

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ БОКОВОГО УВОДА ВЕДУЩИХ И ВЕДОМЫХ ТРАКТОРНЫХ ШИН

Сергеев Н.В., Липкович И.Э.

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, Зерноград

Ключевые слова: шина, качение, деформация, боковой увод, контактный отпечаток, скольжение.

Аннотация. В реальных условиях движения машинно-тракторных агрегатов происходит по криволинейной траектории. Такая траектория не обусловлена технологическим процессом выполняемой операции и является следствием воздействия различных возмущающих факторов. При этом труд водителя становится более напряженным, качество работы ухудшается, а производительность агрегата падает. Поэтому повышение устойчивости и управляемости агрегата, при криволинейном движении, является актуальной задачей. Цель работы – определить основные характеристики динамического бокового увода шин тракторных колёс. Задача заключается в получении соответствующих аналитических зависимостей, характеризующих суммарный боковой увод шины на сминаемом грунте при наличии буксования ведущего (скольжения ведомого) колеса. В данной работе произведём качественно-теоретический анализ динамического бокового увода тракторных шин. Боковой увод шин применительно к условиям качения тракторных колёс, когда контактный отпечаток скользит относительно опорной поверхности, существенно влияет на динамические показатели трактора, точность его движения и производительность. Такие показатели агрегата в движении рыскания, как устойчивость, манёвренность, чувствительность к возмущающим воздействиям существенно зависят от динамического увода шин.

ANALYTICAL DEPENDENCES OF LATERAL DEFLECTION OF DRIVING AND DRIVEN TRACTOR TIRES

Sergeev N.V., Lipkovich I.E.

Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University, Zernograd

Keywords: tire, rolling, deformation, lateral deflection, contact imprint, sliding.

Abstract. In real conditions, the movement of machine-tractor units takes place along a curved trajectory. This trajectory is not determined by the technological process of the operation being performed and is a consequence of the influence of various disturbing factors. At the same time, the driver's work becomes more stressful, the quality of work deteriorates, and the unit's productivity decreases. Therefore, increasing the stability and controllability of the unit, with curved movement, is an urgent task. The purpose of the work is to determine the main characteristics of dynamic lateral deflection of tractor wheel tires. The task is to obtain the appropriate analytical dependencies characterizing the total lateral deflection of the tire on the crumpled ground in the presence of slipping of the driving (sliding of the driven) wheel. In this paper, we will perform a qualitative and theoretical analysis of the dynamic lateral deflection of tractor tires. Lateral tire deflection in relation to the rolling condition of tractor wheels, when the contact print slides relative to the bearing surface, significantly affects the dynamic performance of the tractor, the accuracy of its movement and productivity. Such indicators of the unit in the yaw movement as stability, maneuverability, sensitivity to disturbing influences significantly depend on the dynamic deflection of tires.

Введение

Улучшение эксплуатационных качеств трактора и агрегата немыслимо без всесторонних научных исследований. Этому большое значение придавал В.П. Горячкин. Основоположниками научной школы в области автотракторной техники являлись Е.А. Чудаков и Е.Д. Львов. Указанные вопросы получили дальнейшее развитие в работах В.Н. Болтинского, В.И. Анохина, М.И. Медведева, Я.М. Повзнера, А.Б. Лурье, Л.А. Борошок, Ю.К. Киртбая, В.В. Гуськова, Г.Н. Шепеленко, В.В. Котлярова, В.Г. Ярового, В.А. Кравченко, С.Г. Пархоменко и др.

Данная работа посвящена исследованию динамического бокового увода тракторных шин. В дальнейшем изложении динамический боковой увод будет называться сокращенным термином – боковой увод.

Объектом исследования является качение пневматической тракторной шины с боковым уводом на сминаемой и несминаемой опорной поверхности.

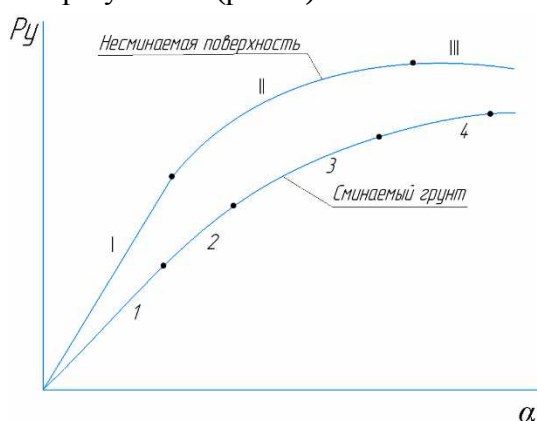
Результаты исследования

В общем случае качения колеса с боковым уводом наличие угла увода α может быть представлена как сумма нескольких слагаемых

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3,$$

где α_1 – угол увода вследствие изгиба и сдвига протекторных слоев в боковом направлении; α_2 – угол увода из-за перекатывания профиля шины в боковом направлении; α_3 – угол увода из-за скольжения контактного отпечатка в боковом направлении при качении колеса на сминаемом грунте.

