

АНАЛИЗ БУКСОВАНИЯ ВЕДУЩЕГО КОЛЕСА ТРАКТОРА ПРИ ВЛИЯНИИ КОМПЛЕКСНОГО ФАКТОРА

С. Н. Девянин, А. В. Бижаев

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

***Аннотация:** Буксование трактора является фундаментальным параметром для выполнения тягового расчёта машины, поэтому точность его определения важна в условиях математического моделирования. В данной статье предлагается введение нового параметра, который определяет характеристику буксования в зависимости от комплексных условий сцепления колеса с опорной поверхностью на базе экспериментальных показателей. Статья будет полезна для математических расчётов тяговых характеристик тракторов. Данную модель можно использовать для реализации автоматизированного в том числе электронного управления ведущим колесом с целью повышения тягово-сцепных свойств машины.*

***Ключевые слова:** буксование; тяговая характеристика; агрофон; работа ведущего колеса; тягово-сцепные свойства трактора.*

ANALYSIS OF TRACTOR DRIVE WHEEL SLIP UNDER THE INFLUENCE OF A COMPLEX FACTOR

S. N. Devyanin, A. V. Bizhaev

*Russian Timiryazev State Agrarian University
(Moscow, Russian Federation)*

***Abstract:** Tractor slipping is a fundamental parameter for performing the traction calculation of the machine, therefore, the accuracy of its determination is important in terms of mathematical modeling. This article proposes the introduction of a new parameter that determines the characteristics of slipping depending on the complex conditions of adhesion of the wheel to the supporting surface on the basis of experimental indicators. The article will be useful for mathematical calculations of traction characteristics of tractors. This model can be used to implement automated, including electronic control of the driving wheel in order to improve the traction and coupling properties of the machine.*

Keywords: *slipping; traction characteristic; agro-background; work of the driving wheel; traction-coupling properties of the tractor.*

Буксование колеса мобильной машины, в том числе и трактора, это нормальный процесс в ходе тягообразования при котором происходит деформация как опорной поверхности под колесом, так и гибкой части самого колеса. В результате буксования линейная скорость колеса в точке приложения силы с опорной поверхностью выше, чем скорость движения самой машины. Данный процесс является неотъемлемой частью процесса тягообразования и рассматривается обычно как нормальное явление [1].

При увеличении буксования ведущих колёс тяговый КПД трактора снижается, а его работа затрачивается на силу трения и деформацию колеса с опорной поверхностью. Современный технологический уровень позволяет реализовать гибкое управление ведущими колёсами трактора, в том числе и за счёт применения электропривода, что позволяет снизить буксование за счёт реализации оптимальной нагрузки колеса [2, 3].

Определение концепции ведущего колеса применимого в трансмиссиях с индивидуальным приводом сводится к алгоритму управлению, а значит и к моделированию всех связанных параметров его работы. Потери, сопровождающиеся повышением буксования и вызванные жёсткостью трансмиссии, обычно возникают вследствие возникновения паразитной мощности, в основе которой прежде всего лежит кинематическое несоответствие ведущих колёс [4]. Это проявляется в прохождении различных путей ведущих колёс при их одинаковой угловой скорости. Практически эта ситуация в определённой мере решается современными системами электронного управления, в которых буксование, как и многие другие параметры отслеживаются для динамической стабилизации машины [5]. Некоторыми исследованиями было показано, что при гибком управлении нагрузкой колеса было получено повышение КПД работы машины до 20 % [6].

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.

Из этих положений следует, что моделирование буксования можно рассматривать как сумму характеристик, полученных аппроксимированием буксования до достижения активного перехода от силы трения покоя и после этого момента. Для первого случая удобно использовать уравнение регрессии второго порядка, а для второго функцию на основе гиперболы. Характеристика буксования в таком случае примет следующий вид:

$$\delta = \alpha_p P_{кр} + b_1 P_{кр}^2 + \frac{R}{P_{крп} - P_{кр}} - \frac{R}{P_{крп}}, \quad (1)$$

где: α_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.

В свою очередь, предельная сила на крюке, определяемая переходом от силы трения покоя к силе трения качения, которая в реальных условиях соответствует силе при срыве пласта почвы, упрощённо определяется по следующей зависимости:

$$P_{крп} = \sqrt{\frac{\delta_{пр}}{\alpha_p} + \left(\frac{b_p}{2\alpha_p}\right)^2} - \frac{b_p}{2\alpha_p}, \quad (2)$$

где: $\delta_{пр}$ – буксование при предельной силе тяги на крюке трактора.

