К ОЦЕНКЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ

Чигарев Ю.В.[1,2], д.ф.-м.н., Крук И.С.[1,3], к.т.н., доцент, Воробей А.С.[4], Назаров Ф.И.[1]
[1] *Белорусский государственный аграрный технический университет;*
[2] *Западнопоморский технологический университет, Щетин, Республика Польша;*
[3] *Институт переподготовки и повышения квалификации МЧС Республики Беларусь;*
[4] *РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

Как известно, переуплотнение почв сельскохозяйственными деформаторами (СД) связано с переупаковкой твердых частиц и уменьшением порового пространства, что ведет к нарушению водного и воздушного режима в почве. Несмотря на большое количество научных работ по снижению уплотняющего воздействия СД на почву в данной проблеме остается много нерешенных вопросов. К мало изученным можно отнести вопрос о повышении несущей способности почвы. Среди многих факторов влияющих на несущую способность почвы связанных с ее структурой является пористость. Речь идет о порах наполненных воздухом или водой и способных к большому сопротивлению сжатия. При некоторых внешних нагрузках СД на поверхность почвы, эти поры деформируются упругим образом, т.е. полностью восстанавливают форму после прохождения СД, обеспечивая почве сохранность структуры и начальную плотность. Однако существуют поры для которых внешнее нагружение от СД ведет к их замыканию, а следовательно, к увеличению плотности почвы. В этой связи интерес вызывает сам механизм замыкания пор.

Методика решения задачи

Рассмотрим пору в виде пустотелой сферы, поверхность которой имеет толщину *h*, т.е. имеет внутреннюю и внешнюю границы. Очевидно, что сама поверхность поры будет представлять собой также пористый материал, состоящий из твердых частиц почвы и воздуха (жидкости). Пористость поверхностного слоя до деформирования определится [1] из соотношения

$$\varepsilon_0 = \frac{r_{\text{н}0}^3}{r_{\text{н}0}^3 - r_{\text{в}0}^3}, \qquad (1)$$

где $r_{\text{в}0}$ – внутренний радиус сферы до деформации;

$r_{\text{н}0}$ – наружный радиус сферы до деформации.

При проезде СД по полю на пору будет действовать напряжение, которое по мере приближения СД будет возрастать. В этом случае толщина стенки поры изменяется, а ее пористость выражается формулой

$$\varepsilon = \frac{r_{\text{н}}^3}{r_{\text{н}}^3 - r_{\text{в}}^3}, \qquad (2)$$

где $r_{\text{в}}$ – внутренний радиус стенки сферы после деформирования;

$r_{\text{н}}$ – наружный радиус стенки сферы после деформирования.

Будем считать, что на поверхность почвы действует сосредоточенная сила *P*. Тогда согласно формуле Буссиннеска на наружную поверхность стенки поры будет действовать радиальное напряжение (рисунок 1) [2]

$$\sigma_R = \frac{3P\cos\alpha}{2\pi R^2}, \qquad (3)$$

где α – угол, составляемый радиусом-вектором R с вертикалью.

Репозиторий БГАТУ

В силу малости сферы можно считать, что на ее наружной поверхности будет действовать равномерно распределенная нагрузка (гидростатическое давление) (рисунок 1)., определяемая формулой (3)

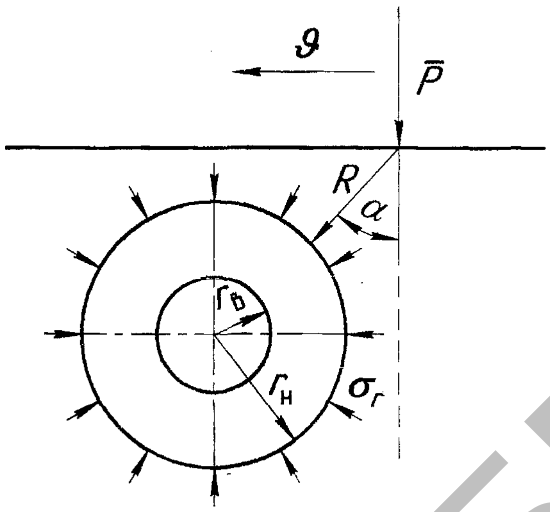

Рисунок 1 – Схема действия нагрузки на пору

В цилиндрической системе координат связь между напряжениями и деформациями в случае упругого деформирования стенок сферы будет [1]

$$\sigma_{rr} = \sigma(r) = \frac{4G}{3r^3}\left(r_{\text{в}0}^3 \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon}{\varepsilon_0 - 1}\right); \tag{4}$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma(r) - \frac{2G}{3r^3}\left(r_{\text{в}0}^3 \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon}{\varepsilon_0 - 1}\right), \tag{5}$$

где $r^3 = r_0^3 - r_{\text{в}0}^3 \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon}{\varepsilon_0 - 1}$ – радиус определяющий положение точки сферы после деформации;

r_0 – радиус, определяющий положение точки сферы до деформации;

$\sigma(r)$ – гидростатическое давление;

G – модуль упругости.

