

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ЖЕСТКОГО КОЛЕСА МОТОАГРОТЕХНИКИ

Овсянников С.И. к.т.н., доц., Саблина М.А., аспирант

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Рассмотрены вопросы механики взаимодействия жесткого колеса, оснащенного грунтозацепами, в ведущем режиме при движении по деформируемому основанию. Предложена методика и зависимости для расчета касательной силы тяги и деформации грунта в нормальном направлении, отличные от существующих тем, что учитываются режимы нагрузки и свойства опорного основания. Представлен алгоритм расчета длины пятна контакта движителя с опорным.

Ключевые слова: касательная сила тяги, глубина колеи, деформация почвы, буксование.

Введение. Мотоагротехника занимает все больше места в сельскохозяйственном производстве [1]. Однако, недостаточный сцепной вес не позволяет развивать тяговые свойства, достаточные для выполнения энергоемких операций с пассивными рабочими органами – вспашка, культивация и пр. Для повышения сцепных качеств применяют металлические колеса с развитыми грунтозацепами. Экспериментальные исследования [2] показали, что в зависимости от геометрических параметров движителей их тяговые свойства значительно отличаются. Естественно, что при проведении прочностных расчетов и определении надежности работы мотоагрегатов (МА) необходимо иметь достоверные расчетные данные по тягово-сцепным и энергетическим показателям взаимодействия движителей МА в зависимости от их геометрических параметров.

Обзор последних исследований и публикаций. Тягово-сцепные показатели движителей оцениваются следующими показателями [3]: глубина образования колеи h , касательная сила тяги P_k , сила сопротивления качению P_f , буксование δ , сцепление φ , удельное давление на почву p , передаваемая мощность $N_{кр}$ и КПД движителя η . Движитель является своего рода трансформатором передачи энергии, подводимой к оси колеса (привода движителя), и реализация ее при взаимодействии с опорным основанием в тяговое усилие, совершающее полезную работу.

Наиболее значительный вклад в теорию качения колеса и определения его тягово-сцепных свойств внесли Беккер М.Г., Покровский Г.И., Кацыгин В.В. и многие другие [3, 4, 5]. Для определения касательной

силы тяги наиболее часто применяют зависимость, предложенную Кацыгиным В.В.:

$$P_k = P_{CD} + P_{CP} = \frac{f_{ck} k_r G}{\delta L} \left[\ln \operatorname{ch} \frac{\delta L}{k_r} - f_{np} \left(\frac{1}{ch \frac{\delta L}{k_r}} - 1 \right) \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_r L}{t} \quad (1)$$

Но практическое применение данной зависимости сопряжено с определенными трудностями – для расчетов касательной силы необходимо задать величину буксования, которая не известна. На практике зачастую известна требуемая касательная сила или подводимый крутящий момент к оси движителя, а по этим значениям необходимо определить величину буксования и сцепные показатели взаимодействия движителей с опорным основанием.

Процесс взаимодействия гладкого металлического колеса с опорным основанием описан в работах [6, 7, 9], в которых рассматривается качение колеса как движение постоянно опрокидывающегося рычага. Такой подход позволил достаточно точно описать физику качения, образования деформации грунта, буксования и скольжения движителя относительно опорного основания, тягово-скоростные показатели движения. Однако в данных работах не рассмотрены вопросы взаимодействия грунтозацепов с опорным основанием и определение составляющей касательной силы от этого взаимодействия.

Поэтому, **целью работы** является теоретическое обоснование тягово-сцепных свойств движителей с развитыми грунтозацепами МА на основе процессов объемной деформации почвы.

Результаты работы. Как отмечается в различных источниках, касательная сила образуется от сил трения покоя и скольжения. В случае, если касательная сила не превышает силу, развиваемую за счет сил трения покоя $P_k \leq T_{II}$, Кацыгиным В.В. предложена зависимость:

$$P_k = T_{II} = f_{II} \cdot N \quad (2)$$

где N – нормальная нагрузка на движитель, Н;

$$f_{II} \text{ – коэффициент трения покоя: } f_{II} = tg\varphi + \frac{T_O}{N} = tg\varphi + \frac{\tau_O}{p},$$

здесь T_O – молекулярные и капиллярные силы сцепления, Н;

τ_O – молекулярные и капиллярные силы сцепления, отнесенные к площади соприкасающихся тел, Па;

φ – угол внутреннего трения грунта;

p – удельное давление в пятне контакта, Па.

