

Исследование работы двигателя трактора класса 1,4 в программе Simulink

М.В. Сидоров¹, С.В. Тумарев¹, В.Н. Сидоров²

¹ *Калужский филиал, «Российский государственный аграрный университет - МСХА им. А.К. Тимирязева», Калуга*

² *Калужский филиал, «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Калуга*

Аннотация: Многочисленные исследования работы тракторного двигателя в условиях выполнения трактором технологических операций показали, что в результате колебаний момента сопротивления на входе в двигатель его показатели ухудшаются. Появление имитационных методов моделирования позволяет провести всесторонние исследования динамических процессов тракторных двигателей. Построение моделей в среде Simulink выполняется пока только узкими специалистами, однако имеет большой потенциал для исследования средств механизации сельского хозяйства.

В статье приводится методика и результаты моделирования динамических процессов на примере двигателя трактора класса 1,4 в среде Simulink. Тракторный двигатель представлен в виде многоуровневой блок-схемы, в которой каждая подсистема имеет свои подсистемы или функциональные зависимости. С использованием среды Simulink, получены графики изменения момента сопротивления на входе в двигатель, угловой скорости коленчатого вала и хода рейки топливного насоса. Моделирование работы двигателя проводилось на трех режимах: номинальном, регуляторном и корректорном участках при синусоидальном моменте сопротивления на входе в двигатель. Применение программной среды Simulink позволяет получить визуализацию результатов моделирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование, тракторный двигатель, момент сопротивления, ход рейки, угловая скорость.

Введение. Многочисленные исследования работы тракторного двигателя в условиях выполнения трактором технологических операций показали, что в результате колебаний момента сопротивления на входе в двигатель его показатели отличаются от работы в статических условиях в сторону их ухудшения [1-3] и при нагрузке в виде гармонических колебаний объясняются нелинейностью регуляторной характеристики двигателя [4].

Появление имитационных методов моделирования позволяет провести глубокие и всесторонние исследования динамических процессов тракторных двигателей, однако эта возможность остается пока только у узких специалистов [5-7].

Цель работы: проверка влияния нелинейности регуляторной характеристики дизеля трактора класса 1,4 на изменение траектории хода рейки с использованием среды Simulink.

Методы. Исследования проводились посредством имитационного моделирования с использованием прикладной программы Simulink [8]. Блок-схема двигателя трактора класса 1,4, оснащенного регулятором, была представлена двумя подсистемами: "Двигатель" и "Регулятор" (рис.1.). Подсистема "Двигатель" в свою очередь состоит из двух подсистем: "Движение коленчатого вала" и "Крутящий момент двигателя", отражающих механизм преобразования входных координат в выходные [4, 9].

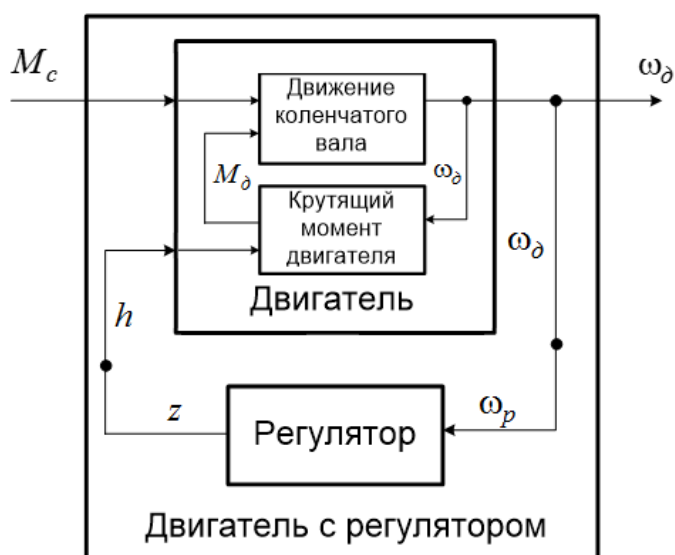


Рис. 1. - Блок-схема математической модели двигателя

В подсистеме "Движение коленчатого вала" (при отсутствии буксования муфты) использована известная зависимость [4]:

$$J_{\delta} (d\omega_1/dt) = M_{\delta} - M_c$$

где M_{δ} - момент двигателя; M_c - входной момент; ω_1 - угловая скорость двигателя; J_1 - суммарный момент инерции двигателя и муфты сцепления.

