

УДК 629.3.018.7

АДАПТАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯ RENAULT FLUENCE, УЧИТЫВАЮЩАЯ ДАВЛЕНИЕ В ШИНАХ

Кудрин Александр Борисович, студент,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64,, A.koudrin@outlook.com,

Никифорова Полина Алексеевна, студент,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, po8176ni@yandex.ru,

Садовский Даниил Алексеевич, студент,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64,, daniilsadowski@yandex.ru,

Шадрин Сергей Сергеевич, д-р техн. наук, проф.,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, shadrin@madi.ru.

Аннотация. В настоящее время актуальна проблема повышения экологичности автомобилей. С появлением новых технологий и устройств становится возможным точнее оценивать показатели автомобиля, а также их взаимосвязь между собой. Одним из наиболее важных показателей, является расход топлива. С целью определения зависимости между расходом топлива и давлением в шинах, а также выбора оптимального давления были проведены эксперименты. В статье представлены описания этих экспериментов, проведенных с использованием современного оборудования на автомобиле Renault Fluence.

Ключевые слова: постоянная скорость автомобиля, давление в шинах, время прохождения, средняя скорость, моментальный расход топлива, MATLAB.

ADAPTATION OF THE VEHICLE FUEL RATE MEASUREMENT RENAULT FLUENCE VEHICLE, TAKING INTO ACCOUNT THE TIRE PRESSURE

Kudrin Alexander B., student,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, A.koudrin@outlook.com,

Nikiforova Polina A., student,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, po8176ni@yandex.ru,

Sadovsky Daniel A., student,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia,, daniilsadowski@yandex.ru,

Shadrin Sergey S., Dr. Sc., professor,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, shadrin@madi.ru.

Abstract: At the present time the problem of improving the environmental friendliness of cars is urgent. With the advent of new technologies and devices, it becomes possible to more accurately assess the performance of a car, as well as their relationship with each other. One of the most important indicators is fuel consumption. Experiments were carried out to determine the relationship between fuel consumption and tire pressure, as well as to select the optimal pressure. The article presents descriptions of these experiments carried out using modern equipment on a Renault Fluence car.

Key words: constant vehicle speed, tire pressure, travel time, average speed, instant fuel consumption, MATLAB.

ВЕДЕНИЕ

Для повышения эксплуатационного ресурса шин, снижения расхода топлива, повышения комфортности и безопасности эксплуатации автомобиля особое значение приобретает проблема достижения оптимального давления в шинах. Цель данной работы: определить влияние давления в шинах автомобиля Renault Fluence на его расход топлива при прохождении дистанции в 3 км с постоянной скоростью 75 км/ч.

Для достижения данной цели были сформулированы задачи:

- провести дорожное испытание на прямом участке дороги, поддерживая постоянную скорость автомобиля и осуществляя замеры таких параметров как время прохождения, средняя скорость, моментальный расход топлива;
- с помощью программы MATLAB смоделировать проведенный эксперимент;
- сравнить полученные результаты в ходе проведения дорожного испытания со смоделированными в программе MATLAB;
- сформулировать выводы полученных результатов.

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Методика проведения эксперимента: для реализации поставленной цели было решено провести дорожное испытание на участке трассы М10 между 165-м и 162-м км. Основная задача – движение с постоянной

скоростью 75 км/ч при прохождении дистанции в 3 км. Величина устанавливаемого давления в шинах согласно номеру заезда: 1 – 2,30 бар; 2 – 2,00 бар; 3 – 1,55 бар.

Одним из способов ее решения является применение современного оборудования для замеров показателей автомобиля, такого как диагностический сканер OBDLinkLX, мобильное приложение OBDLink, цифровой манометр и программы MATLAB для моделирования и сравнения экспериментальных и виртуальных результатов.

Базовым автомобилем для создания ходовой лаборатории является автомобиль Renault Fluence (рис. 1), гос. номер x957yo 777, 2008 года выпуска.



