

УДК 629.331

ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА АВТОМОБИЛЯ VOLKSWAGEN TIGUAN

Алабин Евгений Николаевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, fclm0@mail.ru

Атанов Егор Константинович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, e.atanov@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается методика расчета крутильных колебаний коленчатого вала автомобиля Volkswagen Tiguan. Для расчета крутильных колебаний используется программа MathCAD. Описывается программный комплекс, используемый для расчета крутильных колебаний. Производится расчет основных частот и форм крутильных колебаний. В статье представлены графически формы колебаний, а также рассчитаны резонансные частоты вращения коленчатого вала.

Ключевые слова: Volkswagen Tiguan; крутильные колебания; двухмассовый маховик; MathCAD.

INVESTIGATION OF TURNING OSCILLATIONS OF THE CRANKSHAFT OF THE VOLKSWAGEN TIGUAN CAR

Alabin Evgeny N., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, fclm0@mail.ru

Atanov Egor K., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, e.atanov@mail.ru

Abstract. The article discusses the method of calculating torsional vibrations of the crankshaft of a Volkswagen Tiguan car. To calculate torsional vibrations, the MathCAD program is used. The software package used to calculate torsional vibrations is described. The calculation of the main frequencies and forms of torsional vibrations. The article presents graphically the forms of vibrations, and also calculates the resonant frequencies of rotation of the crankshaft.

Keywords: Volkswagen Tiguan; torsional vibrations; dual-mass flywheel; MathCAD

Введение

Работа посвящена расчету крутильных колебаний коленчатого вала автомобиля Volkswagen Tiguan[1]. Периодические процессы

воспламенения в 4-х тактном двигателе внутреннего сгорания вызывают неравномерность крутящего момента.

Когда частота собственных крутильных колебаний совпадает с частотой, которая добавляется от возвратно-поступательно движущихся масс, двигатель начинает работать в резонансном режиме. Коленчатый вал деформируется и ломается. Решение этой проблемы – компьютерный расчет, который позволяет выявить различные недочеты и в дальнейшем подобрать необходимый демпфер крутильных колебаний. Цель данной работы: привести крутильную систему к эквивалентной для последующего расчета собственных частот форм крутильных колебаний.

Описание объекта исследования

В качестве исследуемого автомобиля использовался Volkswagen Tiguan. Основные характеристики автомобиля представлены на рисунке 1.

Volkswagen Tiguan в первом поколении появился на рубеже 2007-2008 годов и прожил до 2016 года, пережив в 2011 году рестайлинг. Благодаря пресловутой силе немецкого бренда и начинавшейся популяризации кроссоверов модель оказалась очень популярной в России, несмотря на кризисы тех лет. Так что сегодняшнее предложение на вторичном рынке очень богатое.

Рис. 1. Характеристики автомобиля Volkswagen Tiguan 1.4 TSI

Общие

- Тип кузова внедорожник
- Количество дверей 5
- Количество мест 5
- Класс автомобиля J (кроссовер)
- Положение руля слева
- Страна производитель Германия
- Выпуск с, месяц/год 5/2011

Двигатель внутреннего сгорания

- Объем двигателя, куб. см 1390
- Мощность, л.с./кВт/об мин 150/110/5800
- Крутящий момент, Нм/об мин 240/4000
- Наддув турбонаддув
- Расположение двигателя спереди, поперечно
- Расположение цилиндров L4
- Система подачи топлива инжектор, распределенный впрыск топлива
- Клапанов на цилиндр 4
- Марка топлива - (Россия)

Трансмиссия

- Тип привода постоянный на все колеса
- Тип КПП механика 6 ст.

Тормозная система

- Передние тормоза дисковые
- Задние тормоза дисковые

Эксплуатационные показатели

- Разгон до 100 км/час, с 9,6
- Максимальная скорость, км/час 192
- Расход, л на 100 км (городской цикл) (механика) 10,1
- Расход, л на 100 км (загородный цикл) (механика) 6,7
- Расход, л на 100 км (смешанный цикл) (механика) 8,0
- Расход, л на 100 км (городской цикл) (автомат) 0,0
- Расход, л на 100 км (загородный цикл) (автомат) 0,0
- Расход, л на 100 км (смешанный цикл) (автомат) 0,0

Размеры

- Длина, мм 4426
- Ширина, мм 1809
- Высота, мм 1703
- Клиренс, мм 200
- Колесная база, мм 2604
- Колея колес спереди, мм 1569
- Колея колес сзади, мм 1571
- Снаряженная масса, кг 1621
- Полная масса, кг 2170
- Объем багажника, л 470/1510
- Объем топливного бака, л 64

Проблема в том, что новая модель для этой марки оказалась технически «сырой», а потому имела массу проблем. Одна из самых известных - неудачная конструкция и прошивка блока управления системой ABS, из-за которых при определенных условиях Tiguan мог оказаться без тормозов. Говорить в ту пору про нарекания на передовые моторы TSI и коробки DSG даже не стоит. Изображение объекта исследования на рисунке 2.



