

$$A = \frac{\sigma_m^2}{2k} + \frac{v^2}{2G} + \int_0^{v'} \phi(\gamma_i^p) d\gamma_i^p,$$

где  $k = \frac{E}{(1-2\nu)}$ ;  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ ;

$\sigma_m$  – среднее нормальное напряжение, равное гидростатическому давлению.

Первые два члена в правой части уравнения выражают упругие объемные и сдвиговые деформации, третий – пластические. Таким образом, для слоев ниже 10 см работа деформаций будет определяться первыми двумя слагаемыми

#### Выводы

1. В результате проведенных лабораторных исследований был изучен характер проникновения деформаций в глубину слоя почвы в зависимости от используемых шин и величины нагрузки на штамп.

2. Установлено, что на глубине ниже 10 см модель почвы можно описывать упругим телом.

#### Литература

1. *Błaszczewicz Z.* 1997 Analiza wpływu wybranych parametrów opon rolniczych na ugniatanie gleby. Rozprawy naukowe, zeszyt 271, Poznań. S. 156.
2. *Dobrzański B., Zawadzki S.* 1981. Gleboznawstwo. Podręcznik dla studentów Akademii Rolniczej Wyd PWRiL. Warszawa S. 231.
3. *Ronan D., Shmulevich I.* 1995. Tire footprint characteristics as a function of soil properties and tire operations. Journal of Terramechanics. Vol. 32. № 6. S. 311–323.
4. PN-R-04033. 1998. Gleby i utwory mineralne: Podział na frakcje i grupy granulometryczne. s. 5.
5. *Вязюн С.С.* Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1978. С. 407.

УДК 631.431.73:629

### ОБОСНОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ДИСКА С ПОЧВОЙ ПРИ ЕЕ ПОДГОТОВКЕ ПОД ПОСЕВ РАПСА

**Ю.В. Чигарев, В.Ю. Чигарев**

*(Западнопоморский технологический университет, Республика Польша);*

**И.С. Крук**

*(Белорусский государственный аграрный технический университет,*

*Институт переподготовки и повышения квалификации МЧС Республики Беларусь);*

**Ф.И. Назаров**

*(Белорусский государственный аграрный технический университет, Республика Беларусь)*

**Keywords:** agricultural machines, rape, soil, spherical disk.

**Summary:** In the article there is considered the interaction of lateral surface of a spherical disk agricultural machines on the ground. Obtained mathematical dependences for the estimation of the density and the stress state in the contact area depending on the geometry and properties of the soil.

В проектировании и расчете соответствующих механизмов необходимо учитывать их воздействие на почву, которое, с одной стороны, не должно превышать допустимое, а с другой – не сильно разуплотнять почву, исключая возможность ухода углерода в атмосферу. Следует отметить, что решенных задач о взаимодействии сельскохозяйственных машин и орудий с почвой не так уж много, а их теория требует дальнейшего развития в связи проблемами переуплотнения (недоуплотнения) почв, модернизацией технологий их обработки и учета экологических процессов. Цель данной работы заключалась в определении напряженного состояния в области контакта сферического диска с почвой.

Применение дополнительных устройств в конструкциях плугов позволяет оптимально использовать время подготовки почвы к посеву, совместить агротехнические приемы для борьбы с потерями почвенной влаги, сократить одну культивацию при обработках почв легкого механического состава, снизить затраты энергии на проведение последующих почвообрабатывающих операций почв тяжелого механического состава. Такими устройствами являются катковые приставки, позволяющие качественно выполнить поверхностную обработку почвенных пластов, образованных корпусами плугов (рис. 1). Рабочими органами данных приставок являются диски различных конструкций.

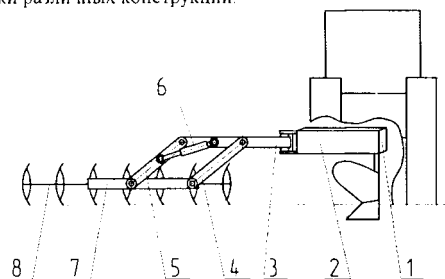


Рис. 1. Схема комбинированного пахотного агрегата [1]:  
1 – плуг; 2 – рама; 3 – балка; 4, 5 – кронштейны; 6 – гидроцилиндры; 7 – рамка;  
8 – секция рабочих органов

Рассмотрим задачу о взаимодействии диска катковой приставки, предназначенной для разрыва, поверхностного рыхления и уплотнения почвенного пласта, сходящего с отвала корпуса оборотного плуга, с почвой. Сферическая поверхность диска при поверхностной обработке играет роль уплотнителя почвы, поэтому от конструктивных параметров и массы диска зависят прогнозируемая плотность и пористость почвы после обработки [2].

Очевидно, что наибольшее уплотнение на почву оказывает поверхность основания диска, которая будет изложена ниже. В данном исследовании используем подход, изложенный в работах [3, 4]. Рассмотрим равномерное перемещение диска диаметра  $BC$  по поверхности почвы вдоль оси  $Ox$  (рис. 2).

