

Библиографический список

1. Андреев, О.П. Научные основы моделирования производственных процессов в АПК / О.П. Андреев, Д.Г.-оглы Асадов, О.Н. Дидманидзе, Монография, М.: ООО «УМЦ «Триада», 2017. – 180 с.
2. Андреев, О.П. Транспортное обеспечение уборки зернобобовых культур / О.П. Андреев // В сборнике: Доклады ТСХА. – 2019. – С. 19-23.
3. Андреев, О.П. Снижение простоев подвижного состава автомобильного транспорта с использованием систем глобального позиционирования/О.П. Андреев, М.А. Тамбовцев // Международный научный журнал. – 2015 – №3. – С. 74-76.
4. Андреев, О.П. Эффективное использование техники - основа индустриально-поточной технологии / О.П. Андреев // -М: ООО «УМЦ «Триада», 2016. – 124 с.
5. Андреев, О.П. Транспортное обеспечение технологических процессов уборки зерновых культур / О.П. Андреев, О.Н. Слепцов// В сборнике: Чтения академика В.Н. Болтинского (115 лет со дня рождения). – 2019. – С. 147-152.

УДК 631.372, 629.114.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ БУКСОВАНИЯ ТРАКТОРА ДЛЯ ВЫБОРА РЕЖИМА ВЕДУЩЕГО КОЛЕСА

Бижаев Антон Владиславович, старший преподаватель кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация. Современные тракторы позволяют использование индивидуального привода колёс с целью минимизации потерь тяговой мощности. Для таких систем необходим алгоритм управления, частью которого является модель буксования трактора. Рассматриваемая модель точно описывает реальную характеристику и позволяет осуществить численную привязку к условиям буксования.

Ключевые слова: тяговый класс, буксование, тяговые операции, колёсный трактор, сила тяги на крюке.

Работа современных тракторов при тяговых операциях ограничивается определённым количеством факторов. Если рассматривать не сельскохозяйственный агрегат в целом, а только трактор, то основными факторами, влияющими на процесс выполнения тяговых операций, являются буксование, сопротивление качению колеса и параметры работы силового агрегата. Рассматриваемые факторы также определяют и тягово-сцепные свойства колёс машины с опорной поверхностью, исходя из которых формируется характеристика тягового КПД [1].

При выполнении тяговых операций считается что трактор должен работать в режиме номинального тягового усилия, в соответствии с тяговым классом. При этом должно соблюдаться условие допустимого буксования, которое для колёсных полноприводных тракторов составляет 14...15%, а для заднеприводных 16...18% [2].

При движении трактора по опорной поверхности в реальных условиях ведущие колёса подвергаются различным внешним воздействиям, что вынуждает их работать с различными параметрами, такими как угловая скорость или сцепление с поверхностью. Различие условий работы ведущих колёс приводит к потере мощности, проявляющейся в скольжении или буксовании колеса относительно другого. Ситуация связана с работой дифференциала и возникает при его блокировке или без неё. В современных технологических условиях конструирования тракторов проблема повышения тягово-сцепных свойств трактора решается при помощи многих методов, в том числе и электронного управления процессами в трансмиссии и двигателе [3]. Самым лучшим вариантом решения проблемы оптимизации загрузки ведущих колёс является использование гибкой трансмиссии. Такой трансмиссией называют систему независимого привода колёс с возможностью загрузки от двигателя без дополнительных потерь в трансмиссии, которые могут возникнуть, например, при трении в дифференциале с повышенным коэффициентом блокировки.

Такие системы не реализованы в больших масштабах на практике и не пользуются широкой популярностью, не смотря на разработанные опытные образцы с гидравлической системой [4]. С повышением уровня технологического развития системы могут стать актуальными при использовании индивидуального электрического привода колёс с гибким управлением. Современные электротракторы имеют общий привод на ведущий мост, содержащий дифференциал, что не решит проблему паразитной мощности или пробуксовки колеса при потере сцепления [5].