Подсистема "Крутящий момент двигателя" использована полиномом второго порядка регрессии вида [9, 10]:

$$M_{\partial} = a_{\partial 0} + a_{\partial 1}\omega_1 + a_{\partial 2}\omega_1^2 + a_{\partial 3}h + a_{\partial 4}\omega_1h + a_{\partial 5}h^2,$$

где h - положения рейки подачи топлива.

В подсистеме "Регулятор" применены дифференциальное уравнение и функциональные зависимости [4, 9]:

$$m \frac{d^2h}{dt^2} + N \frac{dh}{dt} + E = A_u \omega_p^2;$$

$$E = E_{pez} = E_p + c_p h \text{ при } h \geq h_{ном};$$

$$E = E_{кор} = E_k + c_k h \text{ при } h \leq h_{ном};$$

$$A_u = A_{uo} + c_a h,$$

где m - масса движущихся частей топливного насоса и регулятора; ω_p - угловая скорость валика регулятора; N - коэффициент жидкостного трения; A_u - инерционный коэффициент; E - восстанавливающая сила пружины регулятора; E_p и E_k - коэффициенты, учитывающие начальные значения восстанавливающей силы пружин регулятора и корректора; c_p и c_k - коэффициенты жесткости пружин регулятора и корректора; c_a - коэффициент, инерционности; A_{uo} - начальное значение инерционного коэффициента.

В соответствии с блок-схемой (рис. 1), в прикладной программе Simulink была составлена структурная схема (рис. 2) в которой отдельные подсистемы представлены двумя блоками Subsystem [8].

В среде Simulink подсистема "Движение коленчатого вала" (рис. 3) представлена сумматором моментов, делителя и интегратора. В результате на выходе подсистемы "Движение коленчатого вала" получаем текущее значение угловой скорости коленчатого вала.

Подсистема "Крутящий момент двигателя" (рис. 4) описывает зависимость крутящего момента двигателя от угловой скорости двигателя и хода рейки топливного насоса в виде полинома второй степени.

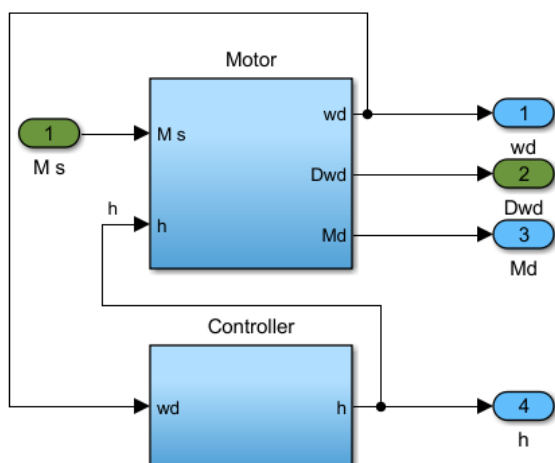


Рис. 2. - Структурная схема двигателя в прикладной программе Simulink

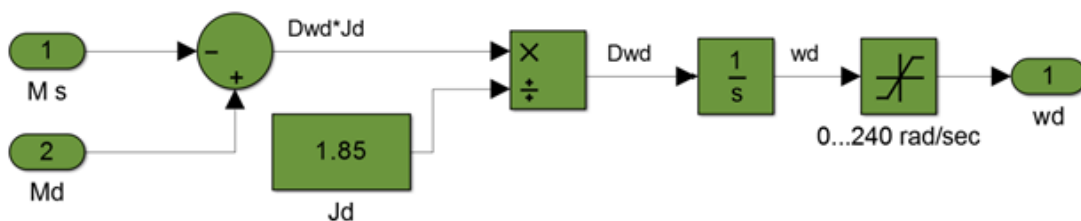


Рисунок 3 - Построение подсистемы "Движение коленчатого вала" в программе Simulink

