

УДК 631.312

Поступила в редакцию 15.06.07

## К ОЦЕНКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ДИСКА КАТКОВОЙ ПРИСТАВКИ ПАХОТНОГО АГРЕГАТА С ПОЧВОЙ

Ю. В. ЧИГАРЕВ, И. С. КРУК, М. И. НАЗАРОВА

*Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

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 плотности которой зависит не только урожай, но и устойчивость равновесия агроэкосистемы. В данной статье рассматривается задача взаимодействия сферического диска катковой приставки к пахотному агрегату с почвой. Получены выражения для оценки плотности и напряженного состояния в области контакта в зависимости от геометрии диска и свойств почвы.

The questions connected with perfection of agricultural machines and technologies become all more actual. In the decision of the given problem the appreciable role is played with tasks of interaction of machines and instruments with ground on which density depends not only a crop, but also stability of balance agroecosystem. In given article the task of interaction of a spherical disk prefixes to the arable unit with ground is examined. Expressions for an estimation of density and the intense condition in the field of contact depending on geometry of a disk and properties of ground are received.

### Введение

Как известно, среди искусственных экосистем особую роль играют биологические экосистемы. К ним относятся агрономические экосистемы, которые характеризуются утратой трофических и других связей, присущих природным биоценозам. Биоэкосистемы играют существенную роль в круговороте веществ. Нарушение круговорота веществ может повлиять на устойчивость равновесия биосферы, что может привести к развитию глобального экологического кризиса. Одним из существенных параметров круговорота веществ является углерод [1, 2]. По последним оценкам ученых, углерода в почве содержится в три раза больше, чем в наземной биомассе. Поэтому почвы, являясь важнейшим резервуаром углерода, в зависимости от своего физического состояния могут влиять на круговорот веществ, а следовательно, и на устойчивое состояние биосферы. Запасы углерода в почве зависят от многих причин. Установлено, что обработка почвы отвальными плугами ведет к снижению содержания углерода в почве и его избытку в атмосфере, а это способствует тепличному эффекту или глобальному потеплению. С начала земледелия в атмосферу вышло из обрабатываемых земель выше 320 млрд. тонн углерода [2]. Это больше чем с промышленного производства за последние 150 лет. Поиск путей сохранения почв от эрозии выдвинул новые технологии ее обработки, такие как безотвальная или нулевая. Наряду с другими преимуществами, такими как экономия топлива, уменьшение эрозийных процессов данные технологии позволяют сохранить запасы углерода в почве, не нарушив круговорот с атмосферой, а следовательно, сохранить устойчивость биосферы. По мнению ученых, повсеместный переход в мировом масштабе к безотальной обработке почвы позволил бы удерживать в ней ежегодно 1,2 млрд. тонн углерода. Однако несмотря на преимущества безотальной и нулевой обработки почв их внедрение в практическое земледелие идет очень медленно. Это связано с тем, что широкое применение безотальной обработки почвы не представ-

ляется возможным в связи с сильной засоренностью полей сорными растениями, борьба с которыми при данных технологических приемах должна сопровождаться широким применением в технологиях возделывания гербицидов, что негативным образом сказывается на экологии окружающей среды и повышает себестоимость продукции. Поэтому агротехника возделывания на данном этапе развития не представляется без основной обработки почвы пахотными агрегатами. Значит, необходимо искать пути снижения отдачи углерода из почвы в атмосферу не только за счет применения почвозащитных технологий, но и совершенствования конструкций пахотных агрегатов, машин и орудий, предназначенных для основной и поверхностной обработки почвы. В этом случае необходимо на стадиях проектирования и расчета соответствующих агрегатов учитывать их воздействие на почву, которое, с одной стороны, не должно превышать допустимое, а с другой – не сильно уплотняет ее, 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 теории требуют дальнейшего развития в связи проблемами переуплотнения (недоуплотнения) почв, усовершенствованием технологий их обработки, модернизацией конструкций рабочих органов и учета экологических процессов.

Цель данной работы заключается в определении напряженного состояния почвы в области ее контакта со сферическим диском катковой приставки пахотного агрегата.

