

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ГИБРИДНОГО ТРАКТОРА COMPUTER MODEL OF A HYBRID TRACTOR

Пиляев В.С., студент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I»

г. Воронеж, Россия

plaksher@gmail.ru

Pilyaev V.S., Student

FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University

named after Emperor Peter the Great»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: Представлена компьютерная модель гибридного трактора, построенная в среде программного комплекса мультифизического моделирования SimInTech, и предназначенная для исследования динамических свойств трактора. Эта модель может быть принята за базовую для разработки гибридных тракторов сельскохозяйственного назначения, поскольку все основные компоненты гибридного трактора представлены в виде отдельных независимых подсистем, связь между которыми осуществляется информационными сигналами.

Summary: A computer model of a hybrid tractor is presented, built in the environment of the SimInTech multiphysical modeling software package, and designed to study the dynamic properties of a tractor. This model can be taken as the basic one for the development of hybrid tractors for agricultural purposes, since all the main components of a hybrid tractor are represented as separate independent subsystems, the communication between which is carried out by information signals.

Ключевые слова: компьютерная модель, гибридный трактор, электропривод, аккумуляторная батарея, двигатель внутреннего сгорания, режим работы.

Keywords: computer model, hybrid tractor, electric drive, battery, internal combustion engine, operating mode.

Несмотря на существенный прогресс в развитии гибридных и электрических мобильных сельскохозяйственных машин, задачи исследования и разработки сельскохозяйственных гибридных тракторов остаются актуальными. Конструктивные схемы гибридных тракторов весьма разнообразны, но могут быть классифицированы на две группы: последовательные и параллельные схемы [1, 2].

Последовательная схема построения гибридного трактора характеризуется тем, что двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и двигатель электропривода как бы находятся на общем валу, что позволяет включать их порознь или одновременно, и в тоже время использовать тяговый электродвигатель в качестве генератора для подзарядки аккумуляторной батареи. Как было показано в работах [1, 3, 4] эффективным подходом к разработке гибридных тракторов является построение и исследование их компьютерных моделей с различными вариантами компоновки и алгоритмами управления.

Поскольку основными агрегатами гибридного трактора являются электропривод, дизельный двигатель, трансмиссия, ходовая часть и система управления, то его компьютерная модель должна быть комплексной, включающей в себя модели всех этих основных подсистем [5, 6]. С другой стороны, комплексная компьютерная модель должна иметь возможность к совершенствованию, усложнению, а самое главное – с минимальными затратами позволять заменять в ней модели подсистем электропривода, дизельного двигателя и системы управления для обеспечения возможности выбора различных конструктивных вариантов и алгоритмов управления.

На рисунке 1 представлен внешний вид такой компьютерной модели гибридного трактора, построенной в среде программного комплекса мультфизического моделирования SimInTech [3, 5, 7], и предназначенной для исследования динамических свойств трактора. Эта модель может быть принята за базовую, поскольку все основные компоненты гибридного трактора представлены в виде отдельных независимых подсистем, связь между которыми осуществляется информационными сигналами. Рассмотрим ее структуру более подробно.

Исходными данными для управления движением трактором являются сигналы от нажатия педалей акселератора и тормоза. Степень нажатия этих педалей (0...1) согласно конструктивных графических зависимостей преобразуется в соответствующие сигналы ускорения и торможения, тоже от 0 до 1.

