

АЛГОРИТМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИВОДА КОЛЕС ТРАКТОРА ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Н. С. Кривых

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В сельском хозяйстве основной технической единицей, выполняющей тяговые и приводные операции, является трактор, источником механической энергии для которого служит дизельный двигатель, коэффициент полезного действия которого находится около 40 %. Использование электродвигателей, коэффициент полезного действия которых достигает порядка 95 %, открывает возможности их использования в качестве независимого привода колёс трактора. Разработана концепция управления индивидуальным приводом колёс. Построен алгоритм управления колесом с электроприводом. Предложена методика определения буксования для перехода электропривода колеса на соответствующий режим работы.

Ключевые слова: *электротрактор, буксование, циркуляция мощности, индивидуальный привод, управление приводом колеса.*

THE ALGORITHM OF USING AN INDIVIDUAL TRACTOR WHEEL DRIVE BY MEANS OF ELECTRIC TRACTION

N. S. Krivykh

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. *In agriculture, the main technical unit performing traction and drive operations is a tractor, the source of mechanical energy for which is a diesel engine, the efficiency factor of which is about 40 %. The use of electric motors, the efficiency factor of which reaches about 95 %, opens up the possibility of their use as an independent drive of the tractor wheels. The concept of individual wheel drive control is developed. The algorithm of controlling the electrically driven wheel is constructed. The methodology of determination of slip for transition of the electric wheel drive to the appropriate mode of operation is proposed.*

Keywords: *electric tractor, slipping, power circulation, individual drive, wheel drive control.*

Вопросы энергосбережения и токсичности двигателей внутреннего сгорания приобретают всё большую значимость. Дизельные двигатели, используемые в тракторах, комбайнах и другой мобильной технике, демонстрируют сравнительно низкую эффективность – около 40...45 % в оптимальных условиях эксплуатации [1]. В иных ситуациях этот показатель снижается ещё больше, а сам процесс выработки механической энергии сопровождается выделением вредных веществ в выхлопных газах [2].

Бензиновые и дизельные двигатели остаются ключевыми источниками вредных выбросов, оказывающими негативное воздействие на экологию и здоровье людей. Оксиды азота способствуют формированию смога и кислотных осадков, что пагубно сказывается на живых организмах. Углеводороды, образующиеся при сгорании топлива, загрязняют воздух и приводят к накоплению озона в нижних слоях атмосферы, часто обладая канцерогенными свойствами. Всё это подталкивает к поиску решений для уменьшения уровня токсичности, включая использование методов моделирования различных процессов [3]. Для преодоления проблем, связанных с энергопотреблением и токсичностью двигателей внутреннего сгорания, важно разрабатывать инновационные технологии, такие как электрические и гибридные силовые установки для мобильных машин, способные существенно сократить вредные выбросы и повысить энергетическую эффективность. Некоторые уже существующие способы снижения токсичности вполне совместимы с использованием электроприводов на транспорте. Среди таких подходов стоит отметить применение альтернативных видов топлива, таких как биотопливо, водородные топливные элементы и другие возобновляемые источники энергии [4, 5, 12]. Таким образом, вопросы энергосбережения и токсичности двигателей внутреннего сгорания требуют системного подхода и сотрудничества между всеми заинтересованными сторонами для обеспечения устойчивого развития и защиты окружающей среды. Основным фактором, определяющим эффективность работы и производительность тракторов, являются сцепные характеристики колёс с опорной поверхностью [6]. Чтобы обеспечить оптимальный режим взаимодействия движителя с грунтом, можно применять электрический привод благодаря его высокому быстродействию, гибкости управления и широкому рабочему диапазону. Основу электрического привода составляет электродвигатель. В настоящее время наиболее перспективными считаются вентильные бесщёточные двигатели постоянного тока [7], которые превосходят по

эффективности и надёжности щёточные двигатели постоянного тока и асинхронные электродвигатели [8].

Электродвигатель превосходит двигатель внутреннего сгорания по КПД, обеспечивая более высокую степень преобразования потреблённой энергии в механическую. Кроме того, работа электродвигателя отличается большей плавностью и тишиной по сравнению с ДВС, что делает передвижение более комфортным. Таким образом, у электрических двигателей есть ряд преимуществ перед двигателями внутреннего сгорания. Однако это не исключает возможности применения обоих типов двигателей на одном мобильном средстве. В гибридных технологиях ДВС зачастую служит источником механической энергии, которая затем преобразуется в электрическую для приведения в действие электродвигателя. Подобные технологии широко используются в автомобилестроении, тогда как в тракторостроении они пока находятся на этапе опытно-конструкторских работ [9, 11]. Эти системы предполагают работу ДВС, что ограничивает эксплуатацию такой техники в закрытых помещениях с недостаточной вентиляцией. Тем не менее, временные периоды работы на сохранённой электрической энергии при использовании электропривода ничем не ограничены, что открывает перспективы для внедрения этих технологий на тракторах [10].