Определение концепции ведущего колеса применимого в гибких трансмиссиях сводится к алгоритму его управлению, а значит и к моделированию всех связанных параметров его работы. При расчётном подходе к вопросу обязательной характеристикой, закладываемой в модель, является буксование. В реальных условиях при движении машины по опорной поверхности буксование в любых условиях больше нуля и возрастает при увеличении нагрузки по экспоненциальной зависимости до точки преодоления максимального тягового усилия. Это объясняется деформацией опорной поверхности под протектором колеса и самого колеса, затем после достижения порогового значения силы тяги на крюке происходит срыв пласта или протектора колеса относительно друг друга, после чего сила трения покоя колеса с опорной поверхностью в большей степени переходит в силу трения скольжения.

Исходя из этих положений моделирование буксования можно рассматривать как комплекс характеристик, полученных аппроксимацией

буксования до достижения активного перехода от силы трения покоя и после этого момента. Для первого случая удобно использовать уравнение регрессии 2^{ого} порядка, а для второго функцию на основе гиперболы. Характеристика буксования в таком случае примет следующий вид:

$$\delta = a_p P_{кр} + b_p P_{кр}^2 + \frac{R}{P_{крп} - P_{кр}} - \frac{R}{P_{крп}}, \quad (1)$$

где: a_p и b_p – расчётные коэффициенты, зависящие от условий буксования (почвенный фон, износ протектора и т.д.); R – коэффициент плавности перехода от силы трения покоя к силе трения скольжения; $P_{кр}$ – усилие трактора на крюке; $P_{крп}$ – предельное усилие трактора на крюке при неизменных условиях тягово-сцепных свойств.

Характеристика буксование трактора обычно привязана к одним условиям работы, которые в приведённом уравнении характеризуют коэффициенты a_p и b_p . Для определения буксования при изменении других факторов удобно задаться зависимостью, которая будет характеризовать тенденцию изменения линии буксования. Для этого необходимо задаться параметром, который имеет привязку к значению буксования при определённом режиме работы. Условно параметр можно назвать фактор буксования F_b , который определяет условия изменения коэффициентов $a_p = f(F_b)$ и $b_p = f(F_b)$. Данный параметр удобно привязать к допустимому буксованию при номинальном тяговом усилии, так как этот параметр для тракторов регламентируется, и определить его как отношение тягового усилия, при котором буксование соответствует допустимому значению к номинальному тяговому усилию трактора на крюке $F_b = P_{кб}/P_{кр}$. Поэтому, если $F_b = 1$, это говорит о том, что на текущей характеристике буксования при достижении тягового усилия, соответствующего номинальному, буксование станет равным допустимому значению.

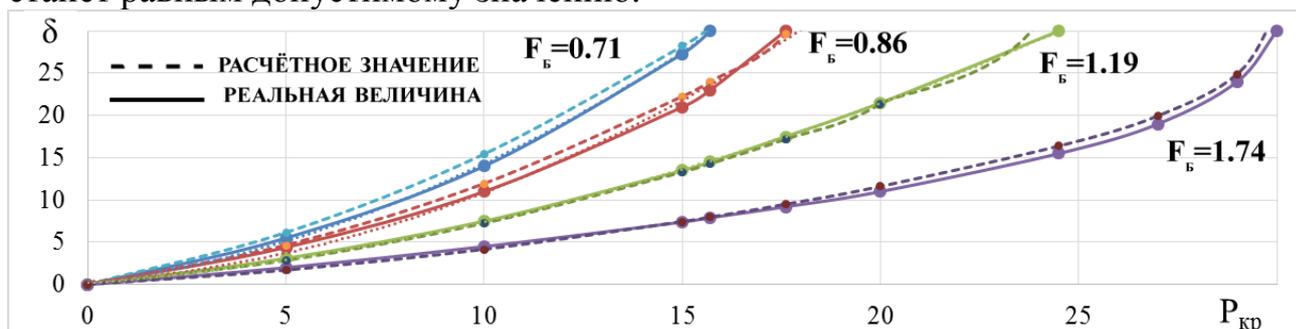


Рис. 1. Реальная и расчётная тяговые характеристики трактора по буксованию на различных агрофонах

Где: F_b – фактор буксования, при $F_b=0,71$ фон – поле под посев, при $F_b=0,86$ фон – стерня, при $F_b=1,19$ фон – залежь, при $F_b=1,74$ фон – асфальтовая дорога.