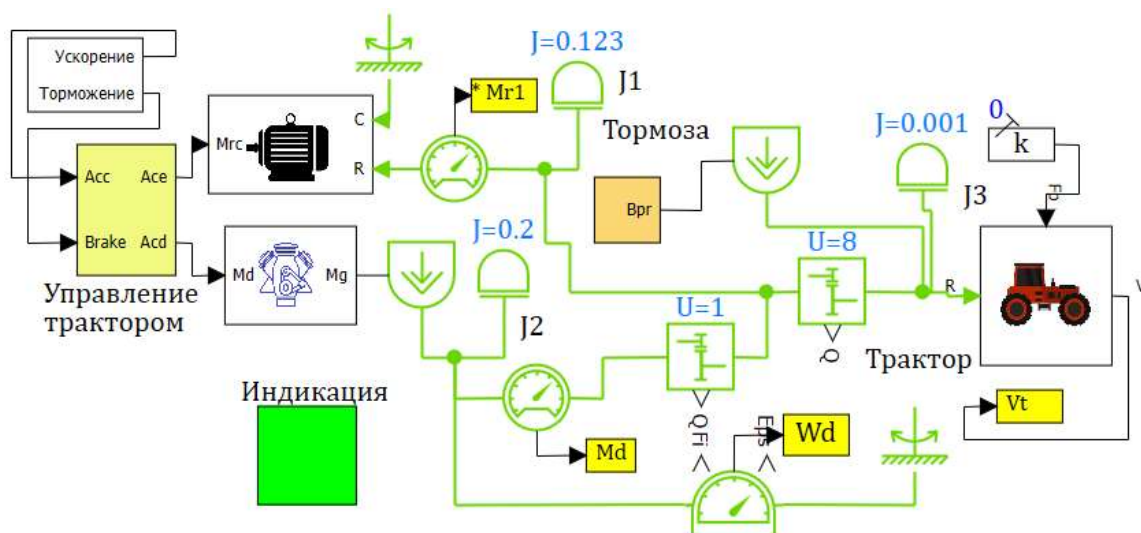


Рисунок 1 – Компьютерная модель гибридного трактора последовательной схемы включения электропривода и ДВС

Динамическая модель трактора (блок «Трактор») основана на классическом подходе [2, 5, 6, 8]. Здесь учитываются аэродинамическое сопротивление, гравитационная сила, вызванная уклоном пути, сопротивление со стороны навесного или прицепного оборудования и сопротивление качению. Последнее представляется согласно стандарту SAEJ2452 [2] как

$$F_k = P^\alpha F_n^\beta (a + bV + cV^2), \quad (1)$$

где P – давление в шине, Па; F_n – нормальная составляющая реакции колеса, Н; V – скорость движения трактора, м/с; α, β, a, b, c – постоянные коэффициенты.

Для вычисления выражения (1) используется блок «Трение качения» из библиотеки блоков SimInTech «Трансмиссия». Для первоначального упрощения рассматривается одно колесо, к которому приложен вес трактора. Также, для упрощения не рассматривается трение сцепления колеса с дорогой. В первом приближении трансмиссия трактора отображается двумя блоками «Простой редуктор» из библиотеки «Механика».

Поскольку рассматриваемая модель, прежде всего, предназначена для исследования динамических свойств трактора, то принятые допущения и упрощения не принципиальны для решения данной задачи. Для решения других задач эти блоки могут быть более уточнены и дополнены.

Для моделирования дизельного двигателя используется упрощенная модель в виде инерционного звена [6], основанная на его механической характеристике. Задающее воздействие для блока регулятора двигателя (рисунок 2, а) формируется как

$$M_{dr} = a_{cd} M_{dnom}, \quad (2)$$

где a_{cd} – сигнал педали акселератора; M_{dnom} – номинальный момент дизельного двигателя, Н·м.

В регуляторе, согласно механической характеристике двигателя (рисунок 2, б) и текущего значения частоты вращения его коленчатого вала, момент ограничивается, и с помощью пропорционально-интегрального регулятора подбирается нужный угол поворота плунжерной пары топливного насоса α_p , обеспечивающий заданную механическую характеристику.

В качестве электропривода в рассматриваемой модели выбран управляемый по частоте синхронный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов мощностью 35 кВт [6]. Алгоритм управления – регулирование магнитного потока статора (FOS) [6].

Основной проблемой в обеспечении эффективности работы гибридного трактора является стратегия взаимодействия дизельного двигателя и электропривода. Здесь возможны самые различные алгоритмы [2, 3, 6]. В рассматриваемом варианте модели трактора принят вариант, предложенный в работе [3]. Согласно ему трогание трактора осуществляется только посредством электропривода. При большой нагрузке и требованиях повышенного ускорения трактора электропривод и дизельный двигатель работают совместно. Переключение двигателя электропривода в режим генератора для зарядки аккумуляторной батареи осуществляется при торможении трактора (режим рекуперации энергии).