Рис. 2. Объект испытаний Volkswagen Tiguan 1.4 TSI

Описание пакетного продукта MathCAD

Для расчета крутильных колебаний будем использовать программу MathCAD. MathCAD - это универсальный математический пакет, предназначенный для выполнения инженерных и научных расчетов.[3]

Основное преимущество данного пакета – естественный математический язык, на котором формируются решаемые задачи. Объединение текстового редактора с возможностью использования общепринятого математического языка позволяет нам получить готовый итоговый документ. Пакет обладает широкими графическими возможностями, расширяемыми от версии к версии. Практическое применение пакета существенно повышает эффективность интеллектуального труда.

Расчет основных частот и форм свободных крутильных колебаний в среде MathCAD

В качестве исходных данных для расчета крутильных колебаний нашего автомобиля выбраны следующие показатели (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные для расчета крутильных колебаний

Число цилиндров	4
Тактность	4
Диаметр цилиндра, м	0.745
Ход поршня, м	0.8
Номинальная частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	6000
Мощность, кВт	110.3

Расчет основных частот и форм свободных крутильных колебаний в среде MathCAD

Сложную действительную систему кривошипного механизма необходимо заменить упрощенной, состоящей из одного или нескольких цилиндрических валов с насаженными на них дисками, то есть сосредоточенными массами (рис.3).

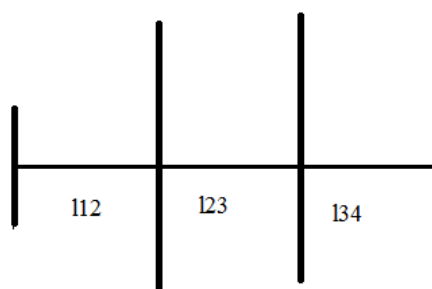


Рис. 3. Эквивалентная схема расчетной системы

Здесь l_{12} , l_{23} , l_{34} - длины соответствующих участков вала. Ниже будут представлены фрагменты из программы MathCAD.

Крутильные колебания можно измерить непосредственно с помощью датчика торсиографа, устанавливаемого на носок коленчатого вала. Такие замеры являются достаточно сложной задачей, как в части места установки датчика, обеспечения токосъёма сигнала с вращающегося коленчатого вала, так и в части обработки сигнала.

Далее проводим расчет, используя рабочее пространство MathCAD.
(рис.4)

Mathcad - [Расчет крутильных колебаний.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Обычный Arial 10 B I U

Мой веб-узел Go

Расчетная эквивалентная система:

$$J_1 := 0.0035 \quad I_{12} := 0.09 \quad D_k := 0.055 \quad d_k := 0$$

$$J_2 := 0.00075 \quad I_{23} := 0.07$$

$$J_3 := 0.00993 \quad I_{34} := 0.09 \quad J_p := \frac{\pi}{32} \cdot D_k^4 = 8.984 \times 10^{-7} \quad G := 0.8 \cdot 10^{11}$$

$$J_4 := 0.312$$

Жесткости:

$$c_{12} := \frac{G \cdot J_p}{I_{12}} = 7.985 \times 10^5$$

$$c_{23} := \frac{G \cdot J_p}{I_{23}} = 1.027 \times 10^6$$

$$c_{34} := \frac{G \cdot J_p}{I_{34}} = 7.985 \times 10^5$$

Матрица инерций:

$$J := \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix}$$

Матрица жесткостей:

$$C := \begin{pmatrix} c_{12} & -c_{12} & 0 & 0 \\ -c_{12} & c_{12} + c_{23} & -c_{23} & 0 \\ 0 & -c_{23} & c_{23} + c_{34} & -c_{34} \\ 0 & 0 & -c_{34} & c_{34} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7.985 \times 10^5 & -7.985 \times 10^5 & 0 & 0 \\ -7.985 \times 10^5 & 1.825 \times 10^6 & -1.027 \times 10^6 & 0 \\ 0 & -1.027 \times 10^6 & 1.825 \times 10^6 & -7.985 \times 10^5 \\ 0 & 0 & -7.985 \times 10^5 & 7.985 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Матрица инерционных членов:

$$I := \begin{pmatrix} J_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.5 \times 10^{-3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.5 \times 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9.93 \times 10^{-3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.312 \end{pmatrix}$$

Рис. 4. Фрагмент рабочего пространства MathCAD

В результате проделанных расчетов получаем формы первых четырех колебаний (рис.5).

