

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ МЕЖДУ ПОЧВОЗАЦЕПАМИ

Ю.В. Чигарев, докт. ф.-м. наук, профессор (БГАТУ – Западнопоморский технологический университет, г. Шетин, Республика Польша); И.С. Крук, канд. техн. наук (БГАТУ); А. Бжостович, докт. техн. наук, профессор (Западнопоморский технологический университет, г. Шетин, Республика Польша); А.С. Воробей, канд. техн. наук (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»); Ф.И. Назаров, аспирант (БГАТУ)

Аннотация

В статье выполнены теоретические исследования процесса взаимодействия почвозацепов шин сельскохозяйственных агрегатов с почвой. Предложена методика определения плотности почвы между почвозацепами, определяемая начальной плотностью почвы, действующими силами со стороны почвы и колеса, модулем деформации почвы и коэффициентом Пуассона, размерами сторон почвозацепов, их расположением на беговой дорожке.

Theoretical studies of the interaction of tires grouser agricultural units with soil are made in the article. A method for determining the density of the soil between grouser initial soil density, forces acting on the part of the soil and the wheel, deformation modulus and Poisson's ratio of the soil, the size of the parties grouser their location on the treadmill is defined.

Введение

Как показывают полевые исследования, наибольшая деградация почвы в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники происходит в результате воздействия колесных движителей [1]. Контакт колеса с почвой происходит по некоторой области контакта, которая в силу рисунка протектора шины по своему уплотнению будет неоднородной [2]. Опорные колеса, оборудованные пневматической шиной в процессе взаимодействия с почвой также испытывают деформацию. Контактующая поверхность протекторов шин за счет рисунков обеспечивает необходимое сцепление с поверхностью основания. В зависимости от технологии обрабатываемой поверхности почвы на машинах и тракторах устанавливаются шины с соответствующим рисунком, которые должны соответствовать определенным параметрам: скольжению, липкости, износу и др. Одним из важнейших современных требований к эксплуатации машин и тракторов в поле является сохранение ими плодородия почв. Как известно, на плотность почвы оказывают влияние вес машин, опорная поверхность колес, скорость передвижения. Мало изученным остается вопрос о влиянии рисунка и износа протектора шины на уплотнение почв. В данной статье делается попытка определить степень влияния геометрии шины на изменение плотности почвы.

Основная часть

Методика исследований

На жестком основании деформирование шины определяется в основном нормальной деформацией почвозацепов. При движении ведущего колеса необхо-

димо, кроме сил трения между опорной поверхностью колеса и почвы, учитывать силы при упоре почвозацепов в почву и силы ее сдвига боковыми гранями. Почвозацепы, сдвигаясь, срезают почву в направлении, обратном движению. При установившемся движении колеса сдвиг и срез почвенных кирпичей происходит в основном в периоды выхода последнего почвозацепа из почвы (рис. 1). Все почвозацепы сдвигают и среза-

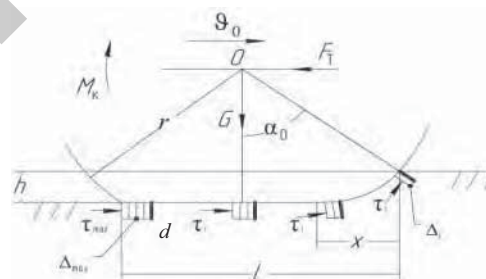


Рисунок 1. Взаимодействие почвозацепов эластичного колеса с почвой: $\vartheta_0 = \text{const}$ – скорость оси колеса; M_k – крутящий момент; F_T – продольная сила; τ_i – напряжения сдвига, приложенные к i -му почвозацепу; L – длина опорной поверхности; G – осевая нагрузка на колесо; α_0 – угол между вертикалью и входящим в почву почвозацепом.