Исследования [1-6] показывают, что в случае несминаемой опорной поверхности графики зависимости угла увода α от действующей на колесо боковой силы P_y можно разбить на три участка (рис. 1).



- I – увод обусловлен только боковой эластичностью шины;
 II – увод обусловлен не только боковой эластичностью шины, но и проскальзыванием отдельных элементов контактного отпечатка; III – область скольжения охватывает весь контактный отпечаток и боковой увод переходит в занос;
 1 – полное отсутствие скольжения основных предопределяющих элементов отпечатка и постоянное значение коэффициента сопротивления уводу; 2 – увод колеса происходит в следствие боковой эластичности шины, однако величина коэффициента сопротивления боковому уводу будет уменьшаться; 3 – боковой увод колеса представлен как суммарный увод, обусловленный не только боковой эластичностью шины, но и смятием почвы при скольжении отпечатка колеса в боковом направлении;
 4 – полное скольжение колеса

Рис. 1. График бокового увода шины

1. Участок I представляет собой зависимость, очень близкую к прямолинейной. Считается, что в этом случае увод обусловлен только боковой эластичностью шины при отсутствии скольжения отдельных элементов контактного отпечатка. Влияние перекатывания профиля шины в боковом направлении на величину угла увода незначительно [3]. Следует отметить, что вследствие неравномерности распределения удельного давления по длине контактного отпечатка [7, 8], проскальзывание элементов в задней части отпечатка, очевидно, начнется уже при малых значениях боковой силы. Однако, в пределах первого участка, это не оказывает существенного влияния на характер протекания зависимости $\alpha = \alpha(P_y)$, так как элементы в задней части контактного отпечатка, воспринимающие малую часть вертикальной нагрузки колеса, очевидно, воспринимают и относительно малую часть боковой реакции со стороны опорной поверхности.

Таким образом, для первого участка величина коэффициента сопротивления боковому уводу $K_y = K_{y0} = P_y / \alpha$ (как тангенс угла наклона к оси абсцисс) может считаться постоянной.

2. При дальнейшем возрастании боковой силы начнется проскальзывание элементов контактного отпечатка, воспринимающих основную часть вертикальной нагрузки. Теперь проскальзывание элементов уже значительно отражается на величине коэффициента сопротивления боковому уводу, вызывая его уменьшение (участок II); причем, чем больше длина области скольжения отпечатка, тем меньше значение коэффициента K_y [9]. Это объясняется тем, что в связи со скольжением отдельных элементов контактного отпечатка, боковая деформация (и, значит, боковой увод) шины как упругого звена, воспринимающего боковую силу, увеличивается в большей степени, чем в случае бокового увода при отсутствии скольжения элементов отпечатка. Скольжение отдельных элементов как бы увеличивает боковую эластичность шины тем, что в боковой деформации участвует относительно меньшая часть резинового тора шины, чем при отсутствии такого скольжения.

Таким образом, в пределах второго участка боковой увод на несминаемом грунте обусловлен также боковой эластичностью шины, как и для первого участка, но при этом проскальзывание элементов отпечатка, воспринимающих значительную часть вертикальной нагрузки, уже имеет существенное значение.

3. Третий участок характеризуется тем, что суммарная реакция $R_{\text{сум}} = \sqrt{X^2 + Y^2}$ (X – продольная реакция; Y – поперечная реакция) в контакте колеса с почвой достигает максимально возможной по сцеплению величины. В этом область скольжения охватывает весь контактный отпечаток, и боковой увод переходит в занос.

При качении колеса с боковым уводом на сминаемом грунте следует отметить определенные особенности. Известно, что сцепление колеса на сминаемом грунте, в отличие от не сминаемой поверхности, осуществляется не только за счет сил трения элементов контактной площадки о почву, но и за счет сил смятия почвы соответствующими упорными поверхностями шины. В последнем случае наблюдается скольжение контактной площадки колеса. Силы, действующие на колесо, могут быть по величине такими, что их восприятие опорной поверхностью осуществится за счет одних сил трения в контакте колеса, тогда при боковом увode, как и в случае несминаемой поверхности, можно выделить некоторые участки (рис. 1). Первый участок также будет характеризоваться отсутствием скольжения основных предопределяющих элементов отпечатка и постоянным значением коэффициента сопротивления уводу K_y . В пределах второго участка увод колеса происходит вследствие боковой эластичности шины, однако величина коэффициента сопротивления боковому уводу будет, по мере возрастания зоны скольжения отпечатка, уменьшаться. Так как при скольжении в боковом направлении задних элементов отпечатка, боковая реакция колеса обуславливается не только силами трения, но и силами смятия почвы, то уменьшение коэффициента K_y будет происходить в меньшей мере, чем при боковом увode колеса на несминаемом грунте.