Максимально возможную силу трения покоя определим по формуле (3), а с учетом полноты контакта протектора – по формуле (4):

$$P_k = T_{I\max} = N \left(\operatorname{tg} \varphi + \frac{\tau_o}{p} \right) = N \cdot \operatorname{tg} \varphi + F \cdot \tau_o \quad (3)$$

$$P_k = T_{I\max} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi + B \cdot L \cdot k_{np} \cdot \tau_o \quad (4)$$

где F – площадь пятна контакта, $F = B \cdot L \cdot k_{np}$,

здесь B – ширина движителя, м;

L – длина пятна контакта движителя с опорным основанием, м;

k_{np} – коэффициент, учитывающий полноту заполнения рисунка протектора.

Движение по твердым основаниям с хорошими сцепными качествами (бетонное или асфальтное покрытие, укатанная грунтовая дорога и т.п.) осуществляется в основном за счет сил трения покоя.

В случае превышения внешних сил сопротивления силы трения покоя происходит проскальзывание движителя относительно опорного основания, которое характеризуется меньшими сцепными возможностями [3]. На рыхлых грунтах, к которым относятся агрофоны с.-х. культур, силы трения покоя незначительны и обусловлены силами молекулярного сцепления почвы с протектором движителя. Для улучшения сцепных свойств движители оснащают грунтозацепами. Учитывая, что под действием внешних сил происходит смятие почвы в нормальном и тангенциальном направлениях, касательная сила тяги образуется под действием сил трения скольжения движителя относительно опорного основания, смятия грунта грунтозацепами в тангенциальном направлении и среза грунта боковыми гранями грунтозацепов [3] (5).

Действие сил трения скольжения пропорционально нормальной нагрузке N и приведенному коэффициенту трения $f_{\text{ПР}}$ [3] и рассчитывается по зависимости (6). Силы, образующиеся при срезе грунта боковыми гранями грунтозацепов, предложено определять по формуле (7) [8].

$$P_k = T_{CK} + T_{CM} + T_{CP} \quad (5)$$

$$T_{CK} = f_{\text{ПР}} \cdot N \quad (6)$$

$$f_{\text{ПР}} = \left(\frac{f_{\text{П}} + f_{CK}}{f_{CK}} \right)^c \cdot \mu$$

где $f_{\text{П}}$ – коэффициент трения покоя;

f_{CK} – коэффициент трения скольжения;

μ и c – коэффициенты, определяемые экспериментально, по данным [3] $\mu=2,55$, $c=0,825$.

$$T_{CP} = 2 \cdot \tau_{CP} \cdot \frac{h_{гр} L}{t_{сп}} = 2 \cdot \tau_{CP} \cdot h_{гр} \cdot n_{сп} \quad (7)$$

где $n_{гр} = \frac{L}{t_{гр}}$ – количество грунтозацепов, находящихся в контакте с почвой;

$t_{сп}$ – шаг грунтозацепов, м.

Для определения действия сил от смятия грунта Кацыгиным В.В. предложена зависимость на основе гиперболических преобразований [3], но для ее применения необходимо задаваться величиной буксования (деформацией грунта в тангенциальном направлении Δ). На практике же зачастую известна сила внешнего сопротивления движению, а по ней необходимо определить величину буксования. Поэтому, для определения данной составляющей предлагается следующая методика.

Смятие почвы происходит при выходе последнего грунтозацепа из контакта с грунтом. При этом касательная сила, приходящаяся на поверхность грунтозацепов возрастает, что приводит к деформации почвы на каждом грунтозацепе на величину Δ (рис.1). Тогда $\Delta_{max} = \Delta \cdot n_{гр}$.

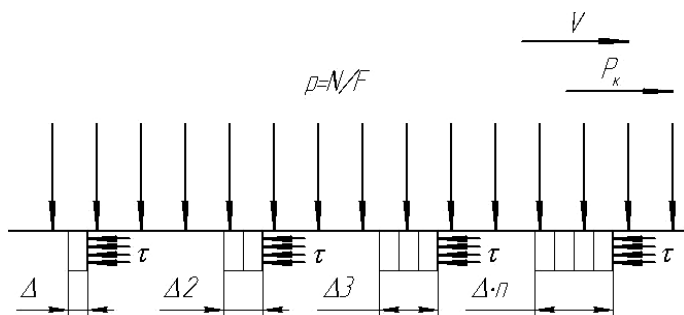


Рис.1. Схема взаимодействия грунтозацепов с опорным основанием.