ют почву на одинаковую величину. Если первый сдвигает почву на Δ_i , то второй – на $2\Delta_i$, третий – на $3\Delta_i$ и т. д. Величина Δ_i и число почвозацепов, находящихся в почве, зависят от ее физического состояния (рыхлая, средняя или твердая), размеров колеса и рисунка протектора. Если n – число почвозацепов в зацеплении опорной поверхности колеса с почвой, то в результате

зацепления от входа в почву до выхода из нее, почвозацеп срежет почву на величину [2]

$$\Delta_{\max} = n\Delta_i.$$

Если известна длина опорной поверхности колеса L , то наибольший сдвиг и срез почвы можно записать через коэффициент буксования δ в виде

$$\Delta_{\max} = \delta L.$$

Из записанных двух формул имеем

$$\delta = \frac{n\Delta_{\max}}{L}.$$

Т.е. коэффициент буксования колеса зависит от количества почвозацепов в зоне контакта, длины контакта и свойств почвы, которые учитываются сдвигом почвы Δ_{\max} .

Касательная сила тяги колеса, необходимая для преодоления сдвига почвы почвозацепом, выражается соотношением

$$F_{ke} = \int_0^L \tau_k dA = \int_0^L b\tau_k dx, \quad (1)$$

где τ_k – проекция касательного напряжения на ось x от k -го грунтозацепа, Н/м^2 ;

dA – элементарная площадка опорной поверхности колеса, равная $dA = bdx$, м^2 ;

b – ширина колеса ($b = 2l \sin \beta$, l – длина боковой грани почвозацепа), м ;

β – угол, характеризующий положение почвозацепа на колесе (рис. 2), град;

dx – длина элементарной площадки вдоль опорной поверхности L , м .

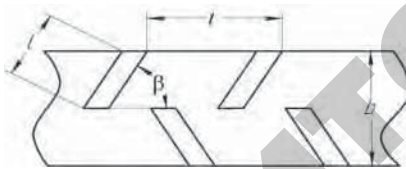


Рисунок 2. Расположение почвозацепов на беговой дорожке шины

В общем случае τ_x

$$\tau_k = c_0 + \sigma_{rk} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где c_0 – коэффициент сцепления почвы, Н/м^2 ;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения почвы;

σ_{rk} – нормальное напряжение, действующее со стороны основания почвозацепа колеса, Н/м^2 .

Если считать, что c_0 , $\operatorname{tg} \varphi$ для рассматриваемого состояния постоянные величины, тогда

$$F_{ke} = \int_0^L b\tau_k dx = bc_0 L + b \operatorname{tg} \varphi \int_0^L \sigma_{rk} dx. \quad (3)$$

Нормальное напряжение под колесом определим с помощью подхода, рассмотренного Фрелихом [3, 4]. Фрелих модифицировал известную формулу Бус-

синеска, которую можно применять для трех видов твердости почвы

$$\sigma_r = \frac{\psi G}{2\pi r^2} \cos^{(\psi-2)} \alpha_0, \quad (4)$$

где σ_r – радиальное напряжение в зоне контакта между грунтозацепами, Н/м^2 ;

ψ – коэффициент, определяющий состояние почвы (для твердой почвы $\psi = 3$, средней почвы – $\psi = 4$, мягкой почвы – $\psi = 5$);

r – свободный радиус колеса, м ;

α_0 – угол между вертикалью, проходящей через ось колеса и радиус r (рис. 1), град.

На основании формулы (4) определим давление почвозацепа на почву. При входе почвозацепа в почву на его основание будет действовать радиальное напряжение

$$\sigma_r = \frac{\psi G}{2\pi(r+d)^2} \cos^{(\psi-2)} \alpha_0, \quad (5)$$

где d – высота грунтозацепа, м .

