

2. Профилактика деградации земель значительно эффективнее и дешевле, чем их восстановление. Поэтому первой по приоритетности задачей является защита земель, незатронутых деградацией, и поддержание их продуктивности. На втором месте стоит задача о принятии корректирующих мер по поддержанию продуктивности земель, подверженных умеренной деградации. Третьей задачей является восстановление сильно и очень сильно пострадавших земель и их возвращение в сельскохозяйственное производство.

### Литература

1. Почвы Белорусской ССР/ Т.Н.Кулаковская [и др.]; под. ред. Т.Н. Кулаковской, П.П. Рогового. –Минск, 1973. –233 с.

2. Проектирование противозерозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации /Институт почвоведения и агрохимии; под общ. ред. А.Ф.Черныша. – Минск, 2005. –54 с.

3. Смян Н.И. Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси /Н.И.Смян, Г.С.Цытрон; Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. –220 с.

УДК 631.431.73;629

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ МЕЖДУ ПОЧВОЗАЦЕПАМИ КОЛЕС ПАХОТНЫХ АГРЕГАТОВ

**Ю.В. Чигарев<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., профессор, А. Бжостович<sup>2</sup>, д.т.н., профессор,  
И.С. Крук<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, А.С. Воробей<sup>3</sup>, к.т.н., ст.н.с.,  
Ф.И. Назаров<sup>1</sup>, аспирант**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь, <sup>2</sup>Западнопоморский технологический университет, г. Щецин, Республика Польша, <sup>3</sup>РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, г. Минск, Республика Беларусь

### Введение

Как показывают исследования деградацию почве в процессе эксплуатации техники наносят колесные движители [1]. Контакт колеса с почвой происходит по области контакта, которая в силу рисунка протектора шины по своему уплотнению будет неоднородной [2]. Опорные колеса, оборудованные пневматической шиной, в процессе взаимодействия с почвой так же испытывают деформацию. Мало изученным остается вопрос о влиянии рисунка и износа протектора шины на уплотнение почв.

### Основная часть

При движении ведущего колеса следует, кроме сил трения между опорной поверхностью колеса и почвы, учитывать силы при упоре почвозацепов в почву и силы ее сдвига боковыми гранями грунтозацепов. Сдвигаясь, почвозацепы срезают почву в направлении, обратном движению. При установившемся движении колеса сдвиг и срез почвенных кирпичей происходит в периоды выхода последнего почвозацепа из почвы (рисунок 1). Все почвозацепы сдвигают и срезают почву на одинаковую величину: первый сдвигает почву на  $\Delta_i$ , то второй на  $2\Delta_i$ , третий на  $3\Delta_i$  и т.д. Величина  $\Delta_i$  и число почвозацепов, находящихся в почве, зависят от ее физического состояния, размеров колеса и рисунка протектора. Если число почвозацепов в зацеплении опорной поверхности колеса с почвой равно  $n$ , то в результате зацепления от входа в почву до выхода из нее почвозацеп срежет почву на величину [2]  $\Delta_{\max} = n\Delta_i$

Коэффициент буксования колеса зависит от количества почвозацепов  $n$  в зоне контакта, длины контакта  $L$  и свойств почвы, которые учитываются сдвигом почвы  $\Delta_{\max}$ :  $\delta = \frac{m\Delta_{\max}}{L}$ .

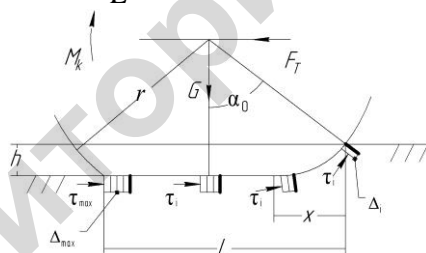


Рис. 1 – Взаимодействие почвозацепов эластичного колеса с почвой:  $M_k$  – крутящий момент,  $F_T$  – продольная сила,  $\tau_i$  – напряжения сдвига приложенные к  $i$ -му почвозацепа,  $L$  – длина опорной поверхности,  $G$  – осевая нагрузка на колесо,  $\alpha_0$  – угол между вертикалью и входящим в почву почвозацепом