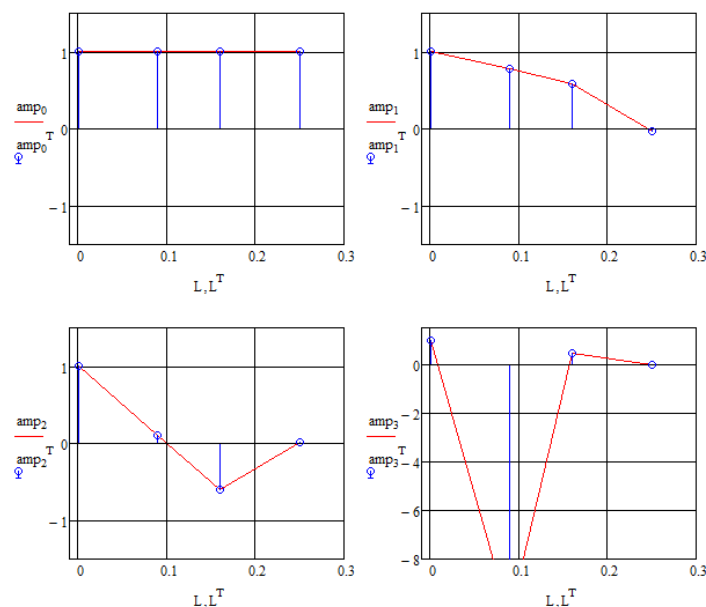


Рис. 5. Формы собственных колебаний

Резонансные частоты вращения коленчатого вала можно представить в виде таблицы, по которой можно будет определить, какие из них попадут в рабочий диапазон работы двигателя (табл. 2).

Таблица 2

Резонансные частоты вращения коленчатого вала

	1	2	3	4
1	0	$9.597 \cdot 10^3$	$2.913 \cdot 10^4$	$1.16 \cdot 10^5$
2	0	$4.799 \cdot 10^3$	$1.456 \cdot 10^4$	$5.801 \cdot 10^4$
3	0	$3.199 \cdot 10^3$	$9.708 \cdot 10^3$	$3.867 \cdot 10^4$
4	0	$2.399 \cdot 10^3$	$7.281 \cdot 10^3$	$2.901 \cdot 10^4$
5	0	$1.919 \cdot 10^3$	$5.825 \cdot 10^3$	$2.32 \cdot 10^4$
6	0	$1.6 \cdot 10^3$	$4.854 \cdot 10^3$	$1.934 \cdot 10^4$
7	0	$1.371 \cdot 10^3$	$4.161 \cdot 10^3$	$1.657 \cdot 10^4$
8	0	$1.2 \cdot 10^3$	$3.641 \cdot 10^3$	$1.45 \cdot 10^4$
9	0	$1.066 \cdot 10^3$	$3.236 \cdot 10^3$	$1.289 \cdot 10^4$
10	0	959.704	$2.913 \cdot 10^3$	$1.16 \cdot 10^4$

Заключение

В ходе проделанной работы мы провели расчет первого этапа в рамках исследования крутильных колебаний коленчатого вала, а именно: определили частоты и формы колебаний приведенной эквивалентной системы крутильно-колеблющейся системы коленчатого вала исследуемого двигателя с использованием программы MathCAD. В дальнейшем, по полученным результатам можно будет найти опасные сечения коленчатого вала и значения действующих касательных напряжений в них. При необходимости назначить специальные меры по борьбе с крутильными колебаниями (установка демпферов и т.п.).

Литература

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. Шадрин, С.С. Использование смартфонов в образовательном процессе МАДИ при проведении дорожных испытаний автотранспортных средств / С.С. Шадрин, А.М. Иванов // Известия ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы». Вып. 9: Межвуз. сб. науч. ст. / Волгоград: ВолгГТУ, 2014. - № 19 (146). - С. 81-85.
3. Shadrin, S.S. Usage of smartphones in the education process of madi during vehicle road tests conduction / S.S. Shadrin, A.M. Ivanov, V. M. Prikhodko // Modern Applied Science. - 2015. - Vol. 9, No. 1. - P. 83-88.
4. Литвинов, А.С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. - М.: Машиностроение, 1989. - 240 с.: ил.
5. Официальный сайт программы MathCAD. 2019. - URL: <https://www.mathcad.com/> (Дата обращения 01.11.2019).

References

1. Ivanov A.M., SHadrin S.S. Avtotransportnoe predpriyatie, 2014, no 9, pp. 16-18.
2. SHadrin S.S., Ivanov A.M. Izvestiya VolgGTU. Seriya «Nazemnye transportnye sistemy». Vyp. 9: Mezhvuz. sb. nauch. st., 2014, no 19 (146), pp. 81-85.
3. Shadrin S.S., Ivanov A.M., Prikhodko V. M. Usage of smartphones in the education process of madi during vehicle road tests conduction // Modern Applied Science. - 2015. - Vol. 9, No. 1. - P. 83-88.

4. Litvinov A.S., Farobin YA.Ye. *Avtomobil': teoriya ekspluatatsionnykh svoystv* (Car: theory of operational properties), Moscow, Mashinostroyeniye, 1989, 240 p.
5. URL: <https://www.mathcad.com/> (01.11.2019).