Деформация почвы в тангенциальном направлении является таким же объемным смятием, как и в нормальном направлении. Единственным отличием является ограничение: в нормальном направлении – текучесть грунта при σ_0 , а в тангенциальном – отрыв грунтовых кирпичиков между грунтозацепами от основного массива.

$$\Delta = \frac{\sigma_o}{k_\tau} \operatorname{arcth} \frac{P_{\text{CM}}}{\sigma_o} \quad (8)$$

$$P_{\text{CM}} = \frac{P_{\text{K}} - P_{\text{II}} - P_{\text{CP}}}{F_{\text{ГР}}} \quad (9)$$

$$F_{\text{ГР}} = B \cdot h_{\text{ЭП}} \cdot n_{\text{ЭП}} = B \cdot h_{\text{ЭП}} \cdot \frac{L}{t_{\text{ЭП}}} \quad (10)$$

$$\text{Тогда, } \Delta = \frac{\sigma_o}{k_\tau} \operatorname{arcth} \frac{P_{\text{CM}}}{\sigma_o \cdot B \cdot h_{\text{ЭП}} \cdot n_{\text{ЭП}}}$$

Длина пятна контакта зависит от глубины образовавшейся колеи под действием нормальной нагрузки на движитель. Для расчета глубины колеи учеными предложены различные зависимости [3, 4, 5]. Наиболее точно процесс образования колеи описывается гиперболической зависимостью (11), предложенной Кацыгиным В.В. [8]. После преобразования получим зависимость для расчета глубины колеи (12).

$$\frac{P}{\sigma_o} = th \left(\frac{k}{\sigma_o} h \right) \quad (11)$$

$$h = \frac{\sigma_o}{k} \operatorname{arcth} \frac{P}{\sigma_o} \quad (12)$$

где σ_o – нормальные напряжения в почве

k – коэффициент объемного смятия

p – удельное давление в пятне контакта: $p = \frac{N}{F} = \frac{N}{B \cdot L}$.

Длина пятна контакта колеса с грунтом будет определяться длиной дуги колеса на углу охвата $L = r \cdot \alpha$, где $\alpha = \arccos \frac{r-h}{r}$.

Расчет производится методом приближения в соответствии с алгоритмом, представленным на рис.2 до достижения заданной точности. В данном случае можно принять точность расчетов глубины колеи h не более 1 мм.

Длина контакта гусеничного движителя будет состоять из криволинейного участка L_o и прямолинейного L_1 - $L = L_o + L_1$. Восстановление почвы после проезда движителя достаточно мало и им можно пренебречь.