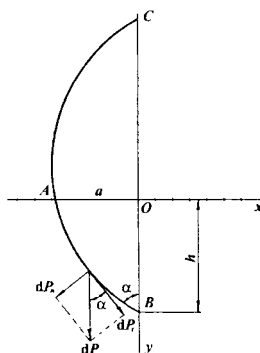


Рис. 2. Схема сил, действующих на диск при взаимодействии с почвой

Считаем диск абсолютно жестким телом, погруженным в почву на постоянною глубину  $h$ . Поверхность диска  $BAO$ , погруженную в почву, можно разбить на элементарные площадки. На каждой из данных площадок будет действовать элементарная сила  $dP$ , которую можно представить как

$$dP = dP_n + dP_t, \quad (1)$$

где  $dP_n$  – нормальная составляющая элементарной силы  $dP$ ;

$dP_t$  – тангенциальная (касательная) составляющая элементарной силы  $dP$ .

Так как диск заглубляется на небольшую в сравнении с его диаметром глубину (4–8 см), то силами сопротивления со стороны почвы можно пренебречь. По этой же причине можно считать, что угол, отсеченный от вершины сферы плоскостью  $BC$  и самой поверхностью  $BAO$ , будет примерно равен углу между силой  $dP$  и ее тангенциальной составляющей  $dP_t$  и равен  $\alpha$ . Тогда можно записать

$$dP_t = dP \cos \alpha; \quad dP_n = dP \sin \alpha. \quad (2)$$

Анализ формулы (2) показывает, что с увеличением угла  $\alpha$  касательные силы уменьшаются, а нормальные увеличиваются. Это может быть учтено при оценке плотности почвы. Контактная поверхность диска с почвой будет составлять четвертую часть площади поверхности конуса с образующей  $s = BA$  и основанием радиуса  $a$ . Тогда элементарная площадь взаимодействия будет равна

$$dA = \frac{\pi da ds}{4}. \quad (3)$$

Свойства почвы будем учитывать коэффициентом объемного смятия  $g$  (в зарубежной литературе его иногда называют силой удельного уплотнения), отдельные значения которого приведены в таблице, в зависимости от агрофизического состояния почвы.

Значения  $g$  (Н/см<sup>3</sup>) в зависимости от состояния почвы

Рыхлая почва	Уплотненная почва среднего механического состава	Уплотненная почва тяжелого механического состава	Уплотненная сухая почва тяжелого механического состава
0,5 – 1,5	3 – 8	6 – 10	12 – 20

Уплотнение почвы  $h$  или силу  $P$  можно определить из построенного дифференциального уравнения

$$dP = dAg(h + h_0), \quad (4)$$

где  $h_0$  – глубина первичного уплотнения.

Отметим, что величины  $gh$  и  $gh_0$  играют роль действующего напряжения и напряжения первичного уплотнения со стороны диска. Уравнение (4) можно записать таким образом

$$P = \frac{\pi}{4} \frac{1}{\cos \alpha} \int_0^a \int_0^h g(h + h_0) dh. \quad (5)$$

После интегрирования получим выражение для равнодействующей силы в виде

$$P = \frac{agh(h + 2h_0)\pi}{8 \cos \alpha}. \quad (6)$$

Напряжения на контактной поверхности диска с почвой будут

$$\sigma = \frac{g(h + 2h_0)}{8}. \quad (7)$$

Как следует из формулы (7), напряжение будет зависеть только от глубины погружения диска и физических свойств почвы, в то время как сила  $P$  зависит от параметров контактной поверхности, глубины погружения диска в почву и угла (геометрической конструкции диска). Направление напряжения будет таким же, как и направление силы  $P$ , поэтому угол между касательным напряжением  $\sigma_t$  и напряжением  $\sigma$  останется таким же, как между

силой  $P$  и ее тангенциальной составляющей  $P_t$ . В этом случае можно записать выражения для нормального напряжения, направленного по нормали к поверхности диска в рассматриваемой точке, и касательного – направленного по касательной к поверхности в той же точке.

Для нормального напряжения имеем

$$\sigma_n = \frac{g(h + h_0) \sin \alpha}{8} \quad (8)$$

Касательное напряжение будет иметь вид

$$\sigma_t = \frac{g(h + h_0) \cos \alpha}{8} \quad (9)$$

Соотношения (8) и (9) показывают, что с увеличением угла  $\alpha$  нормальные напряжения растут, а следовательно, возрастает плотность почвы после прохода диска. В то же время с увеличением угла уменьшается влияние на почву касательных напряжений.

Связь между касательными и нормальными напряжениями в зоне контакта выразим известной зависимостью

$$\sigma_t = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi = c + \sigma_n \mu; \quad (\mu = \operatorname{tg} \varphi) \quad (10)$$

где  $c$  – коэффициент сцепления;

$\mu$  – угол внутреннего трения.

Выражение (10) представим в логарифмической системе координат

$$\lg \sigma_t = \lg c + \mu \lg \sigma_n \quad (11)$$

Если известны напряжения в двух разных точках (1 и 2), то можно приближенно определить коэффициенты сцепления и внутреннего трения.