Данное выражение не учитывает деформирование шины. Известно, что связь между нормальной деформацией шины $h_{ш}$ и нагрузкой на ось колеса G на жестком основании (рис. 3) носит нелинейный характер (кривая 1, рис. 4). По мере возрастания нагрузки

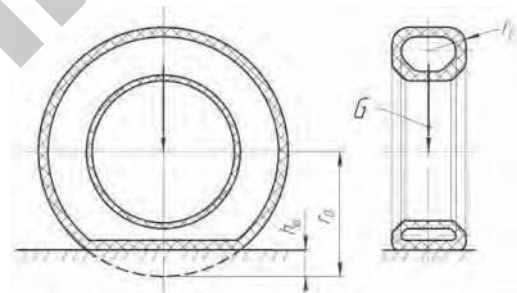


Рисунок 3. Деформация шины под действием нормальной нагрузки

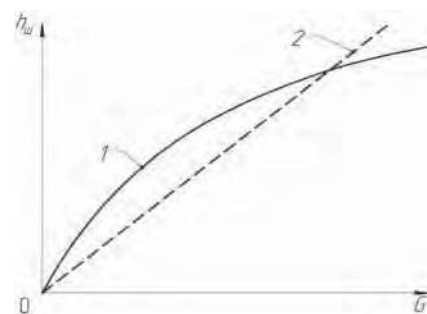


Рисунок 4. Влияние нормальной нагрузки на деформацию шины: 1 – реальная зависимость $h_{ш}$ от G ; 2 – приближенная зависимость $h_{ш}$ от G

увеличение деформации замедляется [2].

На практике с достаточной степенью точности используют линейную зависимость между G и $h_{ш}$ (линия 2, рис. 4), которая описывается формулой Хейдекеля [4]

$$h_{\text{ш}} = \frac{G}{2\pi p_{\text{ш}} \sqrt{r_0 r_c}}, \quad (6)$$

где $p_{\text{ш}}$ – давление воздуха в шине, Н/м²;

r_0 – свободный радиус ненагруженного колеса, м;

Обозначим через $r_0 = r + d$.

r_c – радиус сечения шины, м.

Выражение в знаменателе формулы (6) $2\pi p_{\text{ш}} \sqrt{r_0 r_c} = \lambda_{\text{ш}}$ называют коэффициентом жесткости. Тогда абсолютная деформация шины

$$h_{\text{ш}} = \frac{G}{\lambda_{\text{ш}}}.$$

При вертикальном упоре почвозацепа ($\alpha_0 = 0$, рис. 1) напряжение определится

$$\sigma_r = \frac{\psi G}{2\pi(r_0 - h_{\text{ш}})^2}. \quad (7)$$

Если деформация шины $h_{\text{ш}}$ мала, то можно считать $h_{\text{ш}}^2 = 0$. Тогда

$$\sigma_r = \frac{\psi G}{2\pi(r_0^2 - 2r_0 h_{\text{ш}})}. \quad (8)$$

После некоторых преобразований с учетом формулы (6), получим

$$\sigma_r = \frac{\psi G \lambda_{\text{ш}}}{2\pi(r_0^2 \lambda_{\text{ш}} - rG)}. \quad (9)$$

Таким образом, выражение (9) определяет радиальное напряжение под почвозацепом.

Определим напряжения в почве между почвозацепами протектора шины в случае квазистатического движения. Можно приближенно считать форму деформирования почвы между почвозацепами в виде куба (угол $\beta \approx \frac{\pi}{2}$ рис. 2) со сторонами a – вдоль оси y , l – вдоль оси x (длина боковой грани почвозацепа) и d – вдоль оси z (высота почвозацепа).

На данный почвенный куб со стороны колеса и почвы будут действовать главные напряжения

$$\sigma_x \neq 0; \quad \sigma_z \neq 0 \quad \sigma_y = 0 \quad (10)$$

и главные деформации

$$\varepsilon_x \neq 0; \quad \varepsilon_y = 0; \quad \varepsilon_z \neq 0. \quad (11)$$

Относительная деформация $\varepsilon_y = 0$, так как считаем, что боковые грани почвозацепов деформируются незначительно. Относительные деформации

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E'}[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)];$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E'}[\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)] = 0;$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E'}[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)], \quad (12)$$

где E' – коэффициент деформации, Н/м²;

ν – коэффициент Пуассона.