В качестве примера расчёта можно выбрать характеристики буксования трактора МТЗ-80 на различных агрофонах (Рисунок 1). По существующим характеристикам аппроксимацией получены зависимости коэффициентов $a_p = 0,0374F_b^{-1,578}$ и $b_p = 0,5354F_b^{-1,428}$, при постоянном значении

коэффициента $R=I0=const$. Из полученных зависимостей видно, что каждый тип агрофона соответствует фактору буксования, которым они характеризуются, и точность совпадения характеристик сравнимо высока, при среднем коэффициенте детерминации 0,98.

Данная математическая модель позволяет оценить характеристики буксования трактора при любых других условиях, опираясь на существующие зависимости. Диапазон действия модели ограничивается предельной силой тяги на крюке, что актуально для определения параметров работы тракторов.

При управлении колесом с индивидуальным приводом такая модель может быть заложена для определения его тягово-сцепных свойств. Определение параметра по многофакторной характеристике позволит составить программу адаптивных условий работы для повышения эффективности работы тракторного колеса.

Библиографический список

1. Кутьков, Г.М. Трактора и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков: Учеб. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 506с.
2. Богатырев, А.В. Тракторы и автомобили: Учебник / А.В. Богатырев, В.Р. Лехтер. – М.: ИНФРА-М С, 2016. – 425 с.
3. Смирнов, Ю.А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей: Учебное пособие / Ю.А. Смирнов, А.В. Муханов. — СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 624 с.: ил.
4. Лепешкин, А.В. Опыт использования и перспективы создания многоприводных колесных машин повышенной проходимости / А.В. Лепешкин. Известия МГТУ МАМИ. –2010. –№ 2 (10). – С. 54-65.
5. Бижаев, А.В. Проблемы выбора типа привода силового агрегата трактора на электрической тяге / А.В. Бижаев. В сборнике: чтения академика В.Н. Болтинского семинар: сборник статей. – 2020. – С. 247-252.

УДК 621.319.4

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАПУСКА ДВС ОТ КОНДЕНСАТОРОВ

Ишуточкина Кристина Александровна, инженер кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
Бижаев Антон Владиславович, старший преподаватель кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация. Основным источником питания современных систем электрического запуска двигателей внутреннего сгорания является кислотнo-свинцовая аккумуляторная батарея. По ряду причин её

эксплуатация требует больших трудозатрат, особенно в холодных условиях. В связи с этим предлагается использование конденсаторной системы с рассмотрением её разрядных характеристик.

Ключевые слова. *Стартер, электрический запуск двигателя, энергия конденсатора, широтно-импульсная модуляция, разрядные характеристики.*

На подавляющем большинстве автотракторной техники в качестве системы запуска ДВС используется электрический стартер с питающей его аккумуляторной батареей (АКБ). Такая система управляется через реле или дополнительную электронику от замка зажигания и имеет общий КПД 50-70% [1]. Это связано прежде всего с протеканием высоких токов, нагревом проводов, высоких механических моментов сопротивлений в системе электропривода маховика, замедлением течения химических реакций, происходящих в АКБ, особенно в холодных условиях. Затруднённый запуск в холодных условиях является следствием снижения ёмкости АКБ, а также пусковых токов и составляет частую проблему при эксплуатации подобных систем.

Для повышения эффективности работы системы запуска необходимо использовать источник питания, который не будет подвергаться столь сильному влиянию на температуру окружающей среды. А проблему больших токов можно решить, повысив напряжение системы, при сохранении такой же мощности. Оптимальным источником энергии в этой ситуации будут конденсаторы, которые на равне с ионисторами имеют гораздо большее напряжение [2], что ограничивает их использование в данной системе. Наряду с напряжением конденсаторы имеют более высокую удельную стоимость энергии 650-5000 руб./кДж, по сравнению со свинцовыми АКБ 1,5-7 руб./кДж или литий-ионными АКБ 5-45 руб./кДж [3], при этом количество циклов разрядки-зарядки у них намного выше и составляет порядка 1...5 млн, по сравнению с 4000...7000 циклов у АКБ, что оправдывает их использование в системе для запуска двигателя.

Для эффективной работы системы запуска от конденсаторов требуется дозировать электрическую мощность на электродвигатель стартера, поддерживая на нём рабочее напряжение. Для этого удобно использовать широтно-импульсное модулирование (ШИМ). При этом полный отказ от наличия АКБ не имеет смысла, так как она питает других элементов электрооборудования мобильной машины, но ввиду их небольшого потребления ёмкость АКБ можно снизить, уменьшив её массу.

