

УДК 631.372

А. Ю. РЕБРОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;

В. В. КУЧКОВ, аспирант НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА БУКСОВАНИЯ ТРАКТОРНЫХ ШИН

Приведен анализ аналитических зависимостей силы тяги тракторной шины от коэффициента буксования и физико-механических свойств грунта в соответствии с методиками, которые применяются при расчете процессов образования силы тяги трактора.

Ключевые слова: трактор, сила тяги, буксование, шина, нагрузка на колесо.

Введение. Известны методики аналитического определения касательной силы тяги тракторного колеса от коэффициента буксования, которые широко применяются в расчетах тяговых показателей колесных сельскохозяйственных тракторов. Данные методики позволяют определить тяговые показатели трактора на этапе проектирования, а также в процессе модернизации конструктивных параметров с целью повышения технико-экономических характеристик. Определение коэффициента буксования при выполнении различных технологических операциях по механической обработке почвы еще на этапе проектирования дает возможность выбора рационального типоразмера шин для конкретных почвенных условий и позволяет снизить буксование до допустимого значения. Поэтому анализ методик и зависимостей, которые применяются для аналитического определения тяговых показателей трактора, позволит выделить универсальную методику, которая будет наиболее близка к усредненным экспериментальным данным и удобна для использования при математическом моделировании.

Анализ последних достижений и публикаций. Исследование зависимости тягово-сцепных свойств ведущего колеса от буксования при взаимодействии с почвой решалась в работе [1], где было указано, что для каждой шины можно выбрать рациональную нагрузку, при которой будут получены наиболее высокие тягово-сцепные свойства.

В работах [1-3] представлены зависимости касательной силы тяги колеса от коэффициента буксования, которые могут быть использованы в математической модели. Они позволяют варьировать параметрами колеса, размерами шины, а также задавать физико-механические свойства грунтов.

Анализ [2] показывает, что методика определения касательной силы тяги колеса основана на преобразовании формул В.В. Кацыгина, вследствие чего получена характеристика взаимодействия тракторного колеса для связанных и несвязных грунтов, которая позволяет определить диапазон буксования колес, при котором касательная тяга колеса будет максимальна.

Цель и постановка задачи. Цель данной работы является анализ аналитических зависимостей касательной силы тяги колеса от буксования и выбор наиболее удобной методики для математического моделирования. Обоснование применяемой модели взаимодействия колеса с опорным основанием позволит получить универсальную характеристику тракторной шины в удобном для анализа технико-экономических показателей МТА виде.

© А. Ю. Ребров, В. В. Кучков, 2012

Математическая модель и алгоритм решения задачи. Математическая модель касательной силы тяги в функции коэффициента буксования основана на варьировании нагрузкой на колесо, параметрами колеса (давление в шине и ее размерами) и физико-механическими свойствами грунта.

Тягово-сцепные свойства колеса от коэффициента буксования определяются с использованием зависимости [1]:

$$F_{K1} = \frac{f_{CK} \cdot k_{\tau} \cdot G}{\delta \cdot L} \cdot \left[\ln \operatorname{ch} \frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}} - f_{\text{пр}} \left(\frac{1}{\operatorname{ch} \frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

где G – нагрузка на колесо;
 f_{CK} – коэффициент трения скольжения;
 δ – буксование колеса;
 L – длина поверхности контакта колеса с почвой;
 k_{τ} – коэффициент деформации;
 $f_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент трения.

Преобразование предложенных В.В. Кацыгиным [2] зависимостей позволило получить формулу определения касательной силы тяги колеса:

$$F_{K2} = G \cdot f_{CK} \cdot \operatorname{th} \frac{1-\delta}{k_{\tau}} \cdot \left(1 + \frac{f_{\text{пр}}}{\operatorname{ch} \frac{1-\delta}{k_{\tau}}} \right) \quad (2)$$

Касательная сила тяги колеса, приведенная в работе [2]:

$$F_{K3} = \frac{f_{CK} \cdot k_{\tau} \cdot G}{\delta \cdot L} \cdot \left[\ln \operatorname{ch} \frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}} - f_{\text{пр}} \cdot \left(\frac{1}{\operatorname{ch} \frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \right] + 2 \cdot \tau_{\text{ср}} \cdot \frac{h_{\Gamma} \cdot L}{t} \quad (3)$$

где $\tau_{\text{ср}}$ – напряжения среза;
 h_{Γ} – высота грунтозацепа;
 t – шаг грунтозацепа.

