

Литература

1. Врублевский Б.И., Лебедева С.Н. Основы энергосбережения - Г.: Центр научно-технических услуг «Развитие», 2002.
2. Столяров Г.В. Обоснование энергосберегающих направлений развития сельского хозяйства». Экономика сельскохозяйственных предприятий, №4, 2002.

УДК 631.43

ВЛИЯНИЕ КАСАТЕЛЬНОЙ СИЛЫ ТЯГИ НА РАЗРУШЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЧВЫ ХОДОВЫМИ СИСТЕМАМИ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИНО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Орда А. Н., доктор технических наук, профессор, Шкляревич В. А.
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

При взаимодействии ведущего колеса с почвой действуют силы сопротивления почвы сдвигу, силы трения между опорной поверхностью шины и почвой и силы среза почвенных кирпичей боковыми гранями почвозацепов. Передача крутящего момента колесом связана с буксованием δ . При этом происходит деформация и сдвиг почвы в горизонтальной плоскости. Наибольший сдвиг почвы S_{max} равен:

$$S_{max} = \delta L, \quad (1)$$

где L - длина опорной поверхности колеса.

Касательная сила тяги, развиваемая i -й осью многоосного колесного хода включает силу сопротивления почвы сдвигу $P_{сд}$ и силу трения протектора по почве $P_{тр}$ [1]:

$$P_{кi} = P_{сдi} + P_{три}. \quad (2)$$

Составляющая касательной силы тяги, развиваемая i -ым колесом за счет сопротивления почвы сдвигу $P_{сдi}$, равна

$$P_{сдi} = (1 - k_n) \int_0^{L_i} \nu B \tau(x) dx, \quad (3)$$

где k_n - коэффициент насыщенности рисунка протектора; L_i - длина контакта i -того колеса с почвой, м; ν - коэффициент, зависящий от состояния почвы и давления воздуха в шине; B - ширина колеса, м; $\tau(x)$ - функциональная зависимость между напряжением сдвига и деформацией почвы.

Для определения напряжений сдвига τ в зависимости от деформации S Покровский Г. И. использовал гипотезу о "контактной" сущности прочности почв и предложил следующую формулу [2]:

$$\tau = (c_1 e^{-c_2 S} + c_2) (1 - e^{-c_3 S}), \quad (4)$$

где c_1 , c_2 , c_3 и c_4 - постоянные эмпирические коэффициенты.

В земледельческой механике наибольшее распространение находит следующая зависимость между напряжением σ сжатия и осадкой штампа h [1]:

$$\sigma = p_0 th \left(\frac{k}{p_0 h} \right), \quad (5)$$

где p_0 - предел несущей способности почвы, Па; k - коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³.

Обобщая структурные особенности формул (4) и (5) и экспериментально установленные закономерности процесса сдвига связанных почв, Кашыгин В. В. предложил следующую зависимость между напряжением сдвига τ и деформацией почвы [3]:

$$\tau = f_{сд} \sigma \left[1 + \frac{f_{тр}}{ch(S/k_0)} \right] th \left(\frac{S}{k_n} \right), \quad (6)$$

где $f_{сд}$ - коэффициент трения скольжения; $f_{тр}$ - приведенный коэффициент трения.

$$f_{тр} = \frac{4f_n - 3f_{сд}}{2f_{сд}}, \quad (7)$$

где f_n - коэффициент трения покоя; k_0 - коэффициент деформации, м;

$$k_a = \frac{S_0}{\text{Arch}\left(\left(1 + \sqrt{1 + 8f_{np}^2}\right) / 2f_{np}\right)}, \quad (8)$$

где S_0 - величина деформации, соответствующая максимальному касательному напряжению, м.

Из зависимостей (3) и (8) находим составляющую касательной силы тяги, развиваемую i -ым колесом за счет сопротивления почвы сдвигу $P_{сд i}$:

$$P_{сд i} = (1 - k_a) \int_0^L v B f_{ср i} \sigma_i \left[1 + \frac{f_{np i}}{ch(\delta x / k_a)} \right] th \left(\frac{\delta x}{k_a} \right) dx, \quad (9)$$

где δx - длина элементарной площадки.

Контактное напряжение распределено по длине неравномерно. При аппроксимации эпюры распределения напряжения параболой [4] получено следующее соотношение между максимальным и средним напряжениями:

$$\sigma_{\max i} = \frac{3}{2} \sigma_{ср i} = \frac{3}{2} \frac{R_i}{v B L_i}, \quad (10)$$

где R_i - нормальная реакция почвы, действующая на колесо, Н.

Интегрируя зависимость (9), окончательно получаем с учетом формулы (10) составляющую касательной силы тяги за счет сдвига почвы $P_{сд i}$:

$$P_{сд i} = (1 - k_a) \frac{f_{ср i} k_a R_i}{\delta L_i} \left\{ \ln ch \left(\frac{\delta L_i}{k_a} \right) - f_{np} \left[\frac{1}{ch(\delta L_i / k_a)} - 1 \right] \right\}, \quad (11)$$

Составляющая касательной силы тяги за счет трения резины протектора по почве [4]:

$$P_{тр i} = k_n \sigma_{ср i} v B_i L_i \mu_{ср}. \quad (12)$$

где $\mu_{ср}$ - коэффициент трения скольжения резины протектора по почве.

Коэффициент трения скольжения зависит от скорости проскальзывания и нормального давления в пятне контакта [5]:

$$\mu_{ср} = \mu_n + \left[(\mu_{усл} - U \delta) - \mu_n \right] \left[1 - \frac{1}{\theta^n} \right], \quad (13)$$

где μ_n - коэффициент трения резины протектора о почву при отсутствии буксования; $\mu_{усл}$ - условный коэффициент трения скольжения резины протектора при $\theta \rightarrow \infty$ и $\delta \rightarrow 0$; U - угловой коэффициент; θ - коэффициент проскальзывания $\theta = 1/(1 - \delta)$; n - параметр, зависящий от типа и состояния почвы.