Конденсаторы могут заряжаться через тот же модулятор, содержащий ШИМ контроллер, повышая напряжение с бортового до 500 В, и разряжаться на стартер, при поддержании определённых условий его работы (Рис. 1).

Зарядка конденсатора

Запуск электродвигателя



Рис. 2. Общая схема электрического запуска ДВС от конденсаторов с ШИМ управлением

Для определения характеристик такой системы предлагается выбрать напряжение заряженного конденсатора $U_k = 500\text{В}$ и ёмкость $C_k = 22000\text{ мкФ}$, а для электропривода рабочее напряжение $U_c = 220\text{ В}$ при мощности $P_c = 1\text{ кВт}$. При этом следует учесть, что энергия конденсатора квадратично зависит от напряжения и определяется по выражению: $W = CU^2/2$, поэтому рационально выбирать конденсаторы именно более высокого напряжения чем ёмкости при таких же параметрах [4, 5]. При напряжении более 500 В цена на конденсаторы за единицу энергии начинает расти, исходя из этого напряжении 500 В считается оптимальным.

Напряжение электродвигателя должно быть меньше, иначе при разрядке конденсатора его придётся увеличивать, что потребует дополнительной системы. Кроме того, 220 В считается нормированным сетевым напряжением, которое удовлетворяет требованиям безопасности и узлы такого мотора могут быть взаимозаменяемы исходя из потребительских свойств. При расчёте условно можно задаться постоянной мощностью электродвигателя $P_c = W/t = \text{const}$, где W – энергия, полученная от конденсатора, а t – интервал времени. Это противоречит реальным условиям. Но в данной работе стоит задача сравнения показателей систем и примерной оценке параметров, что позволит в первом приближении оценить целесообразность разработки. Нужно учитывать, что коллекторный электродвигатель имеет удобную механическую характеристику, и повышает крутящий момент с увеличением внешней нагрузки [4].

При разрядке конденсатора без какой-либо системы управления, его напряжение будет снижаться по экспоненте (Рисунок 2), при этом электрическая мощность будет также снижаться, при изначально высоком напряжении, поданном на электродвигатель стартера. В общем случае напряжение на стартере и конденсаторе будет одно и то же и определяясь из физических законов, имеет вид:

$$U_c = U_k \cdot e^{-\frac{t}{RC_k}}, \quad (1)$$

где: R – сопротивление цепи электродвигателя, в данном случае условно определяется как $R = U_k^2 / P_c$.

В таком случае при начале работы стартера напряжение будет превышать рабочее, что приведёт к неисправности системы. Для решения этой проблемы используется ШИМ управление, которое поддерживает рабочее напряжение на электродвигателе (Рисунок 2), при требуемой мощности. Напряжение на конденсаторах можно выразить зависимостью:

$$U_c = \sqrt{\frac{2W}{C_k}} = \sqrt{\frac{2P_c t}{C_k}} \quad (2)$$

Управление ШИМ продлевает работу стартера при рабочем напряжении до 2,2 с, сравнительно с 0,8 с без управления.