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

$$F_{ke} = \int_0^L \tau_k dA = \int_0^L b\tau_k dx, \quad b = 2l \sin \beta, \quad (1)$$

где  $\tau_k$  – проекция касательного напряжения на ось  $x$  от  $k$ -го грунтозацепа,  $dA$  – элементарная площадка опорной поверхности колеса, равная  $dA = bdx$ ;  $b$  – ширина колеса;  $l$  – длина боковой грани почвозацепа;  $\beta$  – угол, характеризующий положение почвозацепа на колесе (рисунок 2);  $dx$  – длина элементарной площадки вдоль опорной поверхности  $L$ .

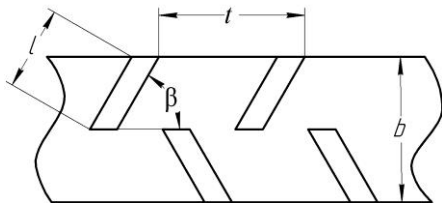


Рис. 2 – Расположение почвозацепов на беговой дорожке шины

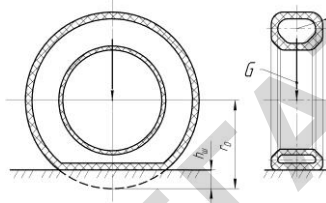


Рис. 3 – Деформация шины под действием нормальной нагрузки

В общем случае  $\tau_k$

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

где  $c_0$  – коэффициент сцепления почвы, а  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент внутреннего трения почвы,  $\sigma_{rk}$  – нормальное напряжение действующее со стороны основания почвозацепа колеса.

Считая, что  $c_0$ ,  $\operatorname{tg} \varphi$  постоянные величины и, используя подход Фрелиха для определения нормального напряжения под колесом [3,4], определим радиальное напряжение, действующее на основание почвозацепа при в почву

$$\sigma_r = \frac{\psi G}{2\pi(r+d)^2} \cos^{(\psi-2)} \alpha_0, \quad (3)$$

где  $d$  – длина грунтозацепа;  $\psi$  – коэффициент, определяющий состояние почвы (твердая  $\psi = 3$ , средняя –  $\psi = 4$ ; мягкая –  $\psi = 5$ ),  $r$  – свободный радиус колеса,  $\alpha_0$  – угол между вертикалью, проходящей через ось колеса и радиусом  $r$  (рисунок 1).

Выражение (5) не учитывает деформирование шины. Известно, что связь между нормальной деформацией шины  $h_{\text{ш}}$  и нагрузкой на ось колеса  $G$  на жестком основании рисунок 3 носит нелинейный характер (рисунок 4, кривая 1). По мере возрастания нагрузки увеличение деформации замедляется [2].

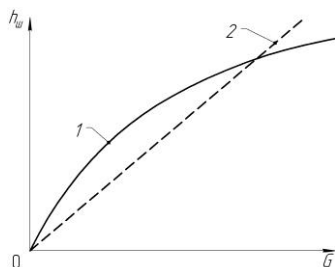


Рис. 4 – Влияние нормальной нагрузки на деформацию шины:

1 – реальная зависимость, 2 – приближенная

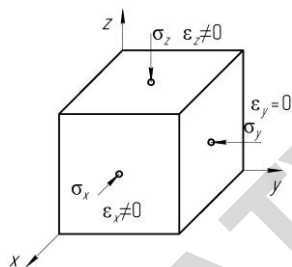


Рис. 5 – Приближенная конфигурация почвы между грунтозацепом

На практике используют линейную зависимость между  $G$  и  $h_{ш}$  (рис. 4 линия 2), которая описывается формулой Хейдекеля [3,4]

$$h_{ш} = \frac{G}{2\pi p_{ш} \sqrt{r_0 r_c}} = \frac{G}{\lambda_{ш}}, \quad (4)$$

где  $p_{ш}$  – давление воздуха в шине;  $r_0$  – свободный радиус не нагруженного колеса;  $r_c$  – радиус сечения шины;  $\lambda_{ш}$  – коэффициент жесткости.