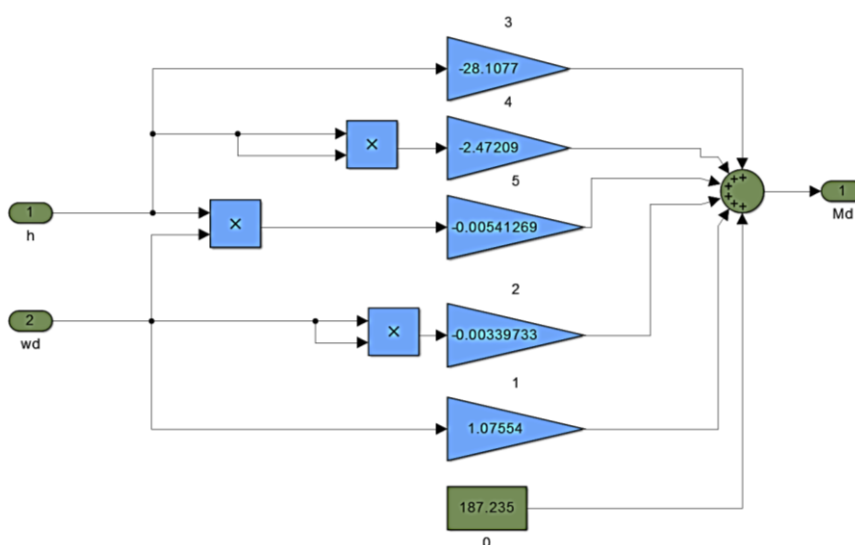


Рис. 4. - Структурная схема подсистемы "Крутящий момент двигателя"

Подсистема "Регулятор" состоит в свою очередь из трех подсистем, структурные схемы которых представлены на рис. 5.

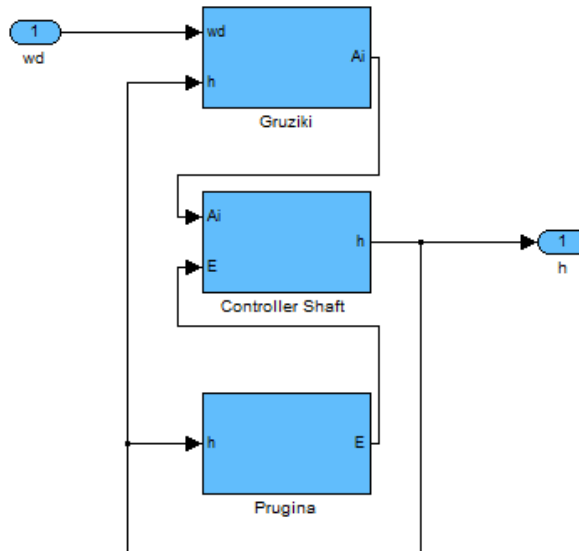
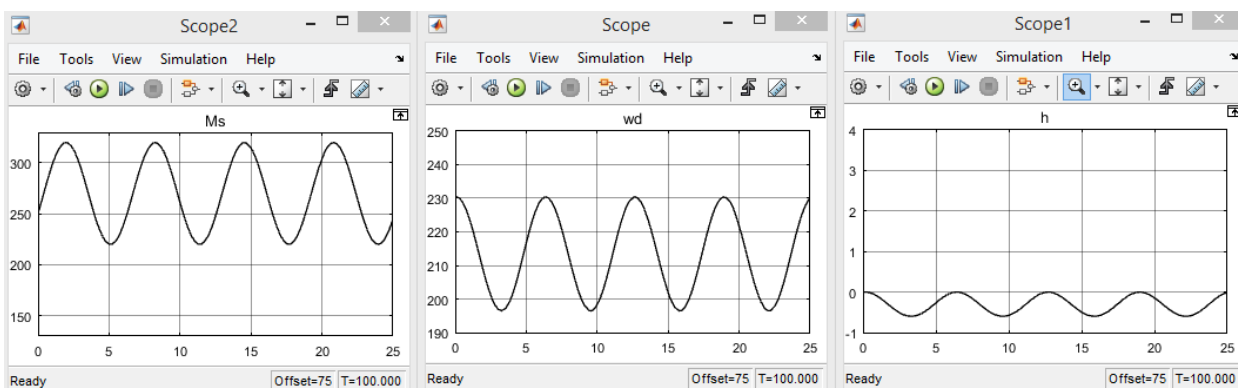


