес транспортного средства при проведении полигонных испытаний / С.С. Шадрин // Вестник МАДИ. – 2013. – Вып. 4(35). – С. 13-17.
9. Иванов А.М. Разработка системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств / А.М. Иванов, С.С. Шадрин // Известия ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы». Вып. 7 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 21 (124). – С. 74-77.
10. N. Persson and F. Gustafsson, “Event Based Sampling with Application to Vibration Analysis in Pneumatic Tires”, in ICASSP 2001.