При вертикальном упоре почвозацепа ( $\alpha_0 = 0$ , рисунок 1) напряжение определится как

$$\sigma_r = \frac{\psi G}{2\pi(r_0 - h_{ш})^2}. \quad (5)$$

Если деформация шины  $h_{ш}$  мала, то  $\sigma_r = \frac{\psi G}{2\pi(r_0^2 - 2r_0 h_{ш})}$

и после преобразований с учетом (4), получим выражение для определения радиального напряжения под почвозацепом

$$\sigma_r = \frac{\psi G \lambda_{ш}}{2\pi(r_0^2 \lambda_{ш} - rG)}. \quad (6)$$

Определим напряжения в почве между почвозацепами протектора шины в случае квазистатического движения. Можно приближено считать форму деформирования почвы между почвозацепами в виде куба (угол  $\beta \approx \pi/2$  рисунок 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  $\sigma_x \neq 0$ ;  $\sigma_z \neq 0$   $\sigma_y = 0$ , (7)

главные деформации  $\varepsilon_x \neq 0$ ;  $\varepsilon_y = 0$ ;  $\varepsilon_z \neq 0$ . (8)

Считаем, что боковые грани почвозацепов деформируемируются незначительно, то относительная деформация  $\varepsilon_y = 0$ . Относительные деформации

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E'}[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]; \varepsilon_y = \frac{1}{E'}[\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)] = 0; \varepsilon_z = \frac{1}{E'}[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (9)$$

где  $E'$  - коэффициент деформации.

Из второго уравнения в (9) получим

$$\sigma_y = \nu(\sigma_z + \sigma_x) \quad (10)$$

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

$$\sigma_x = -\frac{F}{ad}; \quad \sigma_z = -\frac{P}{al}. \quad (11)$$

$$\text{Тогда } \sigma_y = -\nu \left[ \frac{1}{a} \left( \frac{F}{d} + \frac{P}{l} \right) \right]. \quad (12)$$

Подставив (11) и (12) в первое и третье уравнения системы (9) получим

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

Сумма уравнений даст относительную объемную деформацию

$$\varepsilon_o = \varepsilon_x + \varepsilon_z = \frac{1}{E'} \left( \frac{2\nu^2 P}{al} + \frac{2\nu^2 F}{a^2} - \frac{1}{al} (F + P) + \frac{\nu}{a} \left( \frac{P}{l} - \frac{F}{d} \right) \right) \quad (13)$$

Минимальное значение в (15) будет при условии  $\frac{P}{al} \approx \frac{F}{ad}$ , откуда

$$\frac{F}{P} \approx \frac{d}{l}.$$

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

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \varepsilon_0}. \quad (14)$$

где  $\rho_0$  - плотность почвы до деформирования

Подставим (13) в (14), получим

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \frac{1}{E'} \left[ \frac{2v^2 P}{al} + \frac{2v^2 F}{a^2} - \frac{P+F}{al} + \frac{v}{a} \left( \frac{P}{l} - \frac{F}{d} \right) \right]}. \quad (17)$$

### Заключение

Предложена методика, позволяющая определить плотность почвы между почвозацепами, которая зависит от начальной плотности почвы, действующих сил со стороны почвы и колеса, размеров сторон почвозацепов и их расположением на беговой дорожке, модулем деформации почвы и коэффициента Пуассона.

### Литература

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

УДК 630\*363.7

### АНАЛИЗ РАБОТЫ МОБИЛЬНЫХ РУБИЛЬНЫХ МАШИН

**В.Н. Лой, к.т.н., доцент, декан, А.О. Германович, аспирант**

*УО «Белорусский государственный технологический университет»,  
г. Минск; Республика Беларусь*

### Введение

Лес – один из важнейших природных ресурсов Республики Беларусь. Он занимает порядка 38,5% всей территории республики. В жизни общества лес выполняет две основные функции: является источником древесины и других продуктов (живицы, лекарственного сырья, ягод и др.) и важным природно-защитным фактором, так как способствует сохранению и накоплению влаги, предотвращает ветровую и водную эрозию почвы и т.п. [1]. Поэтому грамотное использование лесных ресурсов является одним из основных требований эффективного лесопользования.