

Моделирование трансмиссии автомобиля с помощью программы simulink

А.А. Карпов¹, М.А. Карпов¹, О.В. Судейко¹, М.В. Сидоров², В.А. Горликов²

¹ *Калужский филиал «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Калуга*

² *Калужский филиал «Российский государственный аграрный университет - МСХА им. А.К. Тимирязева», Калуга*

Аннотация: В статье рассматривается использование математического моделирования трансмиссии автомобиля в среде Simulink. Проведены исследования влияния отдельных факторов трансмиссии на функциональные параметры автомобиля КамАЗ 4308. Дифференциальные уравнения, описывающие работу трансмиссии, решаются матричным способом, позволяют изучить динамику автомобиля с учетом моментов инерции двигателя, трансмиссии и отдельных колес автомобиля.

Ключевые слова: трансмиссия, колесная машина, сцепление, дифференциал, передаточное число, имитационное моделирование, максимальная скорость.

Введение. В наши дни при проектировании автомобилей все чаще и чаще применяются компьютерное проектирование автомобилей, в частности, внедряются имитационное моделирование в среде matlab/simulink [1, 2]. Такой подход позволяет минимизировать затраты на разработку автомобилей, рассмотреть различные варианты конструкций и обоснованно выбрать приемлемые варианты конструкции. Требования к математической модели трансмиссии транспортного средства определяются совокупностью задач, при решении которых должна быть получена необходимая информация для оценки эксплуатационных качеств [3, 4].

Цель работы: Провести исследование влияния отдельных факторов трансмиссии на функциональные параметры автомобиля КамАЗ 4308.

Методы. Рассмотрим трансмиссию транспортного средства с приводом на одни задние колеса (одна ось). При этом раздаточная коробка передач отсутствует (рис. 1) [5, 6]. Для имитации модели трансмиссии будем создавать модели сцепления, коробки переключения передач и модели, имитирующей работу двигателя, в программе MATLAB/Simulink блок (рис.

2). Блок, который имитирует работу сцепления, должен выполнять функции по [7, 8]: а) передаче крутящего момента от двигателя к коробке передач; б) разрыву потока мощности в момент переключения (в этот момент автомобиль движется по инерции); в) плавному нарастанию крутящего момента при замыкании фрикционных дисков.

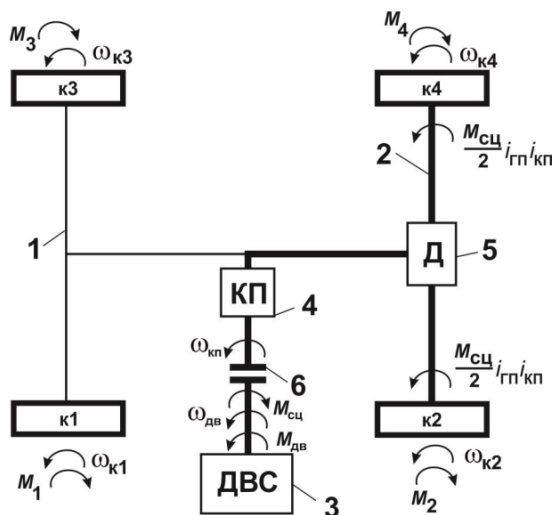


Рис. 1 – Схема дифференциальной трансмиссии с приводом только на заднюю ось: 1, 2 – передняя и задняя оси; 3 – двигатель внутреннего сгорания (ДВС); 4 – коробка передач (КП); 5 – главная передача с заблокированным мелкоколесным дифференциалом; 6 – сцепление; к1...к4 – номера колес; M_i – моменты сопротивления на i -м колесе; $M_{сц}$ – крутящий момент, развиваемый сцеплением; $M_{дв}$ – крутящий момент, развиваемый двигателем; $i_{кп}$ – передаточное отношение коробки передач; $i_{гп}$ – передаточное отношение главной передачи; $\omega_{кi}$ – угловая скорость вращения i -го колеса; $\omega_{кп}$ – угловая скорость вращения первичного вала коробки передач; $\omega_{дв}$ – угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя

Динамическая модель трансмиссия имеет следующей вид системы уравнений [9, 10]:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{\kappa} \overset{\square}{\omega}_{\kappa 1} = -M_1 \\ \overset{\square}{\omega}_{\kappa 2} = \frac{\overset{\square}{\omega}_{\kappa n}}{i_{\text{КП}} i_{\text{ГП}}} \\ J_{\kappa} \overset{\square}{\omega}_{\kappa 3} = -M_3 \\ \overset{\square}{\omega}_{\kappa 4} = \frac{\overset{\square}{\omega}_{\kappa n}}{i_{\text{КП}} i_{\text{ГП}}} \\ J_{\text{ТР}} \overset{\square}{\omega}_{\kappa n} = M_{\text{сц}} - \frac{M_2 + M_4}{i_{\text{КП}} i_{\text{ГП}}} \\ J_{\text{дв}} \overset{\square}{\omega}_{\text{дв}} = h_{\text{др}} M_{\text{дв}} - M_{\text{сц}} \end{array} \right.$$

