

УДК 631. 431

А.Н. Орда¹, В.А. Шкляревич¹, А.С. Воробей²,
С.А. Касько¹, Я.Р. Каминский³

¹ Белорусский государственный аграрный технический
университет, г. Минск, Республика Беларусь;

² Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации
сельского хозяйства, г. Минск, Республика Беларусь;

³ Варшавский аграрный университет, г. Варшава,
Республика Польша

ЗАВИСИМОСТЬ ГЛУБИНЫ СЛЕДА ОТ ДАВЛЕНИЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ НА ПОЧВУ

Введение

В процессе эксплуатации почвообрабатывающих агрегатов возникает следующая проблема – чрезмерное уплотнение почвы их ходовыми системами, в особенности колесными, приводящее к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, повышению затрат энергии на передвижение и последующую обработку почвы, снижению производительности [1]. Имеющиеся к настоящему времени результаты экспериментальных и теоретических исследований указывают на противоречивость данных по воздействию на почву ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов в начальной стадии деформирования почвы [2]. Поэтому требуется уточнение аналитической зависимости описываемой процесс вдавливания деформатора в почву.

Основная часть

В земледельческой механике наибольшее распространение находят следующие зависимости между напряжением сжатия и осадкой штампа [3]:

$$\sigma = k h, \quad (1)$$

$$\sigma = p \frac{P}{F} h, \quad (2)$$

$$\sigma = c h^\mu, \quad (3)$$

$$\sigma = c_0 \varepsilon^\mu, \quad (4)$$

$$\sigma = p_0 \left(1 - e^{-h/k_0}\right), \quad (5)$$

$$\sigma = p_0 \left(1 - e^{-L\varepsilon}\right), \quad (6)$$

$$\sigma = p_0 th \left(\frac{k}{p_0} h\right), \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{P_0}{1 + C e^{-c_1 p_0 h}}, \quad (8)$$

где k – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м^3 ; \bar{p} – среднее удельное давление при $P h = F$, Па; P – периметр опорной площади, м; F – опорная площадь, м^2 ; c – константа; μ – показатель степени деформируемости почвы; c_0 – константа деформируемости с постоянной размерностью, Па; $\varepsilon = h / D$ – относительная деформация; D – диаметр штампа, м; p_0 – предел несущей способности почвы, Па; k_0 – константа деформируемости, м; L' – безразмерный коэффициент относительной жесткости; ε_m – относительная деформация почвы в точке перегиба кривой деформирования.

Проанализируем возможность применения закономерностей деформирования почвы штампом (1)-(8) к процессу передвижения колес.

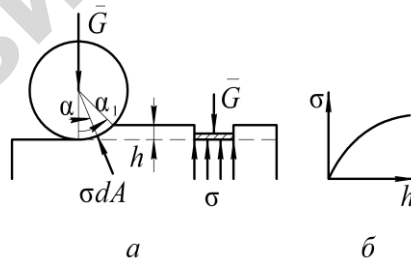


Рис. 1. Деформация почвы:

a – схема деформирования почвы колесом и штампом;

б – зависимость между напряжением σ и деформацией почвы h [4]

Для того чтобы можно было применить закономерности дефор-

мирования почвы штампом применительно к качению колеса, применяются следующие допущения [4].

1. Сила реакции почвы на элементе поверхности колеса проходит через его ось и равна напряжению σ , умноженному на площадь элемента dA (рис. 1, *a*).

2. Напряжение σ под колесом равно напряжению под штампом, вдавленным в почву на глубину, на которой находится рассматриваемый элемент поверхности колеса.

При выполнении данных допущений можно применять зависимость между напряжением σ и осадкой штампа h (рис. 1, *б*) для определения напряжений в размеченных точках контакта колеса с почвой.

При изучении процесса вдавливания деформатора установлено [5], что кривая изучаемого явления может быть симметричной лишь в некоторых частных случаях. В общем случае деформирования бесконечного полупространства почвы она ассиметрична относительно точки перегиба [5]. Поэтому процесс осадки почвы под воздействием деформатора будем характеризовать аналитическим описанием кривой вдавливания, состоящей из вогнутого и выпуклого участков. Так, Д. И. Золотаревская, используя результаты исследования Г. И. Покровского и предложенную В. В. Кацыгиным зависимость гиперболического тангенса между сопротивлением и осадкой почвы (7), получила следующую формулу [6]:

$$\sigma = p_0 \left[th \frac{E_m}{p_0} (\varepsilon - \varepsilon_m) + th \frac{E_m}{p_0} \varepsilon_m \right], \quad (9)$$

где E_m – максимальный модуль деформации почвы, Па; $\varepsilon = h / h_0$ – относительная осадка; h_0 – эквивалентная высота деформируемого слоя, м; ε_m – относительная осадка почвы, соответствующая точке перегиба кривой.