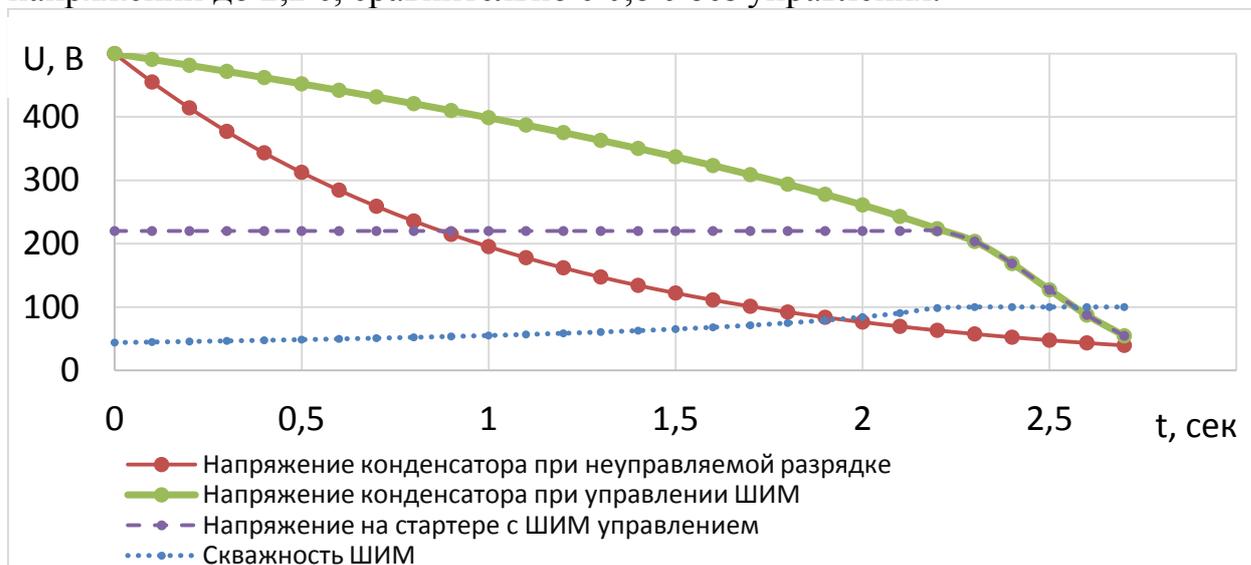


Рис.3. Характеристика изменения параметров системы запуска от конденсаторов при неуправляемой разрядке и при разрядке с ШИМ управлением

Система позволяет за счет повышенного напряжения увеличить эффективность запуска, поскольку снижается пусковой ток, и снизить габариты свинцового АКБ. Управление при помощи ШИМ позволяет поддержать рабочее напряжение стартера при различных условиях работы и обеспечить стабильный запуск в холодных условиях при подзарядке от бортовой системы электрооборудования.

Библиографический список

1. Иштуочкина, К.А. Система автоматического перезапуска ДВС / К.А. Иштуочкина // В сборнике: СБОРНИК СТУДЕНЧЕСКИХ НАУЧНЫХ РАБОТ. по материалам докладов, 72-й Международной студенческой научно-практической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения А.Г. Дояренко. – 2019. – С. 111-112.

2. Ишуточкина К.А. Выбор типа источника электрической энергии с целью повышения эффективности запуска ДВС / К.А. Ишуточкина // В сборнике: ЧТЕНИЯ АКАДЕМИКА В. Н. БОЛТИНСКОГО. Сборник статей семинара. – 2020. – С. 52-57.

3. Бижаев, А.В. Оценка параметров трактора с электроприводным силовым агрегатом / А.В. Бижаев // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. №4. С. 0-0. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-0-0.

4. Бижаев, А.В. Проблемы выбора типа привода силового агрегата трактора на электрической тяге / А.В. Бижаев // В сборнике: ЧТЕНИЯ АКАДЕМИКА В. Н. БОЛТИНСКОГО. семинар: сборник статей. –2020. – С. 247-252.

5. Деспотули, А. Суперконденсаторы для электроники (часть 2) А. Деспотули, А. Андреева // Современная электроника. – 2006. – № 6. – С. 46.

УДК 631.372

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРИВОДА ВЕДУЩИХ КОЛЕС ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ТРАКТОРОВ

Перевозчикова Наталья Васильевна, доцент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Шутенко Владимир Витальевич, аспирант кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация. Изучение применения индивидуального привода с микропроцессорной системой управления ведущих колес на транспортно-технологических модулях для повышения тягового усилия и улучшения топливной экономичности тракторов.

Ключевые слова: балластирование, индивидуальный привод, транспортно-технологический модуль, активный привод, тягово-цепные свойства, давление движителей на почву.

Традиционные технологии возделывания сельскохозяйственных культур сопровождаются многократными проходами техники по полю. В результате почва уплотняется, что приводит к ухудшению основных физических и физико-механических свойств пахотного и подпахотного слоев. Это проблема становится все острее с массовым применением тяжелых колесных тракторов. Основной причиной применения тракторов с большим весом является высокая энергонасыщенность современной сельскохозяйственной техники. Для того, чтобы реализовать полностью мощность двигателя трактора требуются высокие тяговые показатели [1], для достижения которых зачастую трактор нагружают балластными грузами, их вес может составлять до 50% от веса трактора [2-4].