Характеристика буксования трактора обычно определяется для неизменных условий работы, которые в приведённом уравнении характеризуют коэффициенты α_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_6 , который определяет условия изменения коэффициентов $a_p = f(F_6)$ и $b_p = f(F_6)$. При анализе экспериментальных характеристик буксования трактора МТЗ-80 на различных агрофонах были получены коэффициенты a_p и b_p (рисунок 1А). Из полученных характеристик видно, что с повышением мягкости агрофона, а следовательно, с уменьшением фактора F_6 , коэффициенты a_p и b_p увеличиваются. Предельная сила тяги на крюке также может изменяться при различных условиях сцепления колеса с поверхностью и может определяться по зависимости (2) по соответствующему буксованию.

Фактор буксования 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 $F_6 = P_{кб} / P_{кр}$ (рисунок 1Б).

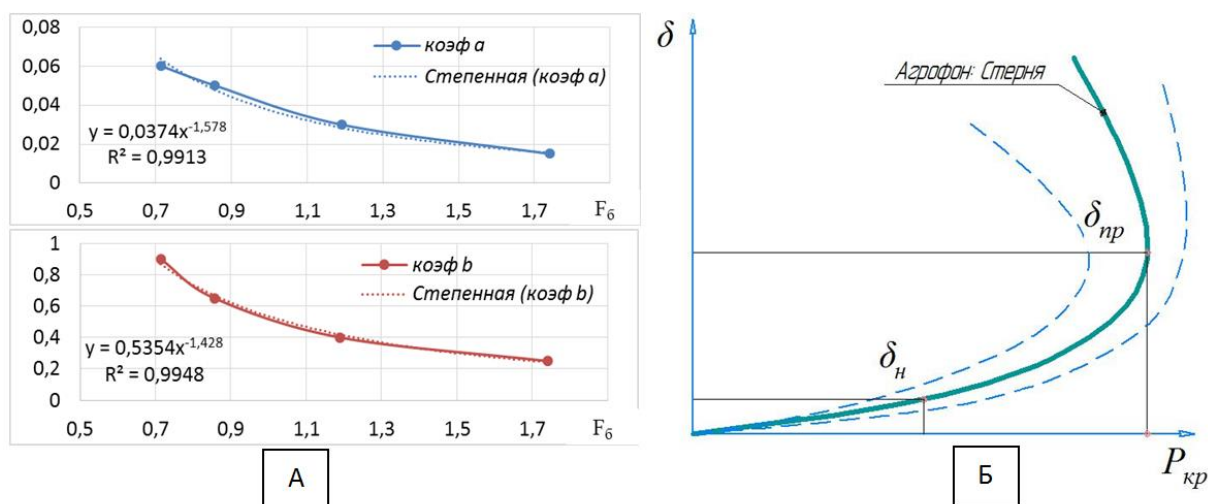


Рисунок 1 – А) Аппроксимация зависимости изменения коэффициентов a и b на различном агрофоне трактора МТЗ-80. Б) Основные точки характеристики буксования для определения фактора буксования F_6 .

Поэтому, если $F_6 = 1$, это говорит о том, что на текущей характеристике буксования при достижении тягового усилия, соот-

ветствующего номинальному, буксование станет равным допустимому значению. В качестве примера расчёта можно выбрать характеристики буксования трактора МТЗ-80 на различных агрофонах (рисунок 2). По существующим характеристикам аппроксимацией получены зависимости коэффициентов $\alpha_p = 0,0374F_6^{-1,578}$ и $b_p = 0,5354F_6^{-1,428}$, при постоянном значении коэффициента $R = 10 = const$. Как показывает расчётное исследование параметр R в данной ситуации не изменяется при смене агрофона несмотря на то, что определяет диапазон крюкового усилия при условном переходе от силы трения покоя колеса к силе трения скольжения. 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.