Основная особенность использования электрического двигателя в приводе трактора заключается в возможности индивидуального управления каждым колесом, которое можно осуществлять через систему автоматизации [13]. Большинство современных тракторов оснащены механическими ступенчатыми трансмиссиями с ручным, гидравлическим или электрическим управлением. Эти трансмиссии обычно содержат межколесные и промежуточные симметричные шестеренчатые дифференциалы, обеспечивающие маневренность трактора за счет равномерного распределения крутящего момента и позволяющие ведущим колесам вращаться с различными угловыми скоростями. Дифференциальная система хорошо справляется с задачей маневрирования, но при прямолинейном движении одинаковую касательную силу можно достичь лишь при равных условиях сцепления на всех ведущих колесах. На практике условия сцепления колеса с поверхностью и его кинематический радиус непрерывно меняются, что ведет к изменениям касательных сил. Увеличенное буксование ведущих колес снижает тяговый КПД трактора, поскольку часть энергии тратится на трение и деформации колеса относительно опорной по-

верхности. Современные технологии позволяют внедрить гибкую систему управления ведущими колесами посредством электропривода, что устраняет необходимость в дифференциале и минимизирует буксование и проскальзывание за счёт оптимальной регулировки нагрузки на каждое колесо.

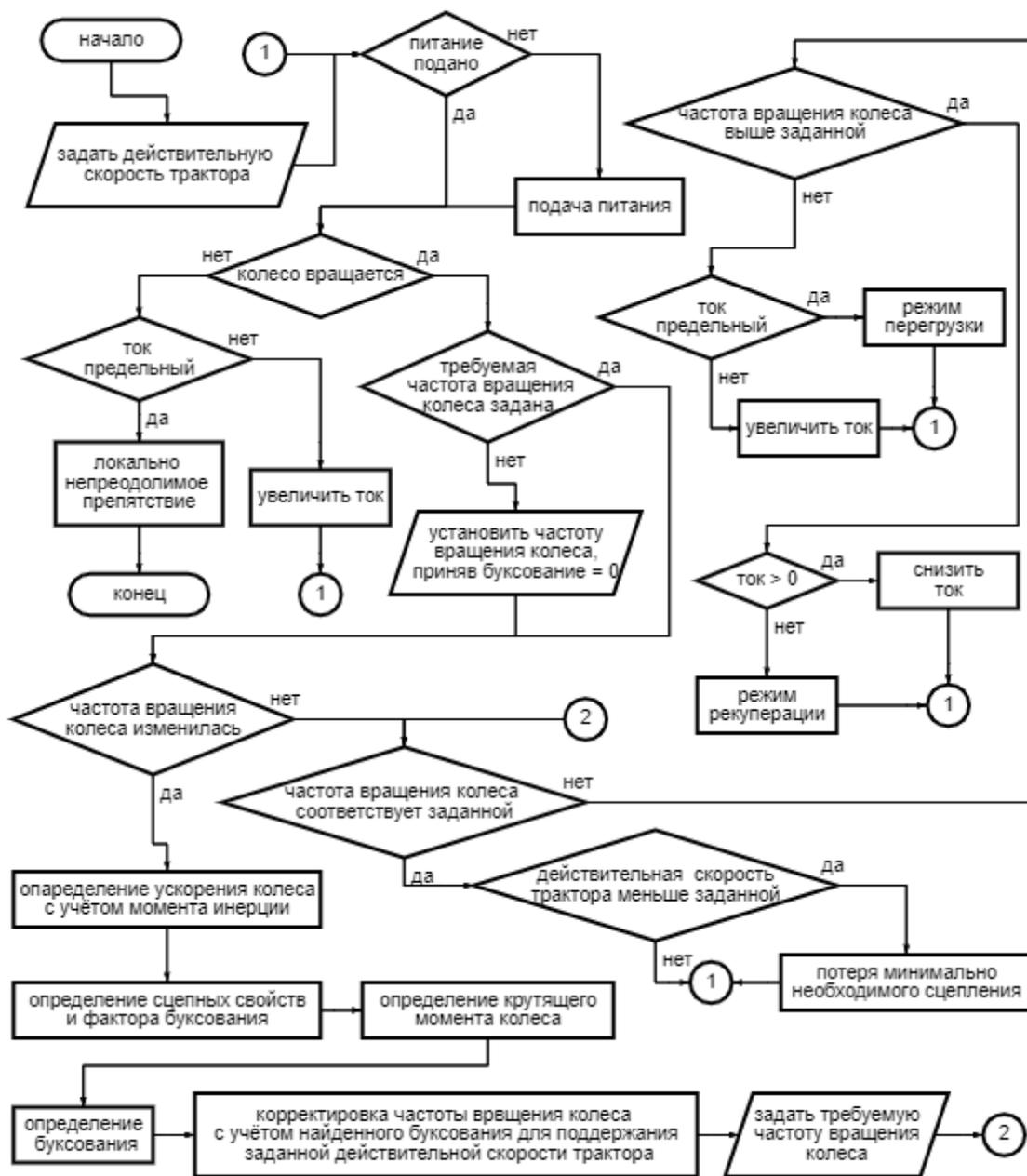


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма управления электроприводом колеса трактора

Для создания ведущего колеса с индивидуальным приводом требуется разработать соответствующий алгоритм управления и смоделировать ключевые параметры. Потери, обусловленные увеличенным

буксованием и жесткостью трансмиссии, связаны с кратковременными изменениями нагрузки от навесного оборудования и кинематической несогласованностью ведущих колес. Это выражается в прохождении разных расстояний колесами при одной и той же угловой скорости в случае жесткой работы трансмиссии. Современные электронные системы управления частично справляются с этой проблемой, контролируя буксование и другие параметры для поддержания стабильности движения машины.