Формула (9) больше приемлема для практического использования, чем выражение (8), так как входящие в нее коэффициенты имеют физический смысл и легко определяются из опыта. Однако, она также симметрична относительно точки перегиба, что не совсем точно отражает процесс вдавливания в начальной стадии.

Для нахождения уравнения кривой вдавливания введем вспомогательную систему координат $\bar{\sigma}C\bar{h}$. Начало данной системы координат поместим в точку перегиба C . Выпуклый участок кривой вдавливания в системе координат $\bar{\sigma}C\bar{h}$ описывается уравнением:

$$\bar{\sigma} = pth \frac{k_m \bar{h}}{p}, \quad (10)$$

где k_m – коэффициент объёмного смятия почвы в точке перегиба C , Н/м³.

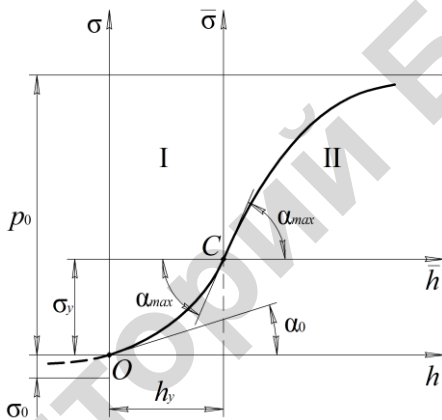


Рис. 2. Зависимость между сопротивлением и осадкой штампа

Кривую вдавливания (рис. 2) будем описывать двумя уравнениями. Зависимость между сопротивлением и осадкой для вогнутого участка имеет следующий вид [5]:

$$\sigma_1 = \sigma_y - (\sigma_0 + \sigma_y) th \frac{k_m}{\sigma_0 + \sigma_y} (h_y - h). \quad (11)$$

Для практического использования равенство (11) неприемлемо из-за трудности определения напряжения σ_0 , обусловленного сцеплением почвы. Выразим его через коэффициент k_0 объёмного смятия в начале процесса вдавливания ($k_0 = \text{tg}\alpha_0$). Возьмем производ-

ную напряжения σ_1 по осадке h из уравнения (11), одновременно воспользовавшись тем, что при $h = 0$, $\sigma_1 = 0$, а $k_0 = d\sigma_1 / dh$.

Зависимость сопротивления от глубины на вогнутом участке кривой вдавливания в таком случае будет иметь вид:

$$\sigma_1 = \sigma_y - \frac{k_m h_y}{\text{Arch} \sqrt{k_m / k_0}} th \left(\frac{h_y - h}{h_y} \text{Arch} \sqrt{\frac{k_m}{k_0}} \right). \quad (12)$$

Для выпуклого участка зависимость между сопротивлением и осадкой запишем следующим образом:

$$\sigma_2 = \sigma_y + (p_0 - \sigma_y) th \frac{k_m}{p_0 - \sigma_y} (h - h_y). \quad (13)$$

где σ_2 – сопротивление вдавлванию деформатора во второй стадии, характеризуемой выпуклым участком кривой, Па;

Найдём глубину следа в зависимости от давления движителя на почву. Если давление меньше сопротивления вдавлванию в точке перегиба, глубина следа определяется из формулы (12):

$$h = \frac{h_y}{A_0} \left[A_0 - \text{Arth} \frac{A_0 (\sigma_y - \sigma)}{k_m h_y} \right], \quad (14)$$

где $A_0 = \text{Arch} \sqrt{k_m / k_0}$.