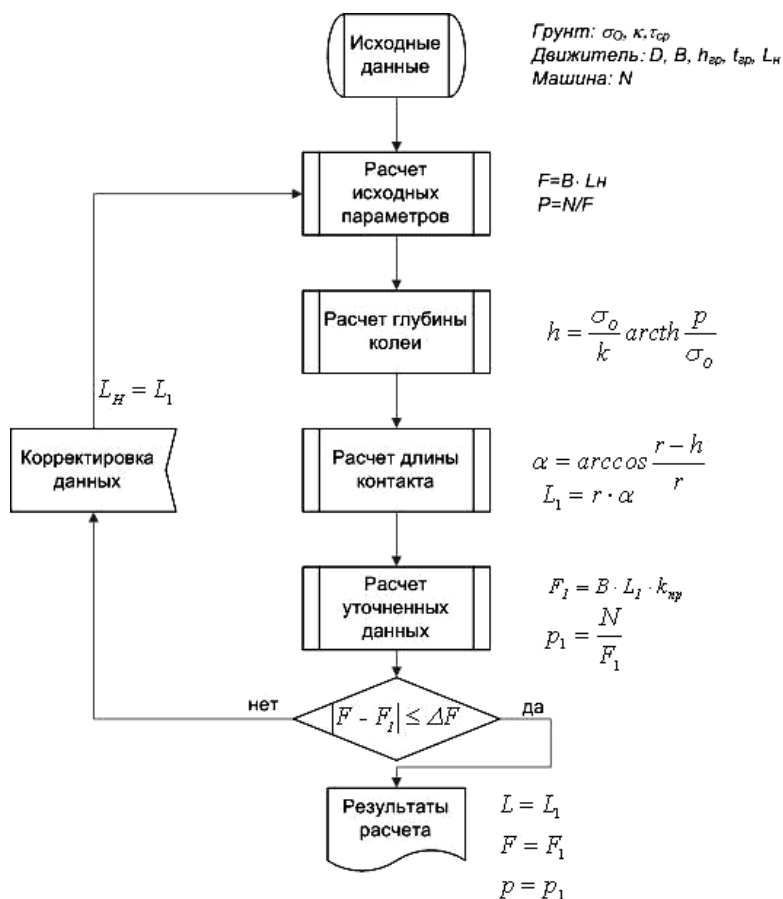


Рис. 2. Схема алгоритма расчета длины контакта жесткого колеса с опорным основанием.

Выводы. Представленная методика, алгоритм расчета и основные зависимости позволяют определить тяговые параметры двигателей в зависимости от нормальной нагрузки и сил внешнего сопротивления.

Список использованных источников

1. Овсянников С. И. Сільськогосподарські домогосподарства України: проблеми і перспективи / С. И. Овсянников // Техніка і технології АПК, - 2014, - № 12. – С. 16 – 20.
2. Овсянников С. И. Исследование тяговых параметров пневматических

- шин мотоагротехники на рыхлых почвах / С. И. Овсянников // Вісн. ХНТУСГ. Технічні науки: вип. 124 «Механізація с.-г. виробництва», том 2. – Х.: 2012. – С. 75-80.
3. Тракторы: теория: Учебник для студентов вузов по специальности Автомобили и тракторы» / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение. – 1988. – 376 с.
 4. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков // - М.: ИНФРА-М, 2014. – 506 с.
 5. Беккер М. Г. Введение в теорию систем местность-машина / М. Г. Беккер // - М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
 6. Овсянников С. И. К вопросу о качении жесткого колеса мотоагротехники / С. И. Овсянников // Наук. видання Вісн. ХНТУСГ, вип. 136 «Системотехніка і технології лісового о комплексу», – Х.: 2013. - С. 43-55.
 7. Лопарев А.А. К вопросу о качении колеса с эластичной шиной / А.А. Лопарев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. - №4. – С. 26-27.
 8. Гуськов В. В. Тракторы. Ч. II. Теория. – Минск : Высшая школа, 1977. - 384 с.
 9. Овсянников С. И., Борис Н. М., Мохов С. П., Симанович В. А. К вопросу о качении жесткого колеса / С. И. Овсянников, Н. М. Борис, С. П. Мохов, В. А. Симанович // Вестник СевНТУ. Сборник научных трудов. Вып. 143/2013. Серия: Машиноприборостроение и транспорт. – Сев.: 2013. – С. 74 – 78.

Анотація

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЯГОВО-СЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖОРСТКОГО КОЛЕСА МОТООАГРОТЕХНІКИ

Овсянніков С.І., Сабліна М.О.

Розглянуті питання механіки взаємодії жорсткого колеса, оснащеного ґрунтозачепами, у ведучому режимі під час руху по основі, що деформується. Запропоновані методика і залежності для розрахунку дотичної сили тяги і деформації ґрунту у нормальному напрямленні, які відрізняються від існуючих тим, що враховують режими навантаження і властивості опорної основи. Представлений алгоритм розрахунку довжини сліду контакту рушія з опорною основою.

Ключові слова: дотична сила тяги, глибина колії, деформація ґрунту, буксування.

Abstract

RELATED TO THE QUESTION OF THE TRACTION CHARACTERISTICS DETERMINATION OF MOTOAGROTECHNICS' HARD WHEEL

Ovsyannikov S. I., Sablina M.A.

Examined the problems of the mechanics interaction of the hard wheel equipped with the lugs in a master mode when driving on deformable substrates. Proposed a method and dependencies for calculation of tangent traction and soil deformation in the normal direction, which is different from the existing ones due to the recorded load modes and properties of the supporting base. Presented an algorithm for calculating the length of the movers' contact patch with a reference.

Keywords: *tangential traction, rut depth, the deformation of soil slippage.*