Был предложен примерный алгоритм управления электроприводом колеса (рисунок 1), который поддерживает постоянное число оборотов колеса при неизменной реальной скорости трактора. Реальная и расчетная скорости трактора, равно как и колеса, различаются поправкой на буксование, поэтому при наличии буксования расчетная скорость всегда будет выше.

Существует несколько методов для оценки степени буксования. В предлагаемом алгоритме используется разработанная методика, основанная на мониторинге кратковременного ускорения колеса и определении сцепных свойств поверхности с учетом момента инерции системы. Таким образом, поведение колеса при различных условиях сцепления будет отличаться, что помогает идентифицировать эти условия. Для описания характеристик буксования в зависимости от сцепных свойств вводится новый параметр, условно названный коэффициентом буксования. Этот показатель удобен для анализа характеристик буксования при различных условиях сцепления на разных почвенных покрытиях. Крутящий момент на колесах можно измерить, анализируя ток, подаваемый на электроприводы. Определив крутящий момент и, соответственно, силу тяги, можно приблизительно оценить уровень буксования. Для функционирования колеса с индивидуальным электроприводом создан алгоритм автоматического управления, учитывающий условия сцепления колеса с опорной поверхностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кривых, Н. С. Преимущества и недостатки электродвигателя в сравнении с ДВС / Н. С. Кривых, А. Е. Беденко // Промышленность и сельское хозяйство. – 2023. – № 10 (63). – С. 15-17.
2. Касимов, Е. А. Технология снижения выбросов ДВС / Е. А. Касимов // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 92-9. – С. 62-64.
3. Снижение токсичности отработавших газов в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания / В. М. Ситдииков, Н. Ю. Дударева, А. А. Ишемгужин, И. А. Даутов // Труды НАМИ. – 2022. – № 4(291). – С. 85-95.

4. Бижаев, А. В. Снижение токсичности отработавших газов дизеля путем подачи топлива с водой в камеру сгорания / А. В. Бижаев, С. Н. Девянин // Авто-ГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2019. – Т. 18, № 12. – С. 586-588.
5. Исследование биодизельного топлива с добавками пальмового масла и перекиси водорода / П. П. Ощепков, И. А. Заев, С. В. Смирнов, А. В. Бижаев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13, № 3. – С. 48-53.
6. Кутьков, Г. М. Теория и расчет полноприводного трактора / Г. М. Кутьков, А. А. Соловейчик, М. В. Сидоров // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – Т. 8. – № 2. – С. 8-14.
7. Chau, K. Overview of permanent-magnet brushless drives for electric and hy-brid vehicles / K. Chau, C. Chan, C. Liu // IEEE Transactions On Industrial Electronics. – 2008. – № 55(6). – С. 2246-2257.
8. Определение основных параметров асинхронного тягового электродвигателя / А. Я. Якушев, Т. М. Назирхонов, И. П. Викулов, К. В. Марков // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2019. – Т. 16, Вып. 4. – С. 592-601.
9. Бижаев, А. В. Исследование параметров трактора с электроприводным силовым агрегатом / А. В. Бижаев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 4. – С. 33-42. – DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-33-42.
10. Бижаев, А. В. Энергетические и экономические параметры работы трактора с электроприводом колёс / А. В. Бижаев, С. Н. Девянин, В. Л. Чумаков // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 53-58. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-1-53-58.
11. Менеджмент научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для сельскохозяйственного производства / А. Л. Эйдис, Е. П. Парлюк, А. В. Шарапова, А. В. Шарапова. – М. : МГУП, 2016. – 180 с.
12. Дидманидзе, О. Н. Современный уровень развития двигателей с газомоторной и электрической силовой установками на транспортно-тяговых средствах / О. Н. Дидманидзе, А. С. Гузалов, Н. А. Большаков // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – № 4. – С. 52-59.
13. Общая модель гидродинамической подвески заднего навесного устройства трактора / П. В. Сиротин, Н. Н. Пуляев, М. А. Лесик, Д. А. Федорова // Чтения академика В. Н. Болтинского : сборник статей, Москва, 17-18 января 2024 года. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 54-69.

Об авторе:

Кривых Николай Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», krivyh05@gmail.com.

About the author:

Nikolay S. Krivykh, postgraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, krivyh05@gmail.com.