Рис. 1. Автомобиль Renault Fluence - 1,6 л, емкость бака 60 л, расход топлива, л/100 км: городской цикл - 8,8; загородный цикл - 5,3; смешанный цикл - 6,5

Перед проведением испытания автомобиль был переобут на зимнюю резину Dunlop 205/65R1594T (рис. 2, 3).



Рис.2. Рекомендуемые производителем размерности шин и величины давления в них

Условия проведения испытаний: дата и время начала проведения заезда – 15 октября 2020, 15:27; Метеорологические условия: температура воздуха – +1 С°; атмосферное давление – 758 мм рт. ст.; скорость ветра – 3 м/с, юго-восточного направления; влажность воздуха – 81%; Состояние дорожного покрытия – сухой асфальт.

Состояние автомобиля на момент проведения эксперимента: пробег автомобиля – 120.000 км; топливный бак был заправлен топливом А-92 на 40 л, загрузка автомобиля составила 240 кг и включает вес водителя и двух операторов.

Регистрируемые параметры и показатели: скорость движения автомобиля; пройденное расстояние; моментальный расход топлива; геолокация объекта испытаний.

Запись данных осуществляется в момент достижения автомобилем установившегося движения.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

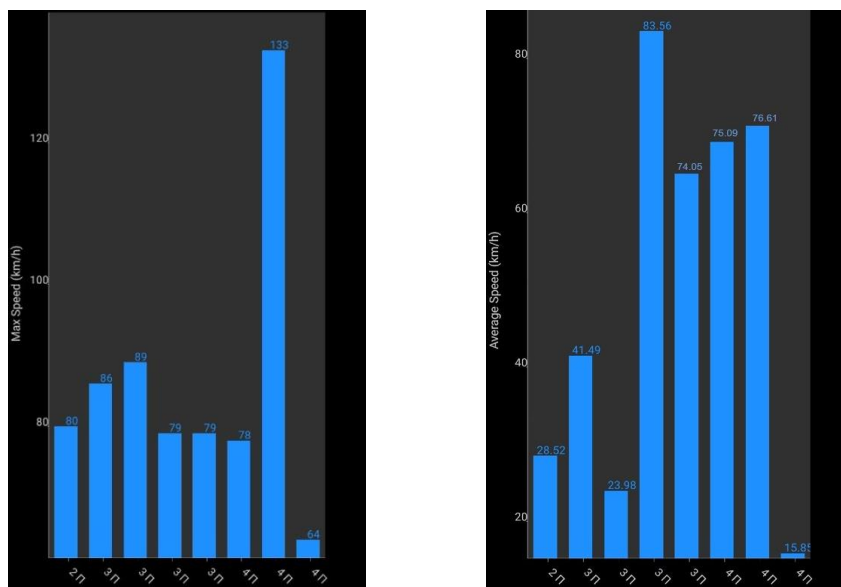


Рис.3. Графическое изображение данных моб. приложения OBDLink:
а) max скорость, км/ч; б) средняя скорость, км/ч.

Мах скорость, км/ч: Заезды 1.1-1.4 79 км/ч, Заезды 2.1-2.4 79 км/ч, Заезды 3.1-3.4 78 км/ч.

Средняя скорость, км/ч: Заезды 1.1-1.4 74,05 км/ч, Заезды 2.1-2.4 75,09 км/ч, Заезды 3.1-3.4 76,61 км/ч.