Зависимость (12) с учетом формул (10) и (13) примет вид:

$$P_{тр i} = k_n R_i \left\{ \mu_n + \left[\left(\mu_{усл} - U \frac{R_i}{v B L_i} \right) - \mu_n \right] \left[1 - (1 - \delta)^n \right] \right\}. \quad (15)$$

Подставив зависимость (11) и (14) в формулу (2), получим касательную силу тяги i -го колеса:

$$P_{i.} = (1 - k_a) \frac{f_{ср i} k_a R_i}{\delta L_i} \left\{ \ln ch \left(\frac{\delta L_i}{k_a} \right) - f_{np} \left[\frac{1}{ch(\delta L_i / k_a)} - 1 \right] \right\} + k_n R_i \left\{ \mu_n + \left[\left(\mu_{усл} - U \frac{R_i}{v B L_i} \right) - \mu_n \right] \left[1 - (1 - \delta)^n \right] \right\} \quad (16)$$

Зависимость (16) позволяет определить соотношение сил сопротивления почвы сдвигу и трения протектора о почву, определяющих касательную силу тяги. Особенно большое значение приобретает указанное соотношение сил для колесных систем, когда каждое последующее колесо движется по следу предыдущего.

Если шины оснащены развитыми почвозацепами, то след от прохода первого колеса имеет рифленый характер. При проходе второго колеса по следу первого затрачивается определенная работа на разрушение выступов почвы (почвенных «кирпичей») и последующее сжатие почвы под колесом в вертикальном и горизонтальном направлениях (образование новых «кирпичей»). Опытами установлено, что в данном случае сопротивление качению заднего колеса больше, чем переднего [6].

Проанализируем возможности развития высокой касательной силы тяги без образования почвенных «кирпичей». Сцепление колеса с почвой осуществляется при буксовании колеса. Величина буксования зависит не только от состояния почвенной поверхности, но и от рисунка протектора шины. При развитых почвозацепах поверхность сдвига колеса при предельном буксовании, то есть при срезе почвенных «кирпичей», проходит чаще всего по поверхности выступов почвозацепов. В этом случае составляющая касательной силы тяги за счет трения колеса о почву менее существенна, чем составляющая силы, осуществляемая за счет сопротивления сжатию и сдвигу почвы в продольном направлении. В описанном случае наблюдается рифленая поверхность в следе колес, что имеет отрицательные последствия в случае ходовой системы, когда колеса движутся по одному следу. Если же протектор шины обеспечивает высокое сцепление с почвой не за счет сдвига почвы развитыми почвозацепами, а в результате трения протектора шины с почвой, то можно добиться отсутствия впадин и выступов почвы в следе качения колеса. Исследованиями установлено, что при продольном сдвиге тела по почве имеет место деформация почвы не только на поверхности сдвига, но и на достаточной глубинах в почвенном массиве. Эти глубинные деформации почвы и способствуют увеличению касательного напряжения при сдвиге.

Поэтому рекомендуется применять протекторы шин, обеспечивающие хорошее сцепление с почвой не за счет сдвига почвы развитыми почвозацепами, а за счет трения протектора о почву. Благодаря этому в следе первого колеса удастся избежать рифленой поверхности, а следовательно удастся снизить затраты энергии на разрушение почвенных кирпичей при передвижении последующих колес.

Литература

1. Кацыгин, В. В. Влияние параметров колесных движителей на тягово-сцепные свойства тракторов / В. В. Кацыгин, А. Н. Орда, А. Я. Котлобай // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - Минск, 1982. 4. - с. 28 - 30.
2. Воронин, А. Д. Основы физики почв / А. Д. Воронин. - М.: Издательство МГУ, 1986. - 244 с.
3. Кацыгин, В. В. Вопросы сельскохозяйственной механики / В. В. Кацыгин. - Минск: Ураджай, 1964. - т. 13. - с. 5 - 147.
4. Кацыгин, В. В. Номинальные тягово-сцепные качества многоосных колесных ходовых систем / В. В. Кацыгин, А. Н. Орда, А. Я. Котлобай // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - Минск, 1978. 15. - с. 73 - 89.
5. Ульянов, Н. А. Теория самоходных землеройно-транспортных машин / Н. А. Ульянов - М.: Машиностроение, 1969. - 520 с.
6. Ксеневич, И. П. О работе тракторных тандем-колес / И. П. Ксеневич, В. А. Скотников // Тракторы и сельхозмашины. - 1978. 10. - с. 8 - 9.

УДК 631.43

СНИЖЕНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ КОЛЕСНО-ГУСЕНИЧНЫМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ

Орда А.Н., д.т.н., профессор, Алешкевич С.В., Селеш А.Б. к.т.н.
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

Весенне-полевые работы проводятся в условиях повышенной влажности почвы, что требует использования ходовых систем с повышенной проходимостью. Использование исключительно гусеничных ходовых систем сдерживается тем, что они повреждают дорожное покрытие и тем самым непригодны для движения по дорогам общего пользования. На весенне-полевых работах целесообразно использовать приспособления к колесным движителям: различные конструкции колесно-гусеничного хода. Это позволяет в нормальных почвенных условиях и при использовании энергетического средства на транспортных работах применять колесный движитель, а в тяжелых почвенных условиях использовать указанные приспособления. Таким образом, использование приспособлений для переоборудования колесного хода в колесно-гусеничный ход позволяет не только