где $J_{\text{ТР}}$ - момент инерции участка трансмиссии от выходного вала коробки передач до задних ведущих колес, приведенный к выходному валу коробки передач; J_{κ} - момент инерции колеса; $M_1, M_{\text{дв}}$ — крутящий моменты, передаваемые колесом и двигателем; $M_{\text{сц}}$ - крутящий момент, передаваемый сцеплением $\overset{\square}{\omega}_{\kappa}$ — угловое ускорение вращения κ -го колеса; $\overset{\square}{\omega}_{\text{дв}}$ — угловое ускорение вращения вала двигателя; $i_{\text{КП}}$ — передаточное отношение коробки передач; $i_{\text{ГП}}$ - передаточное отношение главной передачи; $h_{\text{др}}$ — положение органа управления подачей топлива, ($h_{\text{др}} = 0 \dots 1$) [7].

Крутящий момент $M_{\text{сц}}$, который передается сцеплением, исчисляется из выражения [7, 9]:

$$M_{\text{сц}} = F_{\text{тр}} \cdot \frac{(D_{\text{накл}}^3 - d_{\text{накл}}^3)}{2,82 \cdot (D_{\text{накл}}^2 - d_{\text{накл}}^2)}$$

где $F_{\text{тр}}$ — сила трения между дисками муфты; $r_{\text{эф}}$ — эффективный радиус трения; $D_{\text{накл}}$, $d_{\text{накл}}$ — соответственно внешний и внутренний диаметры фрикционных накладок сцепления.

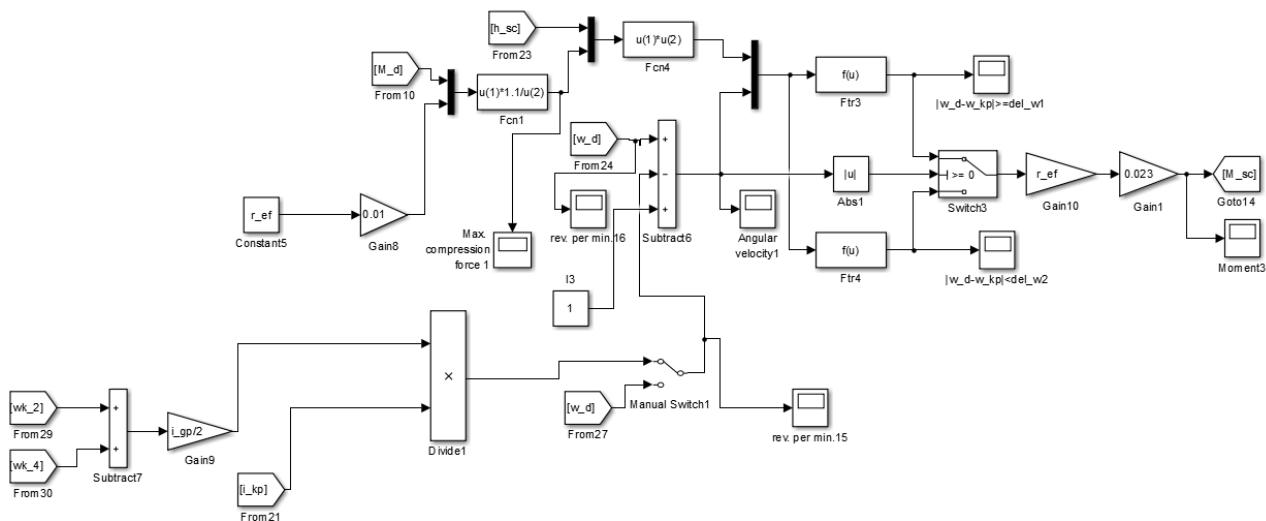


Рис. 2 – Схема расчета момента сцепления

Блок по формированию крутящего момента двигателя (рис. 3), на вход которого подается угловая скорость коленчатого вала двигателя. Затем при помощи блока «Gain» угловая скорость преобразуется в частоту вращения. Блок «Saturation» является ограничителем, в нем заданы границы частот в об/мин. При помощи блока «Motor» формируется внешняя характеристика двигателя.