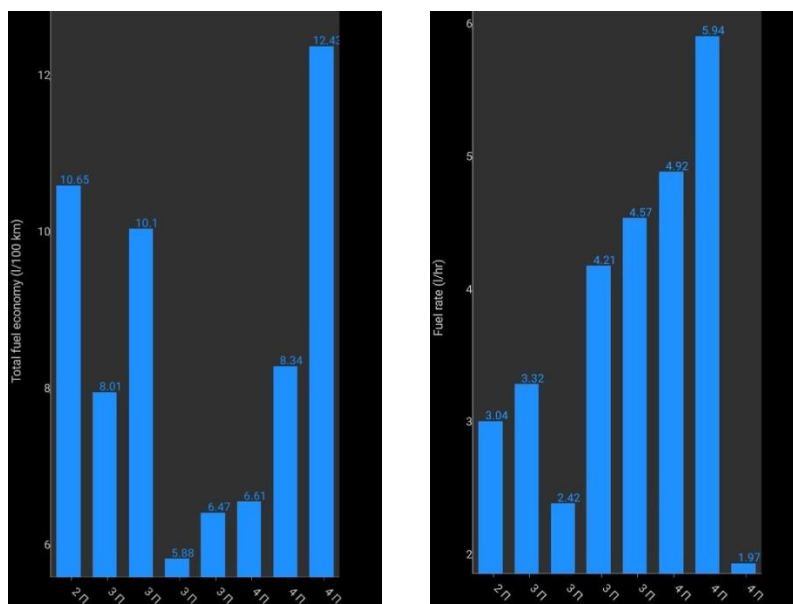


Рис.4. Графическое изображение данных моб. приложения OBDLink:
а) расход топлива, л/100км; б) расход топлива, л/ч.

Расход топлива, л/100км: Заезды 1.1-1.4 5,98 л/100км, Заезды 2.1-2.4 6,47 л/100км, Заезды 3.1-3.4 6,51 л/100км.

Расход топлива, л/ч: Заезды 1.1-1.4 4,21 л/ч, Заезды 2.1-2.4 4,57 л/ч, Заезды 3.1-3.4 4,92 л/ч.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА В ПРОГРАММЕ MATLAB

Описание принципа работы виртуальной модели в MATLABSimulink. Целью эксперимента, описанного выше, являлось определение зависимости расхода топлива от давления в шинах. Для сопоставления полученных данных с результатами виртуальных испытаний была создана следующая модель (рис. 5):

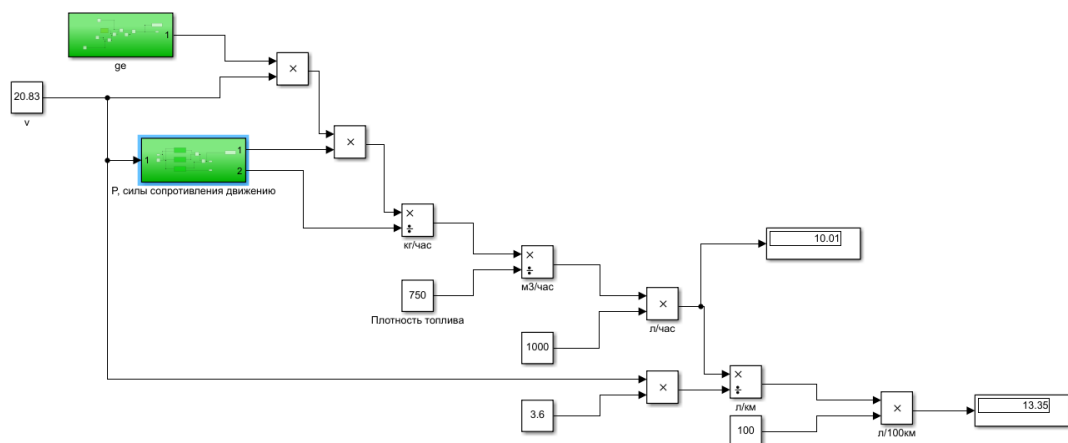


Рис.5. Общий вид виртуальной модели

За основу расчёта была взята формула массы расхода топлива, расходуемого в один час, которая имеет вид [1]:

$$G_T = \frac{g_e \cdot v \cdot P}{\eta_T}, \text{ (кг/ч)} \quad (1)$$

где G_T — масса расхода топлива, расходуемого в один час, g_e — массовый расход топлива, v — скорость движения автомобиля, P — сумма сил сопротивления движению, η_T — КПД трансмиссии.