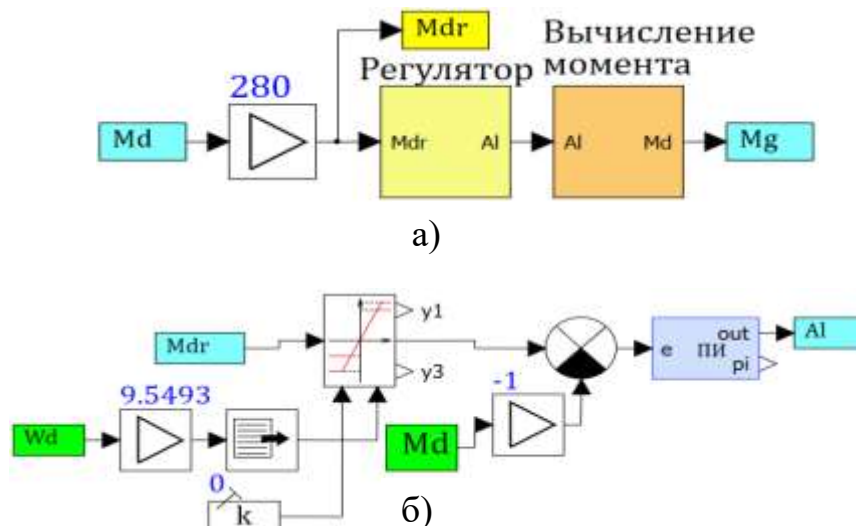


Рисунок 2 – Модель дизельного двигателя (а)
и содержание блока «Регулятор момента дизеля» (б)

Для автоматического переключения режимов можно использовать различные алгоритмы управления [2]. В данном случае рассматривается управление трактором с помощью алгоритма конечных автоматов, диаграмма состоя-

ний которого приведена в работе [3]. На рисунке 3 представлены результаты моделирования рабочего процесса гибридного трактора, которые показывают изменение режимов во времени и влияние на них сигналов ускорения и торможения.

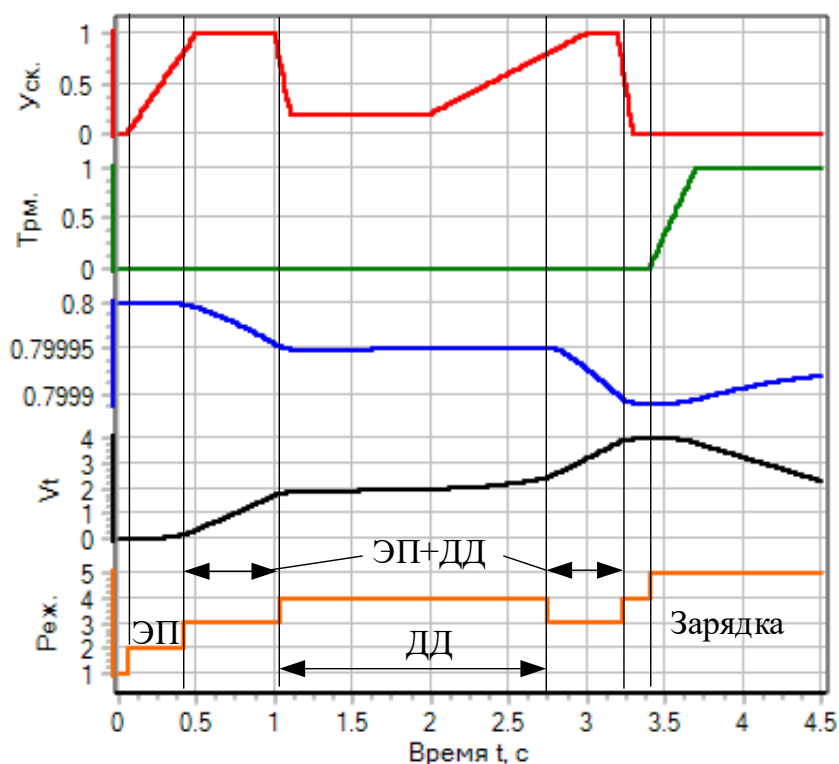


Рисунок 3 – Графики зависимостей сигналов ускорения и торможения, уровня заряда аккумуляторной батареи, скорости движения трактора (м/с) от времени и номер текущего режима работы: 1 – стоп; 2 – только электропривод; 3 – электропривод совместно с дизелем; 4 – только дизельный двигатель; 5 – режим рекуперации энергии

Предложенная компьютерная модель может быть использована как базовая для разработки гибридных тракторов сельскохозяйственного назначения.