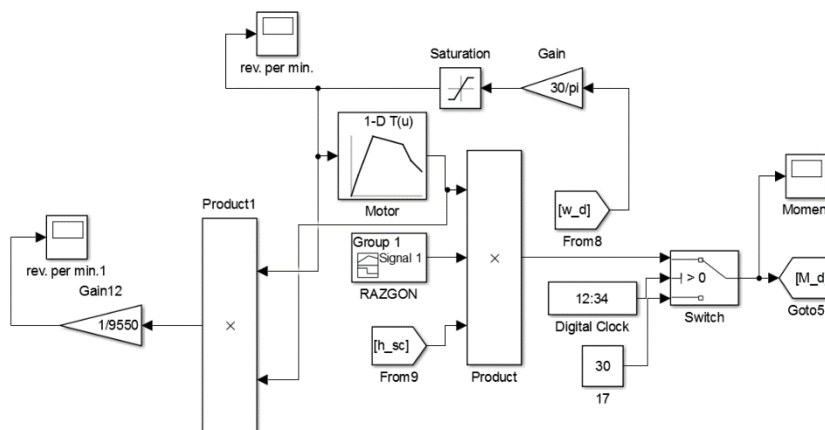


Рис. 3 – Общий вид цепочки блоков для определения крутящего момента

Результаты. Использование разработанной программы трансмиссии позволяет имитировать переключение передач с разрывом потока мощности от двигателя за счет использования сцепления. При выключении сцепления

наблюдается резкое падение значения крутящего момента, который передается от двигателя к трансмиссии (рис. 4).

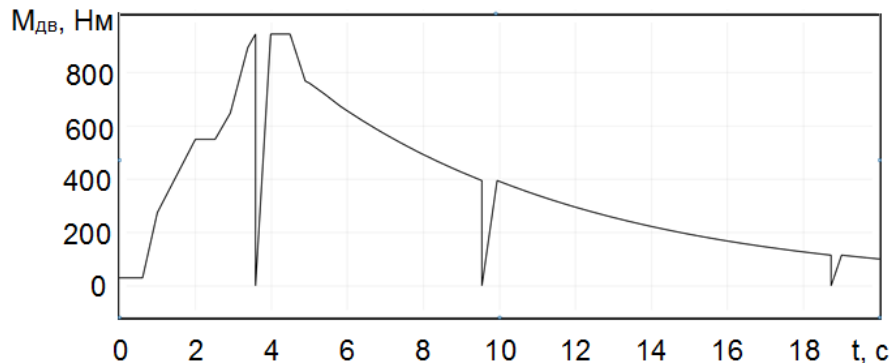


Рис.4 - Изменение крутящего момента на входном валу коробки передач

Функциональные параметры трансмиссии (в первую очередь скорость) зависят от ряда факторов. Одним из факторов является изменение передаточных чисел коробки передач [1, 9]. При увеличении значений передаточных чисел (рис. 5) максимальная скорость транспортного средства снижается до 95 км/ч, а при снижении значений передаточных чисел, скорость транспортного средства до 108 км/ч. Повышение частоты вращения двигателя с 1700 об/мин до 2000 об/мин (15%) привело к увеличению максимальной скорости автомобиля на 15% и достигла 118 км/ч.

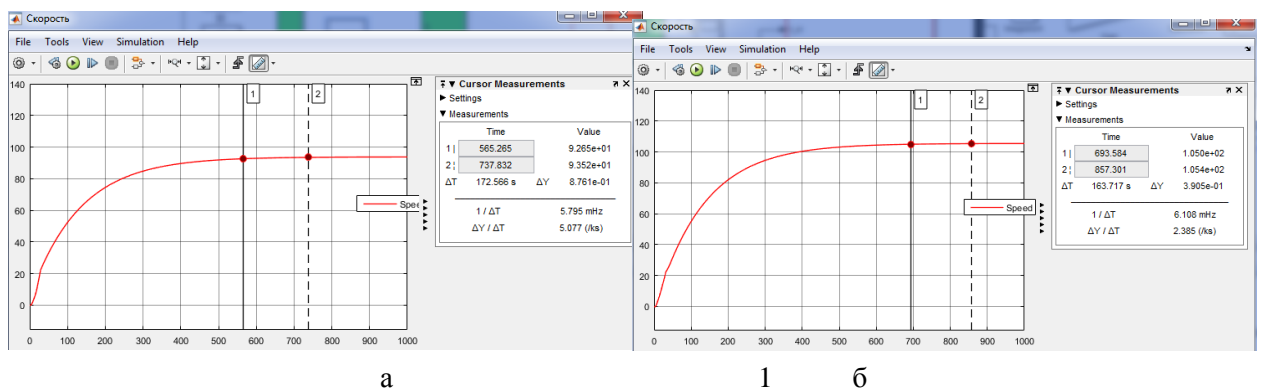


Рис. 5 – Изменение графика скорости при разных передаточных числах пятой передачи: а - $i_{kn5}=0.894$. б - $i_{kn5}=0.689$.