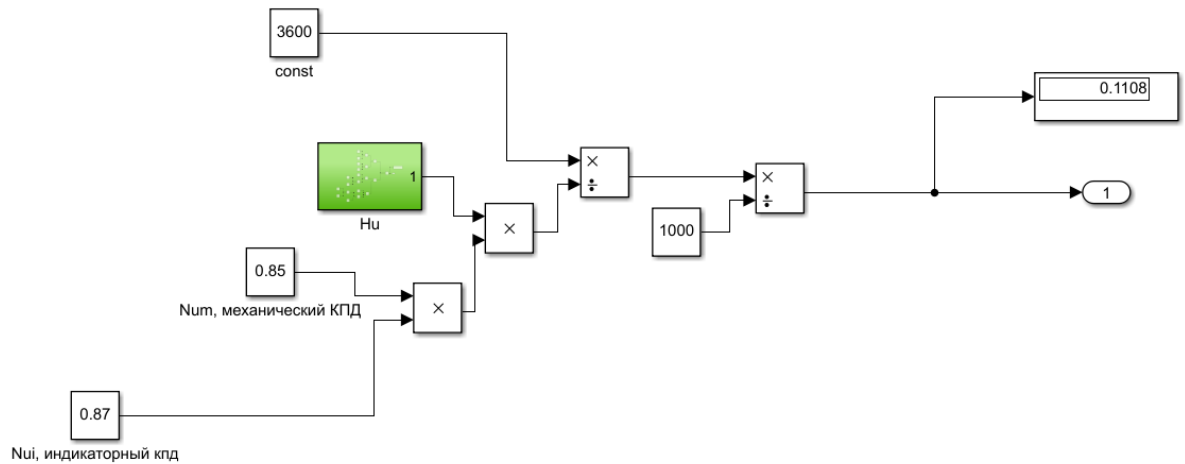


Рис. 6. Общий вид блок-схемы расчёта массового расхода топлива

Массовый расход топлива зависит от низшей теплоты сгорания топлива, механического и индикаторного КПД двигателя испытуемого автомобиля.

Индикаторный и механический КПД были приняты согласно справочным значениям [4] с корректировкой на тип и принцип работы испытуемого автомобиля:

- четырёхтактный двигатель;
- обороты работы двигателя во время эксперимента ~2300 об/мин.

Для определения низшей теплоты сгорания топлива и большей эластичности и вариантности использования разработанной модели была создана отдельная подсистема, основанная на формуле Д. И. Менделеева:

$$Q_H^P = 33,91 \cdot C + 125,6 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51(W + 9H), \text{ МДж/кг}$$

где C, H – массовые доли углерода, водорода в 1 кг топлива, кг.

Результат расчёта получился равным 43,93 МДж/кг, при этом справочное значение [5] для бензина АИ-95 равно 43,5 МДж/кг.

Силы сопротивления движению представляют собой совокупность сил сопротивления дороги, сил сопротивления воздуха и сил сопротивления инерции (рис. 7).

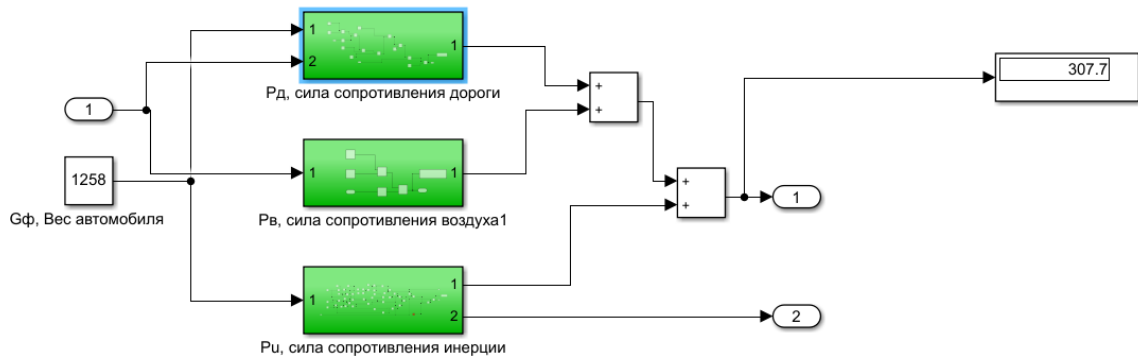


Рис. 7. Общий вид сил сопротивления движению

Сила сопротивления дороги складывается из силы сопротивления подъёму, которая для данного эксперимента равно 0, так как заезд проводился на ровном участке прямой в обе стороны, и силы сопротивления качению.