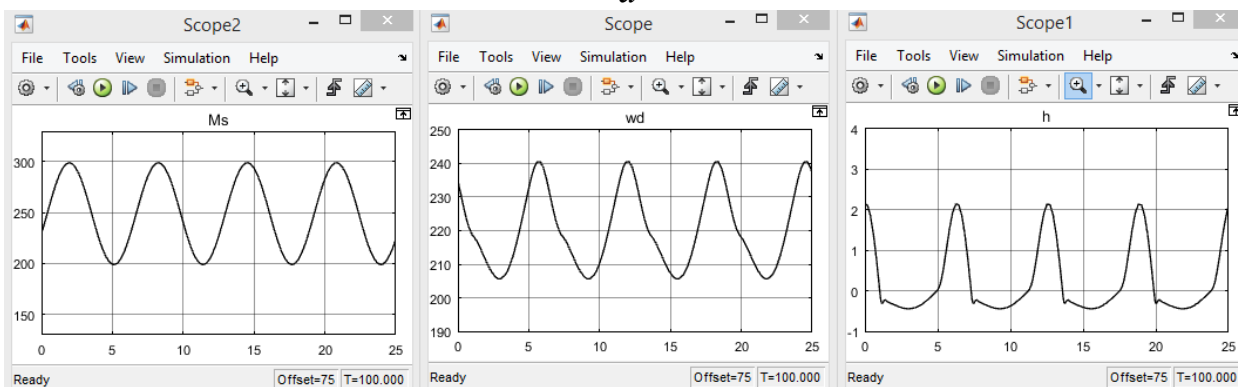
Рис. 5. - Структурная схема подсистемы "Регулятор"

Моделирование работы двигателя проводилось на трех режимах работы двигателя: номинальном режиме, регуляторном и корректорном участках при синусоидальном моменте сопротивления на входе в двигатель. Для этого задавались три средних значения момента сопротивления на входе двигателя с одинаковой амплитудой колебания, равной 50 Н*м с помощью блока Sine Wave.

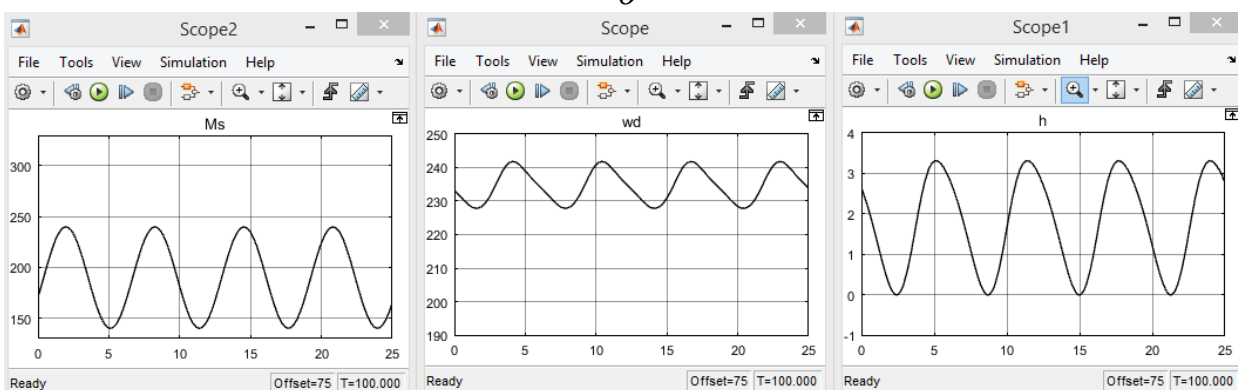
Результаты. Анализ полученных графиков позволяет отметить (рис. б), что при работе двигателя отдельно на корректорном (а) и регуляторных (с) участках угловая скорость коленчатого вала двигателя и ход реки топливного насоса сохраняют синусоидальный характер изменения во времени при синусоидальном характере момента сопротивления на входе в двигатель.



a



б



с

Рис. 6. - Результаты моделирования:
a – работа двигателя на корректорном участке; *б* – работа двигателя одновременно на корректорном и регуляторном участках и *с* - работа двигателя на регуляторном участке

Колебания угловой скорости на корректорном участке в три раза больше чем на регуляторном участке, в то же время колебания хода реки топливного насоса снижаются примерно во столько же раз. При работе двигателя одновременно на корректорном и регуляторном участках (*б*)

траектория изменения во времени угловой скорости коленчатого вала двигателя и хода реки топливного насоса значительно искажаются, носят периодический, но не синусоидальный и не симметричный характер. На графиках изменения во времени угловой скорости коленчатого вала двигателя и хода реки ярко выражены участки работы двигателя на корректорном и регуляторном участках.