И так, с возрастанием боковой силы область скольжения контактного отпечатка увеличивается и при определенном значении суммарной реакции $R_{\text{сум}}$ охватывает весь отпечаток. Этот момент характеризует начало третьего участка, где в отличие от увода на несминаемом грунте, заноса колеса не будет, так как реакции $R_{\text{сум}}$ еще не достигла своего максимально возможного значения по сцеплению. Тогда в пределах третьего участка боковой увод колеса может быть представлен как суммарный увод, обусловленный не только боковой эластичностью шины, но и смятием почвы при скольжении отпечатка колеса в боковом направлении. Одновременно со скольжением контактного отпечатка в боковом направлении будет происходить его скольжение и в продольном направлении, в противном случае колесо не воспринимало бы боковую силу [10].

Качение ведущего колеса будет сопровождаться буксованием, ведомого – скольжением.

По мере увеличения боковой силы величина бокового и продольного скольжения контактного отпечатка начнет возрастать до тех пор, пока не наступит полное скольжение колеса (четвертый участок). В этом случае суммарная реакция достигнет максимально возможного по сцеплению значения, и боковой увод перейдет в занос.

При выполнении колесным трактором основных сельскохозяйственных операций качение как ведущих, так и ведомых колес в большинстве случаев сопровождается скольжением их контактных отпечатков. Так, на сминаемом грунте, типа культиваторного поля, пара и т.д., качение ведомых колес происходит со скольжением в пределах 3...15%, буксование ведущих колес составляет 8...35% [11]. Тогда при действии на колесо боковой силы будет одновременное скольжение контактного отпечатка и в боковом направлении, то есть боковой увод будет характеризоваться как суммарный увод (рис. 2) и на графике зависимости $\alpha = \alpha(P_y)$ участков первого и второго в этом случае не будет.

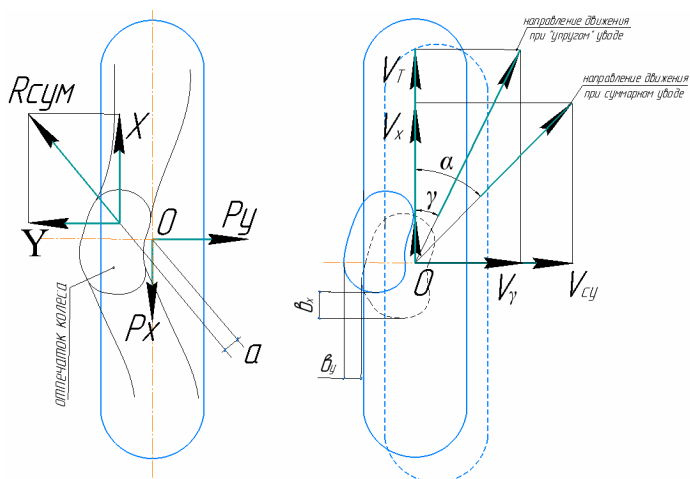


Рис. 2. Схема суммарного бокового увода ведущего колеса

P_y – боковая сила; P_x – продольная сила;
 O – центр отпечатка; V_y – скорость увода вследствие боковой эластичности шины;
 V_{cy} – скорость скольжения контактного отпечатка в боковом направлении; V_T – теоретическая скорость качения колеса; V_x – относительная скорость центра отпечатка; γ – угол расположения контактного отпечатка по отношению к продольной плоскости колеса; δ_x – величина смятия почвы почвозацепами колеса в продольном направлении; δ_y – величина смятия почвы почвозацепами колеса в поперечном направлении

Выводы

1. Боковой увод колеса на сминаемом грунте следует рассматривать как суммарный увод, происходящий вследствие боковой эластичности шины и скольжения отпечатка колеса при смятии почвы в боковом направлении.
2. Суммарный боковой увод характеризуется коэффициентом сопротивления уводу.