Сила сопротивления F_k зависит от множества факторов, наиболее значимыми из которых являются конструкция шины, нагрузка на колесо G_k и скорость его качения (скорость автомобиля).

Сила сопротивления качению представляет собой произведение массы автомобиля на коэффициент сопротивления качению.

Коэффициент сопротивления качению эластичного колеса при скорости, близкой к нулю, учитывающий конструкцию (свойства) шины и качество дороги определялся по справочным значениям с корректировкой на следующие свойства:

- R15 – размерность шины и тип корда,
- давление, установленное в шине – 2,3 атм.,

- рисунок протектора – не насыщенный,
- тип покрытия – сухой асфальтобетон,
- качество покрытия – хорошее,
- степень износа – средняя.

Меньшие значения соответствуют шинам большего диаметра (например, R20), с большим давлением (600...800 кПа), с более насыщенным рисунком протектора («слик» или шины для сухих дорог), с меньшей глубиной протектора (изношенные), радиальной конструкции [6].

С ростом скорости натяжение брекера увеличивается, колесо «округляется», площадь пятна контакта шины с дорогой уменьшается, из-за чего контактные давления растут, при этом резина протектора сильно деформируется.

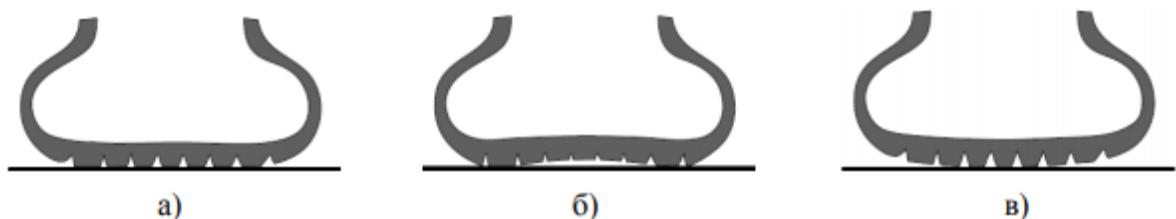


Рис.8. Влияние давления в шине (или нагрузки на неё) на форму сечения её беговой дорожки: а) при номинальном давлении и нагрузке; б) при недостаточном давлении или перегрузе; в) при избыточном давлении или недогрузе

При изменении давления в шине и/или нагрузки ее профиль деформируется: при номинальных давлении и нагрузке, пятно контакта шины с дорогой будет «идеальным» (рис. 1.8, а). При недостаточном давлении или при перегрузке – беговая дорожка прогибается внутрь шины (рис. 1.8, б), при избыточном давлении или недогрузке – наружу

Учесть влияние давления в шине и нагрузки на нее позволяет следующая зависимость [7]:

$$f_k = \frac{k}{1000} \cdot \left(5,1 + \frac{550000 + 90 \cdot G_k}{P_w} + \frac{1100 + 0,0388 \cdot G_k}{P_w} V^2 \right), \quad (2)$$

где k – коэффициент, учитывающий конструкцию шины;

G_k – вертикальная нагрузка на колесо, Н;

$p_{ш}$ – давление в шине, Па;

V – скорость качения (автомобиля), м/с.

Для шин легковых автомобилей следует выбирать поправочный коэффициент k значительно больше, чем рекомендуется в [7] для радиальных шин. Например, если назначить $k = 1,2^*$, то при нулевой скорости по (3.3) получим $f_0 = 0,01$, что соответствует общепринятым значениям коэффициента для летних шин R16...R18 современных легковых автомобилей; если $k = 1,7$, то $f_0 = 0,015$ (шины R14...R15); если $k = 2$, то $f_0 = 0,018$ (шины шипованные или с развитым (внедорожным) протектором

Процент массы, приходящегося на переднюю ось, примем равной 55%, значит вертикальная нагрузка на колесо будет равна 3450 Ньютонов. Коэффициент, учитывающий тип и конструкцию шины примем равному 1.7. Давление в шине будет изменяться согласно номеру заезда: 1 – 2,30 бар, 2 – 2,00 бар, 3 – 1,55 бар.