Для случая, когда давление движителя на почву превышает сопротивление вдавлванию в точке перегиба, глубину следа находим из выражения (13):

$$h = h_y + \frac{(p_0 - \sigma_y)}{k_m} \text{Arth} \frac{\sigma_y - \sigma}{p_0 - \sigma_y}. \quad (15)$$

По формулам (14) и (15) строим зависимость деформации почвы с различными механическими свойствами от давления на неё (рис. 3). Рыхлая почва ($\sigma_y = 80$ кПа; $h_y = 0,058$ м; $k_m = 2500$ кПа/м; $k_0 = 300$ кПа/м; $p_0 = 200$ кПа); почва средней плотности ($\sigma_y = 200$ кПа;

$h_y = 0,058$ м; $k_m = 5000$ кПа/м; $k_0 = 1500$ кПа/м; $p_0 = 500$ кПа); почва высокой плотности ($\sigma_y = 300$ кПа; $h_y = 0,058$ м; $k_m = 7500$ кПа/м; $k_0 = 2250$ кПа/м; $p_0 = 750$ кПа).

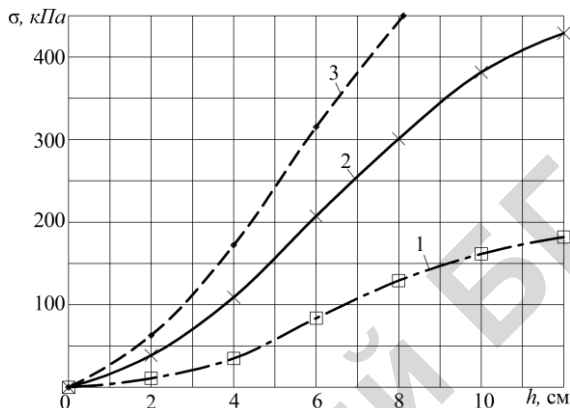


Рис. 3. Зависимость деформации почвы от давления
1 - при $k_0 = 300$ кПа/м; 2 - — при $k_0 = 1500$ кПа/м;
3 - ---- при $k_0 = 2250$ кПа/м

Из рис. 3 видно, что для почвы небольшой исходной плотности ($k_0 = 300$ кПа/м) четко выделяются три участка: вогнутый, близкий к прямолинейному и выпуклый. Для почвы с высокой исходной плотностью ($k_0 = 2250$ кПа/м) четко выделяется средний прямолинейный участок, а выпуклый – отсутствует.

Заключение

1. В общем случае деформирования, когда плотность почвы в различных горизонтах мало различима, зависимость между напряжениями сжатия и осадкой штампа имеет S-образный характер. График этой зависимости, имеющий вогнутый и выпуклый участки, является ассиметричным относительно перегиба.

2. Для определения глубины следа при воздействии колес следует применять предложенные зависимости, описывающие аналитические вогнутый и выпуклый участки кривой деформирования. Из графиков, построенных по полученным зависимостям видно, что с увеличением рыхлости почвы

усиливается вогнутость в начальной стадии и выпуклость в конечной стадии деформирования.

Список использованной литературы

1. Орда, А. Н. Свойства почвы и их изменение под воздействием ходовых систем почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов // А. Н. Орда, А.С. Воробей, В. А. Шкляревич . – Инженерный вестник, № 1 (25). – 2008, С.68-73

2. Орда, А. Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.20.03 / А. Н. Орда; Белорус. аграр. тех. ун. – Минск, 1997. – 36 с.

3. Кацыгин, В. В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных с.х. машин и орудий / В. В. Кацыгин // Вопросы сельскохозяйственной механики. Минск. –: Сельхозгиз БССР, 1964.– Т.13. С. 5-147.

4. Кулен, А. Современная земледельческая механика/ А. Кулен, Х. Купперс. – Москва, Агропромиздан, 1986. – 350 с.

5. Бойков, В. Обоснование зависимости между сжимающими напряжениями и осадкой почвы / В. Бойков, Ч. Жданович, А. Орда // Y Miedzynarodowe sympozjum Ekologiczne aspekty mechanizacji nawozenia, ochrony roslin i uprawy gleby. – Warszawa, 1998. – S. 161-168.

6. Золотаревская, Д. И. Зависимость между сжимающими напряжениями и осадкой почвы / Д. И. Золотаревская. – Механизация и электрификация сел. хоз-ва, 1980, № 2 , С. 30 - 32.

УДК 631.312.65

А.А. Зенов, ассистент

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РЫХЛЕНИЕ ПОЧВЫ — ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ КУЛЬТУР

Введение

Способ обработки почвы является одним из важнейших факторов, влияющих на рост, развитие и формирование урожая сельскохозяй-