### Основная часть

Рассмотрим задачу о взаимодействии сферического диска с почвой, являющегося главным элементом секции катковой приставки, которая служит вспомогательным орудием к пахотному агрегату и применяется в его конструкции для разрыва, поверхностного рыхления и уплотнения почвенного пласта, сходящего с отвала корпуса плуга. Сферическая поверхность диска при поверхност-

ной обработке играет роль уплотнителя почвы, поэтому от конструктивных параметров и массы диска зависят прогнозируемая плотность и пористость почвы после обработки.

При теоретических исследованиях использован подход, изложенный в работах [3, 4].

Рассмотрим равномерное перемещение диска диаметра  $BC$  по поверхности почвы вдоль оси  $Ox$  (рис. 1).

Считаем диск абсолютно жестким телом, погруженным в почву на постоянную 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  $dP$ .

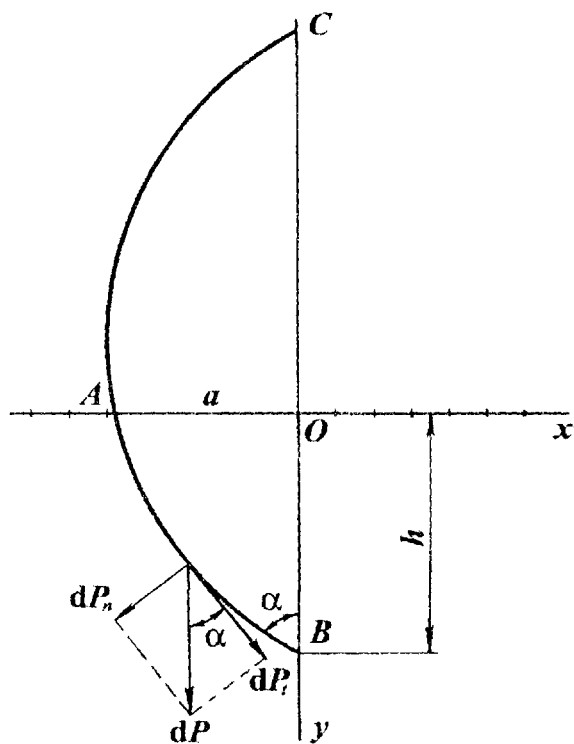


Рис. 1. Схема сил, действующих на диск при взаимодействии с почвой

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  $BAC$ , 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 формул (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

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

Свойства почвы будем учитывать коэффициентом объемного смятия  $g$  (в зарубежной литературе его иногда называют силой удельного уплотнения), некоторые значения которого приведены в табл.

Таблица 1. 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:

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

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 тоже 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:

$$\operatorname{lg} \sigma_t = \operatorname{lg} c + \mu \operatorname{lg} \sigma_n. \quad (11)$$

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

Коэффициент внутреннего трения будет:

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

Для коэффициента сцепления имеем выражение:

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

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  $B$   $H - H_1 = h$ ).

## Выводы

С целью изучения напряженного состояния в зоне контакта и оценки плотности почвы исследована задача взаимодействия сферического диска катковой приставки пахотного агрегата с почвой:

1. Приведены выражения для оценки напряженного 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;
2. Получены выражения для определения коэффициентов сцепления и угла внутреннего трения в зависимости от значений касательного и нормального напряжений, представленных в логарифмической системе координат;
3. Получены выражения нормальных и касательных напряжений в зависимости от главных напряжений для случая, когда главные оси совпадают с выбранными прямоугольными осями координат
4. Приведены выражения для оценки плотности почвы в зоне контакта диска и почвы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжова И.М. Анализ отклика экосистем на изменения параметров круговорота углерода методом математического моделирования. Почвоведение, 1995. – N 1. – С. 50–55.
2. Łabętowicz J. Świat bez pługa. Rzeczpospolita. Grudnia 2005, s. 12.
3. Чигарев Ю.В. Синкевич П.Н. Математические основы механики почв. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 163 с.
4. Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика. – М: Агропромиздат, 1986. – 349 с.