Сила сопротивления воздуха и силы сопротивления инерции.

Коэффициент обтекаемости был взят согласно аналогичному по габаритам и типу кузова автомобилю из справочных материалов.

Лобовая площадь автомобиля была рассчитана согласно сечению Миделя.

Для получения сил сопротивления инерции, необходимо рассчитать коэффициент вращающихся масс, который включает в себя: моменты инерции колёс, передаточное число трансмиссии и КПД трансмиссии, а также момент инерции маховика.

Линейные размеры, необходимые для расчёта момента инерции маховика, а также его масса были взяты из мануала по ремонту двигателя К4М, установленного на исследуемый автомобиль.

В конкретном эксперименте силы инерции равны нулю, так как во время эксперимента автомобиль двигался равномерно, с постоянной скоростью, без ускорений.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Данные полученные в ходе проведения дорожного эксперимента и результаты моделирования приведены в таблице:

Давление, бар	Расход топлива л/час		Дельта, %		Расход топлива л/100 км		Дельта, %	
	моделирование	эксперимент	моделирование	эксперимент	моделирование	эксперимент	моделирование	эксперимент
2,3	10,16	4.2 1	-	-	13,5 5	5.9 8	-	-
2,0	10,2 2	4.5 7	0,5	7,9	13,6 3	6.4 7	0,6	7,6
1,55	10,3 6	4.9 4	2	14, 8	13,8 2	8,3 4	2	28, 3

Из приведенной таблицы видно, что понижение давления в шинах неизбежно приводит к увеличению расхода топлива. При уменьшении давления на 0,75 бар расход топлива в л/100 км увеличился на 2% по

результатам моделирования и на 28,3% по результатам дорожного эксперимента.

Стоит обратить внимание на то, что зависимость изменения давления на расход топлива в л/100км и л/ч при моделировании стремится к линейной, как и зависимость расхода топлива л/ч во время проведения дорожного эксперимента. При этом расход топлива в л/100км во время проведения дорожного испытания имеет резкий скачок в 1,55 бар. Такой скачок может быть вызван нагревом, повышенной деформацией, возникновением стоячей волны, понижением критической скорости шины при движении на расстоянии, стремящемся к бесконечности. По причине установленного давления в шине, а именно 1,55 бар, гораздо ниже эксплуатационного давления 2,3 бар.

Из графика (рис. 9) можно наблюдать разницу между результатами моделирования и результатами эксперимента. Такая разница может быть вызвана следующими факторами:

- несоответствующие значения индикаторного и механического КПД испытуемого двигателя К4М;
- вероятность несоответствия топлива ГОСТу;
- расчет лобового сопротивления был приблизительным;
- КПД трансмиссии согласно справочным материалам;
- погрешность измерений;
- непрофессионализм испытателей.

В процессе обработки данных были приняты следующие допущения: необходимость отклонения от равномерного движения в процессе проведения эксперимента в связи с возникающими дорожными препятствиями; сила сопротивления подъему не была учтена.