Список литературы

1. Афоничев, Д.Н. Концепция разработки сельскохозяйственного гибридного колесного трактора / Д.Н. Афоничев, В.С. Пиляев, С.Н. Пиляев // Проблемы ресурсообеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции; Россия, г. Воронеж, 25 сентября 2024 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – С. 114–119.
2. Афоничев, Д.Н. Система управления гибридным колесным трактором / Д.Н. Афоничев, С.Н. Пиляев // Интеллектуальные системы в аграрном и строи-

тельном комплексе: сборник материалов международной научно-практической конференции. – Орел: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2024. – Т. 2. – С. 189–195.

3. Пиляев, С.Н. Компьютерная модель электрического трактора в программе SimInTech / С.Н. Пиляев, В.С. Пиляев // Актуальные вопросы физико-математических и технических наук в свете современных исследований АПК: материалы национальной научно-практической конференции; 23 октября 2024 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – С. 359–364.

4. Пиляев, С.Н. Комбинированный регулятор скорости вращения ротора электропривода электрического колесного трактора / С.Н. Пиляев, В.С. Пиляев // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения для АПК: материалы международной научно-практической конференции; Россия, г. Воронеж, 29 ноября 2024 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – С. 277–282.

5. Пиляев, С.Н. SimInTech: автоматизированный электропривод на основе машин переменного тока / С.Н. Пиляев. – М.: ДМК Пресс, 2024. – 200 с.

6. Guzzella, L. Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems / L. Guzzella, C.H. Onder. – Germany, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 362 p.

7. Афоничев, Д.Н. Компьютерные технологии в научных исследованиях / Д.Н. Афоничев, В.В. Васильев, М.Ю. Еремин. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – 83 с. – URL: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b176235.pdf>.

8. Беляев, А.Н. Нагруженность ведущих колес трактора в составе комбинированного агрегата / А.Н. Беляев, Т.В. Тришина, Д.Н. Афоничев // Наука в Центральной России. – 2024. – № 3(69). – С. 85–91. –DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-85-91.

References

1. Afonichev, D.N. The concept of developing an agricultural hybrid wheeled tractor / D.N. Afonichev, V.S. Pilyaev, S.N. Pilyaev // Problems of resource availability and prospects for the development of the agro-industrial complex: proceedings of the international scientific and practical conference; Russia, Voronezh, September 25, 2024 – Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2024. – Pp. 114-119.

2. Afonichev, D.N. Control system of hybrid wheeled tractor / D.N. Afonichev, S.N. Pilyaev // Intelligent systems in the agricultural and construction complex: collection of materials of the international scientific and practical conference. – Orel: Oryol State Agrarian University, 2024. – Vol. 2. – Pp. 189-195.

3. Pilyaev, S.N. Computer model of an electric tractor in the SimInTech program / S.N. Pilyaev, V.S. Pilyaev // Actual issues of physical, mathematical and technical sciences in the light of modern agricultural research: proceedings of the national scientific and practical conference; October 23, 2024 – Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2024. - Pp. 359-364.
4. Pilyaev, S.N. Combined speed control of the rotor of the electric drive of an electric wheeled tractor / S.N. Pilyaev, V.S. Pilyaev// Science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions for agriculture: materials of the international scientific and practical conference; Russia, Voronezh, November 29 2024. – Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2024. - Pp. 277-282.
5. Pilyaev, S.N. SimInTech: automated electric drive based on alternating current machines / S.N. Pilyaev. – M.: DMK Press, 2024. – 200 p.
6. Guzzella, L. Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems / L. Guzzella, C.H. Onder. – Germany, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 362 p.
7. Afonichev, D.N. Computer technologies in scientific research / D.N. Afonichev, V.V. Vasiliev, M.Yu. Eremin. – Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2024. – 83 p. – URL: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b176235.pdf>.
8. Belyaev, A.N. Loading of tractor driving wheels as part of a combined unit / A.N. Belyaev, T.V. Trishina, D.N. Afonichev // Science in Central Russia. – 2024. – № 3(69). – Pp. 85-91. – DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-85-91.