Коэффициент внутреннего трения будет

$$\mu = \frac{\lg \sigma_{t_2} - \lg \sigma_{t_1}}{\lg \sigma_{n_2} - \lg \sigma_{n_1}} \quad (12)$$

Для коэффициента сцепления имеем выражение

$$\lg c = 0,5(\lg \sigma_{t_1} + \lg \sigma_{t_2}) - \mu(\lg \sigma_{n_2} - \lg \sigma_{n_1}); \quad \sigma_{n_2} > \sigma_{n_1} \quad (13)$$

В данной задаче главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  будут действовать соответственно вдоль осей  $y$  и  $x$ . В этом случае нормальные и касательные напряжения можно выразить через главные

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_1 \cos^2 \theta + \sigma_3 \sin^2 \theta; \\ \sigma_t &= (\sigma_1 - \sigma_3) \sin \theta \cos \theta, \end{aligned} \quad (14)$$

где  $\theta = (90^\circ - \alpha)$  при условии небольшого заглубления диска в почву.

Напряженное состояние точки в зоне контакта (10) с учетом (14) в системе координат главных напряжений будет

$$(\sigma_1 - \sigma_3) \sin \theta \cos \theta = c + \mu(\sigma_1 \cos^2 \theta + \sigma_3 \sin^2 \theta) \quad (15)$$

Изменение плотности почвы  $\rho$  после прохода диска представим в виде

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \frac{H - H_1}{H}} \quad (16)$$

где  $\rho_0$  – начальная плотность почвы до прохода диска;

$H$  – глубина пахотного слоя или слоя, определяемого соответствующим технологическим приемом обработки, например, плужная подошва;

$H_1$  – расстояние от пахотного слоя до точек контакта диска с почвой (так, в точке  $B$   $H - H_1 = h$ ).

Итак, в статье представлены зависимости для оценки состояния почвы в зоне ее контакта с поверхностью диска. Отмечено, что значения нормальных и касательных напряжений зависят не только от свойств почвы, но и от геометрических параметров диска.

Получены выражения для определения коэффициентов сцепления и угла внутреннего трения в зависимости от значений касательного и нормального напряжений, представленных в логарифмической системе координат.

Приведены выражения нормальных и касательных напряжений в зависимости от главных напряжений для случая, когда главные оси совпадают с выбранными прямоугольными осями координат.

Получено выражение для оценки плотности почвы в зоне контакта диска и почвы.

#### *Литература*

1. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат: пат. 15953 Респ. Беларусь, МПК А 01 В 49/02, А 01 В 63/114 / И.С. Крук [и др]; заявитель Белорусск. гос. аграрно-техн. ун-т. № а 20100320; заявл. 05.03.2010; опубл. 30.10.2011.
2. *Бурченко П.М.* Основные технологические параметры почвообрабатывающих машин нового поколения // Теория и расчет почвообрабатывающих машин: Тр. / ВИМ М., 1989. С.12–43.
3. *Чижарев Ю.В., Сикшович П.Н.* Математические основы механики почв. Минск: Технопринт, 2004. 163 с.
4. *Кулеп Л., Кунтерс Х.* Современная земледельческая механика. М.: Агропромиздат, 1986. 349 с.

УДК 631.431.73.629

### **К ОЦЕНКЕ УПРУГИХ И ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕЕ ХОДОВЫМИ СИСТЕМАМИ АГРЕГАТОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И УБОРКИ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР**

*Ю.В. Чижарев, В.Ю. Чижарев*

*(Западнопоморский технологический университет, Республика Польша);*

*И.С. Крук*

*(Белорусский государственный аграрный технический университет,*

*Институт переподготовки и повышения квалификации МЧС Республики Беларусь);*

*Ф.И. Назаров*

*(Белорусский государственный аграрный технический университет, Республика Беларусь)*

**Keywords:** deformation of the soil, oil-bearing crops, driving system of agricultural machinery.

**Summary:** The article presents the method of determination of elastic and plastic relative deformations in terms of compaction of the soil propulsion systems and working bodies of the agricultural equipment. The approach is based on two models: the Boussinesq and упруговязкопластической model with hardening. Full deformation depends on the rheological properties of its change, the distance from the applied load to the point under study soil.

Вопросы, связанные с совершенствованием сельскохозяйственных машин и технологий, становятся все более актуальными. В решении данной проблемы заметную роль играют задачи взаимодействия машин и орудий с почвой, от свойств которой зависит не только урожай, но и устойчивость равновесия агроэкосистемы. Поэтому разработка и совершенствование сельскохозяйственных машин и орудий должны включать вопросы, связанные с последствиями их воздействия на почву [1]. Это прежде всего вызвано проблемой ускоренной деградации почв, одной из причин которой является их переуплотнение. Для оценки уплотнения почв используют математико-механические модели взаимодействия. Существует много различных подходов в оценке уплотнения почв. Однако все предлагаемые модели носят