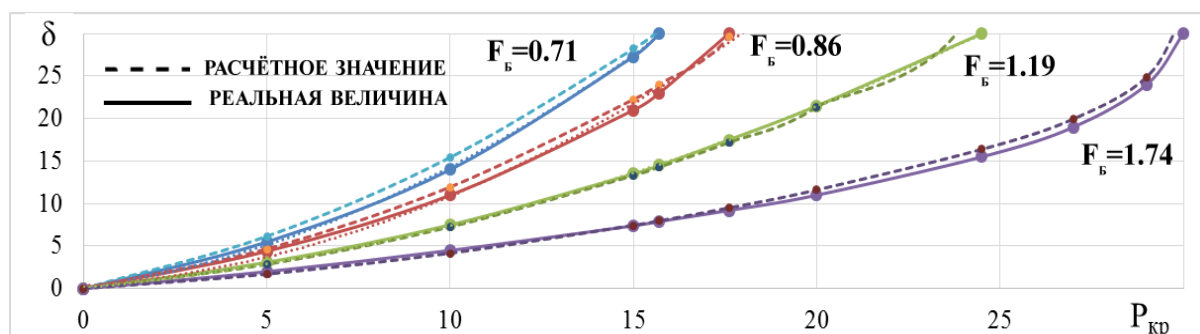


Рисунок 2 – Реальная и расчётная тяговые характеристики трактора МТЗ-80 по буксованию на различных агрофонах:
 F_6 – фактор буксования, при $F_6 = 0,71$ фон – поле под посев, при $F_6 = 0,86$ фон – стерня, при $F_6 = 1,19$ фон – залежь, при $F_6 = 1,74$ фон – асфальтовая дорога

Данная математическая модель позволяет оценить характеристики буксования трактора при любых других условиях, опираясь на существующие зависимости. Например, для трактора МТЗ-80 определён фактор буксования для различных агрофонов при прочих равных условиях и составляет: 0,71 для поля под посев, 0,86 для стерни, 1,19 для залежи и 1,74 для асфальтового покрытия.

Диапазон действия модели ограничивается предельной силой тяги на крюке, в данном случае это сила, соответствующая

буксованию 30 %, 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 : учеб. 2-е изд., перераб. и доп. М. : НИЦ ИНФРА-М, 2014. 506 с.
2. Бижаев А. В. Оценка параметров трактора с электроприводным силовым агрегатом // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 4. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-0-0.
3. Бижаев А. В. Проблемы выбора типа привода силового агрегата трактора на электрической тяге // В сб.: чтения академика В. Н. Болтинского. 2020. С. 247-252.
4. Пат. 2657136 Российская Федерация G01M17/00, B60C23/00. Способ определения кинематического рассогласования в трансмиссиях многоосных полноприводных колесных машин / А. Н. Симоненко № 2017118034, заявл. 24.05.2017; опубл. 08.06.2018.
5. Смирнов Ю. А., Муханов А. В. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей. СПб. : Издательство «Лань», 2012. 624 с.
6. Лепешкин А. В. Опыт использования и перспективы создания многоприводных колесных машин повышенной проходимости. // Известия МГТУ МАМИ. 2010. № 2 (10). С. 54-65.

REFERENCES

1. Kut'kov G. M. Traktora i avtomobili. Teoriia i tekhnologicheskie svoistva [Tractors and cars. Theory and technological properties]. Moscow, Nits INFRA-M, 2014, 506 p.
2. Bizhaev A. V. Otsenka parametrov traktora s elektroprivodnym silovym agregatom [Estimation of parameters of a tractor with an electrically driven power unit]. *Sel'skokhoziaistvennyye mashiny i tekhnologii*, 2020, vol. 14, no. 4. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-0-0.
3. Bizhaev A. V. Problemy vybora tipa privoda silovogo agregata traktora na elektricheskoi tiage [Problems of choosing the type of drive of the

power unit of a tractor on electric traction]. *Chteniia akademika V. N. Boltinskogo*, 2020, pp. 247-252.

4. Patent 2657136 Russia Federation, G01M17/00, B60C23/00. Method for determining kinematic misalignment in transmissions of multi-axle four-wheel drive vehicles / A. N. Simonenko. No. 2017118034, appl. 24.05.2017; publ. 08.06.2018.

5. Smirnov Yu. A., Mukhanov A. V. Elektronnye i mikroprocessornye sistemy upravleniia avtomobilei [Electronic and microprocessor control systems of automobiles]. Saint Petersburg, Lan', 2012, 624 p.

6. Lepeshkin A. V. Opyt ispol'zovaniia i perspektivy sozdaniia mnogoprivodnykh kolesnykh mashin povyshennoi prokhozimosti [Experience of use and prospects of creation of multi-drive wheeled vehicles with increased throughput]. *Izvestiia MGTU MAMI*, 2010, no. 2 (10), pp. 54-65.

Об авторах:

Девянин Сергей Николаевич, профессор кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), доктор технических наук, профессор, devta@rambler.ru.

Бизаев Антон Владиславович, старший преподаватель кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), кандидат технических наук, a.bizhaev@mail.ru.

About the authors:

Sergey N. Devyanin, professor of the Department of Tractors and Cars, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), D.Sc. (Engineering), professor, devta@rambler.ru.

Anton V. Bizhaev, senior lecturer of the Department of Tractors and Cars, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Engineering), a.bizhaev@mail.ru.