Заключение

Анализ полученных результатов показал, что полученная максимальная скорость транспортного средства равная 103 км/ч соответствует скорости при заводской комплектации трансмиссии и двигателя. При увеличении передаточного числа пятой передачи с $i_{кп5}=0.724$ до $i_{кп5}=0.894$ максимальная скорость автомобиля КамАЗ 4308 с 103 км/ч падает до 95 км/ч. При уменьшении передаточного числа пятой передачи с $i_{кп5}=0.724$ до $i_{кп5}=0.689$ скорость автомобиля увеличивается с 103 км/ч до 108 км/ч. Повышение частоты вращения двигателя с 1700 об/мин до 2000 об/мин (15%) привело к увеличению максимальной скорости автомобиля на 15% и достигла 118 км/ч.

Литература

1. Сидоров М.В., Сидоров В.Н. Имитационное моделирование работы трансмиссии трактора МТЗ-82 в среде Simulink // Инженерный вестник Дона. 2020. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/12y2020/6709.
2. Драгунов Г.Д., Власов Д.С., Юсупов А.А. Методика расчетно-экспериментального исследования трансмиссии автомобиля // Вестник ЮУрГУ, № 29, 2010. С. 84-88.
3. Жилейкин, М.М. Моделирование систем транспортных средств. / М. М. Жилейкин. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017, 97 с. URL: e.lanbook.com/book/103322.
4. Полунгян, А.А. Математическая модель динамики трансмиссии колесной машины при движении по твердой неровной дороге. - Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2003, № 4, с. 15–25. URL: vestnikmach.ru/articles/328/html/files/assets/basic-html/page1.html.
5. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства: учебник. – М.: ИнфаМ, 2014. - 506 с.

6. Туренко, А.Н., Шуклинов, С.Н., Вербицкий, В.И. Оценка работы трансмиссии автомобиля // Сб. науч. тр. ХНАДУ «Автомобильный транспорт», 2017. – 19 с. URL: studmed.ru/turenko-an-klimenko-vi-saraev-av-avtotehnicheskaya-ekspertiza_35da00bad01.html.
7. Ларин В.В. Теория движения колесных машин: учебник. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. - 391 с.
8. Афанасьев, Б.А. Белоусов, Б.Н. Гладов, Г.И, Жеглов, Л.Ф., Зунов, В.Н., Полунгян, А.А. Проектирование полноприводных колесных машин: В 3 т. Т1: учеб. для ВУЗов. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008 -496с.
9. Сидорова А.В., Степин П.И., Сидоров В.Н. Имитационное моделирование колебаний центра масс колесной машины с помощью программы Simulink // Инженерный вестник Дона. 2020. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395.
10. Сидоров М.В., Сидорин Р.В. Обоснование массы пикапа-тягача из условия сцепления с дорогой при изменении угла подъема // Международный технико-экономический журнал, 2020. № 6. С. 50 - 55.

References

1. Sidorov M.V., Sidorov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/12y2020/6709
 2. Dragunov G.D., Vlasov D.S., YUsupov A.A. Metodika raschetno-eksperimental'nogo issledovaniya transmissii avtomobilya. Vestnik YUUrGu, № 29, 2010. P. 84.
 3. Zhilejkin, M.M. Modelirovanie sistem transportnyh sredstv [Modeling of vehicle systems]. Moskva, Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2017, 97 p. URL: e.lanbook.com/book/103322.
 4. Polungyan, A.A. Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie, 2003, № 4, pp. 15-25. URL: vestnikmach.ru/articles/328/html/files/assets/basic-html/page1.html.
-



5. Kut'kov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svojstva: uchebnik. [Tractors and cars. Theory and technological properties: textbook]. M.: Infa-M, 2014. 506 p.
6. Turenko, A.N. SHuklinov S.N. Verbickij, V.I. Sb. nauch. tr. HNADU «Avtomobil'nyj transport», 2017. 19 p. URL: studmed.ru/turenko-an-klimenko-vi-saraev-av-avtotekhnicheskaya-ekspertiza_35da00bad01.html.
7. Larin V.V. Teoriya dvizheniya kolesnyh mashin: uchebnik. [Theory of motion of wheeled vehicles: textbook]. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2010. 391 p.
8. Afanas'ev B.A., Belousov B.N., Gladov G.I., Zheglov L.F., Zunov V.N., Polungyan A.A. Proektirovanie polnoprivodnyh kolesnyh mashin [Design of all-wheel drive wheeled vehicles]: V 3 t. T1: ucheb. dlya VUZov. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2008. 496p.
9. Sidorova A.V., Stepin P.I., Sidorov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395.
10. Sidorov M.V., Sidorin R.V. Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal, 2020. № 6. pp. 50 - 55.