Список литературы

1. Беляев А.Н., Тришина Т.В., Новиков А.Е., Дьяченко Ю.В., Высоцкая И.А. Исследование движения колесной машины по криволинейной траектории // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 14, № 4(71). – С. 21-29. – doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_21-29.
2. Шухман С.Б., Соловьев В.И. Математическая модель криволинейного движения колеса по грунту // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – № 8. – С. 24-31.
3. Сергеев Н.В. Показатели бокового увода ведущего колеса на грунтовых основаниях // Научная молодежь – агропромышленному комплексу: сборник научных трудов. – Зерноград: Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия, 2003. – С. 166-169.
4. Маркина А.А., Давыдова В.В. Теория движения колесных машин: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. – 216 с.
5. Кравченко В.А., Меликов И.М. Влияние бокового увода шин на тягово-энергетические показатели движителя трактора тягового класса 5 // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 170. – С. 211-222. – DOI: 10.21515/1990-4665-170-012.
6. Zhakov A.O., Troyanovskaya I.P., Shepelev S.D. Method for Calculating the Limiting Shear Force Deviating from a Given Direction of Movement Using the Example of the B12 Bulldozer // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, 2022. – P. 779-787. – DOI: 10.1007/978-3-031-14125-6_76.
7. Кравченко В.А., Меликов И.М., Кондра Б.А. Влияние давления в шинах на агротехнологические показатели ходовых систем трактора класса 5 // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 167. – С. 164-176. – DOI: 10.21515/1990-4665-167-011.
8. Воронин Е. А что же с пятном? (... или о распределении давлений в зоне контакта колеса с опорной поверхностью) // DRIVE2.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/3251865/?ysclid=m5v7xue17q951686303>.
9. Гедроить Г.И., Занемонский С.В., Костенич В.Г., Белоусов В.А. Взаимодействие с почвой пневматических шин ведомых колёс // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – №3. – С. 140-143.
10. Тарнопольская Т.И., Сидорова О.В. Поперечная устойчивость транспортных средств с учетом демпфирующих свойств подвески // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2011. – Вып. 34. – С. 56-60.
11. Сергеев Н.В. Энергетика качения тракторных шин. – Зерноград: РИО Азово-Черноморского инженерного института – филиала ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2017. – 209 с.

References

1. Belyaev A.N., Trishina T.V., Novikov A.E., Dyachenko Yu.V., Vysotskaya I.A. Investigation of the movement of a wheeled vehicle along a curved trajectory // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2021, vol. 14, no.4(71), pp. 21-29. doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_21-29.
2. Shukhman S.B., Solovyov V.I. Mathematical model of curvilinear motion of a wheel on the ground // News of higher educational institutions. Mechanical engineering. 2012, no. 8, pp. 24-31.
3. Sergeev N.V. Indicators of lateral deflection of the driving wheel on unpaved bases // Scientific youth to the agro-industrial complex: collection of scientific papers. – Zernograd: Azov-Black Sea State Agroengineering Academy, 2003. – P. 166-169.
4. Markina A.A., Davydova V.V. Theory of motion of wheeled vehicles: textbook. – Yekaterinburg: Publ. house of the Ural University, 2021. – 216 p.
5. Kravchenko V.A., Melikov I.M. Influence of lateral tire deflection on traction and energy performance of tractor propulsion of traction class 5 // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2021, no. 170, pp. 211-222. – DOI: 10.21515/1990-4665-170-012.
6. Zhakov A.O., Troyanovskaya I.P., Shepelev S.D. Method for Calculating the Limiting Shear Force Deviating from a Given Direction of Movement Using the Example of the B12 Bulldozer // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, 2022. – P. 779-787. – DOI: 10.1007/978-3-031-14125-6_76.
7. Kravchenko V.A., Melikov I.M., Kondra B.A. Influence of tire pressure on agrotechnological parameters of class 5 tractor running systems // Polythematic online electronic scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2021, no. 167, pp. 164-176. – DOI: 10.21515/1990-4665-167-011.
8. Voronin E. And what about the stain? (... or about the pressure distribution in the contact area of the wheel with the bearing surface) // DRIVE2.RU [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.drive2.ru/b/3251865/?ysclid=m5v7xue17q951686303>.
9. Gedroit G.I., Zanamonsky S.V., Kostenich V.G., Belousov V.A. Interaction of pneumatic tires of driven wheels with soil // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2022, no. 3, pp. 140-143.
10. Tarnopolskaya T.I., Sidorova O.V. Lateral stability of vehicle with regards to the damping properties of suspension // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. 2011, iss. 34, pp. 56-60.
11. Sergeev N.V. Rolling power engineering of tractor tires. – Zernograd: RIO of the Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the DonSAU, 2017. – 209 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Сергеев Николай Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация и технический сервис наземных транспортно-технологических средств»	Sergeyev Nikolay Viktorovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department "Operation and technical service of ground transportation and technological facilities"
Липкович Игорь Эдуардович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Физическая культура, спорт и техносферная безопасность»	Lipkovich Igor Eduardovich – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department "Physical culture, sports and technosphere safety"
sergeev-n.v@mail.ru	

Получена 13.01.2025