Из второго уравнения системы уравнений (12) получим

$$\sigma_y = \nu(\sigma_z + \sigma_x). \quad (13)$$

Пусть на данный куб в направлении осей x и z действуют силы – со стороны почвы F , со стороны колеса P

$$\sigma_x = -\frac{F}{ad}; \quad \sigma_z = -\frac{P}{al}. \quad (14)$$

Тогда

$$\sigma_y = -\nu \left[\frac{1}{a} \left(\frac{F}{d} + \frac{P}{l} \right) \right]. \quad (15)$$

Подставив зависимости (14) и (15) в первое и третье уравнения системы уравнений (12), получим

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E'} \left[-\frac{F}{ad} + \frac{P\nu^2}{al} + \nu^2 \frac{P}{al} + \nu \frac{P}{al} \right]; \quad (16)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E'} \left[\frac{F}{a^2} \nu^2 + \frac{P}{al} \nu^2 - \frac{P}{al} - \nu \frac{F}{ad} \right]. \quad (17)$$

Сумма выражений (16) и (17) даст относительную объемную деформацию

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_x + \varepsilon_z = \frac{1}{E'} \left(\frac{2\nu^2 P}{al} + \frac{2\nu^2 F}{a^2} - \frac{1}{al} (F + P) + \frac{\nu}{a} \left(\frac{P}{l} - \frac{F}{d} \right) \right). \quad (18)$$

Минимальное значение в выражении (18) будет при условии

$$\frac{P}{al} \approx \frac{F}{ad}. \quad (19)$$

Откуда найдем соотношение действующих сил на почву между почвозацепами и его геометрическими размерами: боковой гранью и высотой почвозацепа

$$\frac{F}{P} \approx \frac{d}{l}. \quad (20)$$

Для определения плотности между почвозацепами, т.е. в рассматриваемом объеме, используем формулу

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \varepsilon_0}, \quad (21)$$

где ρ_0 – плотность почвы до деформирования, кг/м³.

Подставив выражение (18) в выражение (21), получим

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \frac{1}{E} \left[\frac{2v^2 P}{al} + \frac{2v^2 F}{a^2} - \frac{P+F}{al} + \frac{v}{a} \left(\frac{P}{l} - \frac{F}{d} \right) \right]} \quad (22)$$

Выводы

Предложена методика, позволяющая определить плотность почвы, зажатой между почвозацепами энергетических средств. Отмечено, что в данном случае плотность зависит от начального состояния почвы, действующих сил со стороны взаимодействующих элементов, размеров сторон почвозацепов и их расположения на беговой дорожке, модуля деформации почвы и коэффициента Пуассона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути решения / В.А. Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 367 с.
2. Тракторы. Теория / В.В. Гуськов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 375 с.
3. Куллен, Л. Современная земледельческая механика / Л. Куллен, Х. Куперс. – М.: Агропромиздат, 1986. – 349 с.
4. Чигарев, Ю.В. Математические основы механики почв / Ю.В. Чигарев, П.Н. Синкевич. – Мн.: Технопринт, 2004 – 163 с.

Измерители-регуляторы МТ2

Предназначены для измерения и регулирования температуры (в комплекте с датчиками температуры), а также других незлектрических величин (давление, уровень, влажность и т.д.)



Измерители-регуляторы МТ2 являются универсальными цифровыми программируемыми микропроцессорными устройствами. Они могут быть использованы при создании систем автоматического контроля и регулирования различных параметров технологических процессов в промышленности и сельском хозяйстве.

Основные технические данные

Напряжение питания	230 В ± 10%, 50 Гц
Потребляемая мощность, не более	4 ВА
Масса, не более	0,4 кг
Габаритные размеры	120x96x48 мм
Входной сигнал (измерительный преобразователь)	Термопреобразователь сопротивления: ТСП50П, ТСП100П, ТСМ50М, ТСМ 100М; Термопара типа: «L», «J», «K»; Унифицированный токовый сигнал: 0...5мА, 0...20мА, 4...20мА
Предел основной приведенной погрешности измерения	±0 5 %
Закон регулирования	позиционный, ПИД