Для определения касательной силы тяги ведущего колеса от коэффициента буксования в работе [3] используется зависимость:

$$F_{K4} = (C_C \cdot F + G \cdot \operatorname{tg} \varphi_C) \cdot \left\{ 1 - \frac{k_c \cdot (1-\delta)}{\delta \cdot L} \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{\delta \cdot L}{k_c \cdot (1-\delta)} \right) \right] \right\} \quad (4)$$

где k_c – коэффициент деформации грунта;

C_c – сдвигающие напряжения;

F – площадь поверхности контакта;

φ_c – угол внутреннего трения в почве.

Представленные аналитические зависимости касательной силы тяги колеса от коэффициента буксования для тракторных шин были проанализированы на предмет решения обратной задачи по определению коэффициентов буксования по известной касательной силе тяги. В аналитическом виде такое решение не было получено. Такая задача для зависимостей (1-4) требует численных методов решения.

Анализ результатов исследования. Аналитические зависимости сравнивались на примере шины 23,1 R26 при нагрузке на колесо 20 кН, давлении воздуха 0,1 МПа на почве тяжелого суглинка и приведены на рис. 1.

Увеличение размера шины, т.е. его диаметра и ширины при одной и той же нагрузке на колесо позволяет повысить тягово-сцепные свойства колеса. Такое повышение касательной силы тяги колеса объясняется увеличением площади пятна контакта с опорной поверхностью F (зависимость 4) и длины пятна контакта L (зависимости 1-4). Значения площади пятна контакта и его длины определяются для тракторной шины внутришинным давлением и нагрузкой на ось колеса и зависят от радиальной деформации шины [4].

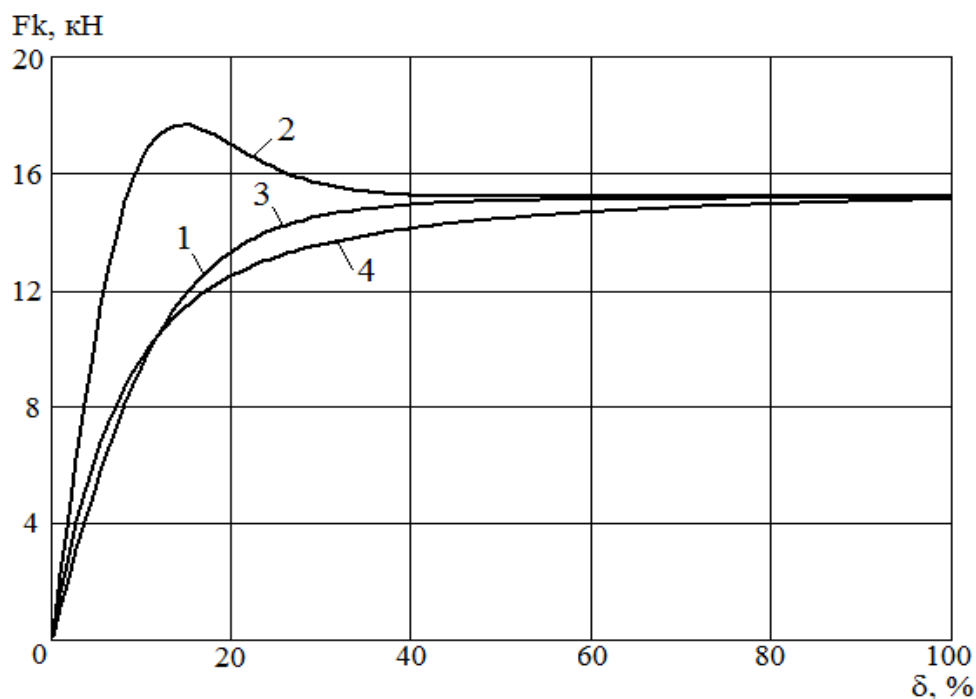


Рисунок 1 – Зависимости касательной силы тяги от коэффициента буксования:
1 – 4 – рассмотренные аналитические зависимости (1-4)

На рис. 1 представлены зависимости касательной силы тяги колеса от коэффициента буксования рассмотренных методик (1-4).