Заключение

Использование имитационного моделирования в среде Simulink позволяет получить наглядное представление об изменении показателей двигателя во времени при различных характерах момента сопротивления на входе в двигатель.

Наличие нелинейности регуляторной характеристики дизеля приводит к искажению вида траектории изменения угловой скорости коленчатого вала двигателя и хода реки топливного насоса при работе двигателя вблизи номинального значения нагрузки при ее синусоидальном воздействии.

Литература

1. Болтинский В.Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке. М.: Сельхозгиз, 1949. 216 с.
2. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Колос, 1974. 480 с.
3. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допустимых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. Л.: Колос, Ленингр. отд-ние, 1978. 296 с.
4. Кутьков Г.М. Тяговая динамика трактора. М.: Машиностроение, 1980. 215 с.
5. 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/ (дата обращения: 23.03.2021).

6. 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.

7. Заруцкий С.А., Власенко Е.А. Автоматизация анализа данных экспериментальных исследований // Инженерный вестник Дона. 2019. № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753.

8. Жилейкин М.М., Котиев Г.О., Сарач Е.Б. Математические модели систем транспортных средств: методические указания. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 100 с. // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: e.lanbook.com/book/103321.

9. Сидоров М.В. Повышение эффективности использования машинно-тракторного агрегата за счет применения технологического модуля с ведущими колесами для трактора тягового класса 1,4: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2016. 153 с.

10. Ксеневиц И.П., Гуськов В.В., Бачеров И.Ф. и др. Тракторы: Проектирование, конструирование и расчет. Учебник. М.: Машиностроение, 1991. 554 с.

References

1. Boltinskij V.N. Rabota traktornogo dvigatelya pri neustanovivshejsya nagruzke. [Tractor engine operation at unsteady load]. М.: Sel`hozgiz, 1949. 216 p.

2. Iofinov S.A. E`kspluatatsiya mashinno-traktornogo parka. [Operation of the machine and tractor fleet]. М: Kolos, 1974. 480 p.

3. Ageev L.E. Osnovy` rascheta optimal`ny`x i dopustimy`x rezhimov raboty` mashinno-traktorny`x agregatov. [Basics for calculating the optimal and permissible operating modes of machine and tractor units]. L.: Kolos, Leningr. otd-nie, 1978. 296 p.

4. Kut`kov G.M. Tyagovaya dinamika traktora. [Traction dynamics of the tractor]. M.: Mashinostroenie, 1980. 215 p.
5. Sidorova A.V., Stepin P.I., Sidorov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395.
6. Sidorov M.V., Sidorin R.V. Mezhdunarodnyj tehniko-jekonomicheskij zhurnal, 2020. № 6. pp. 50 - 55.
7. Zaruckij S.A., Vlasenko E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753.
8. ZHilejkin M.M., Kotiev G.O., Sarach E.B. Matematicheskie modeli sistem transportnykh sredstv: metodicheskie ukazaniya. [Mathematical models of vehicle systems: guidelines]. M.: MGTU im. N.EH. Baumana, 2018. 100 p. Lan': ehlektronno-bibliotechnaya sistema. URL: e.lanbook.com/book/103321.
9. Sidorov M.V. Povy`shenie e`ffektivnosti ispol`zovaniya mashinno-traktornogo agregata za schet primeneniya texnologicheskogo modulya s vedushhimi kolesami dlya traktora tyagovogo klassa 1, 4 [Increasing the efficiency of using the machine-tractor unit due to the use of a technological module with driving wheels for a tractor of traction class 1.4] : dis. ... kand. texn. nauk. Voronezh, 2016. 153 p.
10. Ksenevich I.P., Gus'kov V.V., Bacherov I.F. i dr. Traktory: Proektirovanie, konstruirovaniye i raschet. Uchebnik. [Tractors: Design, construction and calculation. Textbook]. M.: Mashinostroenie, 1991. 554 p.