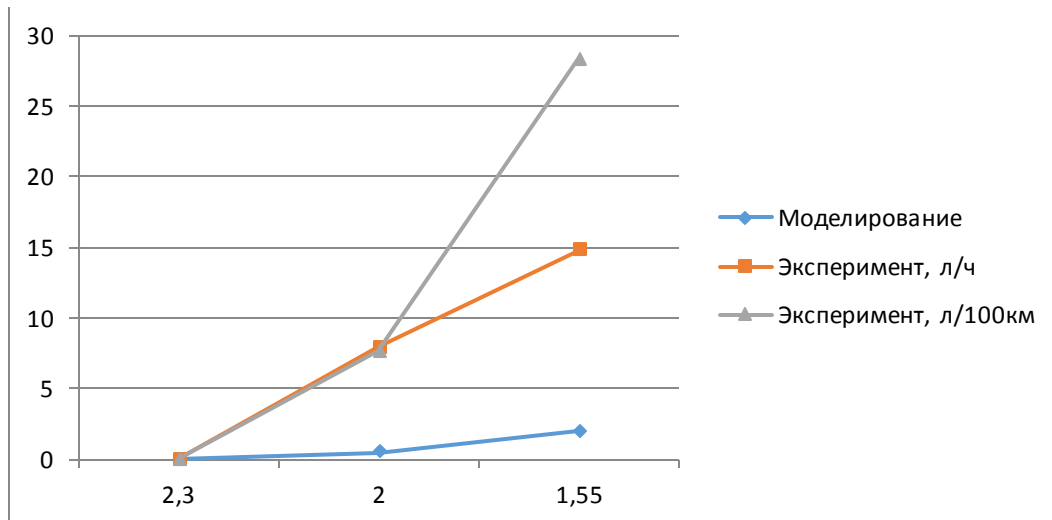


Рис. 9. Графическое изображение зависимости расхода топлива от давления в шинах.

В результате проделанной работы было проведено 6 заездов. Был смоделирован эксперимент в программе MATLABSimulink. По результатам проделанной работы можно однозначно сказать, что уменьшение давления в шинах ведет к повышению расхода топлива.

Виртуальный эксперимент в среде MATLABSimulink имеет право на существование, но требует совершенствования и определения ключевых коэффициентов, связанных с работой двигателя и автомобиля в целом для получения более близких результатов к реальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате экспериментов была подтверждена справедливость разработанной методики, продемонстрировано, что оптимальные для езды по асфальту значения давления находятся в пределах двух бар, также при таком давлении, шины равномерно изнашиваются. При большем давлении в шинах, снижается расход топлива, такую динамику можно увидеть на графике, но при постоянной езде будет сильнее износ шин, комфортность езды будет низкой.

Список литературы

1. Иванов, А.М. Разработка дополнительных сервисов с использованием интерфейса Vehicle-to-Person (V2P) / А.М. Иванов, С.С. Шадрин // Автотранспортное предприятие. - 2014. - № 9. - С. 16-18.
2. Технические характеристики автомобиля RenaultFluence. - URL: https://www.drom.ru/catalog/renault/fluence/g_2009_1253/ (Дата обращения: 21.11.2020).
3. 8700.00 РД Методика расчета норм расхода горюче-смазочных материалов. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200082908> (Дата обращения: 21.11.2020).
4. 4. Двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов в 3 кн. / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.; под ред. В.Н. Луканина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – Кн. 1. Теория рабочих процессов. – 479 с.
5. ГОСТ 2084-67 Бензины автомобильные. Технические условия (с Изменениями N 1-6, с Поправкой). - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001366> (Дата обращения: 21.11.2020).
6. Литвинов, А.С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов / А.С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
7. Хусаинов, А.Ш. Эксплуатационные свойства автомобиля: учебное пособие для студентов направления «Наземные транспортно-технологические комплексы» по профилю 190100.62 – Автомобиле- и тракторостроение / А. Ш. Хусаинов. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 109 с.

References

1. Ivanov, A.M., Shadrin S.S. *Avtotransportnoye predpriyatiye*, 2014, no. № 9, pp. 16-18.
2. URL: https://www.drom.ru/catalog/renault/fluence/g_2009_1253/
3. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200082908>
4. Lukanin V.N., Morozov K.A., Khachiyan A.S. i dr. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: v 3 kn, Kn. 1. Teoriya rabochikh protsessov* (Internal combustion engines: in 3 vols, book. 1. Theory of work processes), Moscow, Vysshaya shkola, 2005, 479 p.
5. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001366>
6. Litvinov A.S., Farobin YA. Ye. *Avtomobil'. Teoriya ekspluatatsionnykh svoystv* (Car. Theory of operational properties), Moscow Mashinostroyeniye, 1989, 240 p.
7. Khusainov A.SH. *Ekspluatatsionnyye svoystva avtomobilya* (The operational properties of the car), Ul'yanovsk, UlGTU, 2011, 109 p.

Рецензент: Н.И. Баурова, д-р техн. наук, проф. МАДИ