Кривые 1 и 3, которые соответствуют зависимостям (1) и (3) практически совпадают. Поэтому в зависимости (3) второе слагаемое, учитывающее высоту и шаг грунтозацепа, длину площади контакта и напряжения среза можно опустить и использовать зависимость (1).

Кривая 2 в соответствии с зависимостью (2) имеет выпуклость, которая характерна для связных грунтов. Максимум касательной силы тяги зависит от нагрузки на колесо, с увеличением которой растет и смещается в зону более низких значений

буксования [1]. Поэтому для более нагруженных шин или тракторов большей массы возможно более жесткое ограничение по допустимому буксованию в сравнении с тракторами малой массы [1]. При увеличении давления в шине максимальная касательная сила снижается и возникает при большем буксовании.

Кривая 4 качественно повторяет 1 и 3, хотя имеются количественные отличия для одной и той же шины, не превышающие 6-7%. Отличие, скорее всего, обусловлено учетом площади контакта F в зависимости (4).

Все зависимости хорошо согласуются при высоких значениях буксования, а при 100% буксовании – практически совпадают.

Для математического моделирования процесса образования силы тяги тракторной шины могут использоваться все приведенные зависимости: (1, 3, 4) – для несвязных грунтов и зависимость (2) – для связных. Для численного решения задачи определения коэффициентов буксования в зависимости от силы тяги наиболее удобны зависимости: (1, 3, 4), а при реализации зависимости (2) возникает неопределенность, связанная с тем, что одной и той же силе тяги могут соответствовать два значения буксования. Поэтому численное определение буксования с использованием зависимости (2) требует отдельного решения на восходящей и нисходящей ветвях.

Выводы

1. Приведенные зависимости (1, 3, 4) достаточно хорошо согласуются и могут быть использованы при моделировании, в том числе и при численной реализации задачи определения коэффициентов буксования по известной касательной силе тяги.
2. Зависимость (2) применима для моделирования взаимодействия тракторной шины со связными грунтами. Для численной реализации задачи определения коэффициентов буксования по известной касательной силе тяги требуется отдельное решение на восходящей и нисходящей ветвях зависимости. В процессе моделирования возникает неопределенность, связанная с тем, что нельзя однозначно определить коэффициент буксования шины при касательной силе тяги в интервале $[P_{\text{куст}}, P_{\text{кmax}}]$, так как он может быть отнесен либо к восходящей, либо нисходящей ветви зависимости.

Список литературы: 1. Гуськов А.В. / Оптимизация тягово-сцепных качеств тракторных шин. – Тракторы и сельхозмашины. – №7, 2007. – С.19–21. 2. Гуськов В.В., Велев Н.Н., Атаманов Ю.Е., и др. / Тракторы: Теория – М.: Машиностроение, 1988. – 376с. 3. Шепеленко Г.Н. / Основы теории самоходных машин. – Харьков: Основа, 1993. – 216с. 4. Самородов В.Б., Ребров А.Ю. / Развитие классических методов тягового расчета трактора с учетом основных технико-экономических показателей МТА. – Автомобіле- і тракторобудування. – № 58, 2008. – С.11–20.

Поступила в редколлегию 30.11.2012

УДК 631.372

Анализ аналитических зависимостей для определения коэффициента буксования тракторных шин / А. Ю. Ребров, В. В. Кучков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 64 (970). – С. 22–25. – Бібліогр.: 4 назв.

Наведений аналіз аналітичних залежностей сили тяги тракторної шини від коефіцієнта буксування і фізико-механічних властивостей ґрунту відповідно до методик, які застосовуються при розрахунку процесів утворення сили тяги трактора.

Ключові слова: трактор, сила тяги, буксування, шина, навантаження на колесо.

The article summarizes the analytical relationships tractor tire traction force from slipping rate and physical properties of soil in accordance with the methods that are used in the calculation of the formation of tractor traction force.

Key words: tractor, pulling force, slippage, tire, wheel load.