Уравнение равновесия

$$\sigma_{rr,r} + \frac{2(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta})}{r} = 0. \tag{6}$$

Условия на границе стенок сферической поры будут

$$\left.\begin{aligned} r = r_{\text{в}};\ \Rightarrow \sigma_{rr} = 0 \\ r = r_{\text{н}} \Rightarrow \sigma_{rr} = -\frac{3P\cos\alpha}{2\pi R^2} \end{aligned}\right\}. \tag{7}$$

при

Считая α и R постоянными величинами из (4), (5) и (6) получим

$$\sigma_R = \frac{4G(\varepsilon_0 - \varepsilon)}{3\varepsilon(\varepsilon_0 - 1)}. \tag{8}$$

Репозиторий БГАТУ

С учетом (3) можно получить

$$P = \frac{8G\pi R^2(\varepsilon_0 - \varepsilon)}{9\varepsilon(\varepsilon_0 - 1)\cos\alpha}. \tag{9}$$

Как следует из (8) напряжение на наружную поверхность стенки рассматриваемой сферы зависит от пористости до деформации и после нее, а так же от упругих свойств почвы образующих толщину поверхности сферической оболочки.

При увеличении нагрузки P могут появиться пластические деформации при которых данная несущая способность почвы уменьшится т.е произойдет уплотнение почвы. При заданных условиях нагружения можно записать

$$\sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta} = 2k^*, \tag{10}$$

где k^* – коэффициент пластичности [1].

Действующее напряжение достигает предела текучести вначале на внутренней поверхности сферы при пористости ε_1 :

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_0 G + k^*}{G + k^*}. \tag{11}$$

Граница раздела пластической и упругой областей движется к наружной поверхности с ростом нагрузки. Положим, что радиус границы раздела между упругой и пластической областями равен r_D . Тогда уравнение равновесия в пластической области имеет вид

$$\sigma_{rr,r} + \frac{4}{r}k^* = 0. \tag{12}$$

Когда $r_D = r_н$, то пористость определяется по формуле

$$\varepsilon_2 = \frac{G}{G + k^*}\varepsilon_0. \tag{13}$$

Из (12) можно получить выражение для напряжений на границе раздела $r = r_D$. На внутренней поверхности

$$\sigma_{rr} = 14k^*(\ln r_D - \ln r_B). \tag{14}$$

На наружной поверхности

$$\sigma_{rr} = -\sigma_R \frac{4Gr_{в0}(\varepsilon_0 - \varepsilon)}{3(\varepsilon_0 - 1)} = \left[\frac{r_н^3 - r_D^3}{r_н^3 r_D^3}\right] \tag{15}$$

Рядом преобразований из (14) и (15) получим выражение для определения напряжений на наружной поверхности в случае, когда стенки полой сферы (поры) полностью находится в пластическом состоянии

$$\sigma_R = 0{,}7\left[k^* + G - \frac{G\varepsilon_0}{\varepsilon} + k^* \ln\frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon)G}{\mu(\varepsilon_0 - 1)}\right], \tag{17}$$

Репозиторий БГАТУ

где G и μ – параметры упругих свойств почвы.

Заключение

Напряжение σ_R определяемое формулой (17) является критическим для сохранения объема порового пространства, т.к. переход в пластическое состояние будет характеризоваться замыканием пор (в почвогрунтах будет происходить переупаковка твердых и жидких частиц. Из уравнения (17) и (3) можно определить критическую нагрузку на почву при которой будет происходить замыкание пор, а следовательно ухудшаться агрономические свойства почвы.

Литература

1. Колинов А.П., Полухин П.И. и др. Новые процессы деформации металлов и сплавов. М., Высш. шк., 1986. – с. 351.
2. Чигарев Ю.В., Синкевич П.Н. Математические основы механики почв. Мн.: УП «Технопринт», 2004. – с. 163.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И СВОЙСТВ ПОЧВЫ НА ПРИЛИПАЕМОСТЬ К КАРТОФЕЛЮ

Орда А.Н.[1], д.т.н., профессор, Дашков В.Н.[1], д.т.н., профессор, Воробей А.С.[2]

[1]Белорусский государственный аграрный технический университет

[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

Ходовые системы тракторов, агрегатируемых с машинами по возделыванию картофеля, создают давление на почву 100-150 кПа.

Воздействие ходовых систем ведет к повышению плотности почвы на глубине до 0,5м. Из-за этого не только ухудшаются условия роста картофеля, но и создаются условия для увеличения прилипаемости почвы к клубням.

Анализ процесса поглощения энергии при уплотнении почвы позволил установить экспотенциальный закон распределения напряжений по глубине:

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x}, \qquad (1)$$

где σ_i - напряжение в контакте почвы с колесом, Па;

σ_δ - напряжение на глубине x, Па;

β - коэффициент распределения напряжений, м$^{-1}$.

Приращение плотности почвы на участке dx пропорционально градиенту напряжения

$$d\rho_x = k_1 \cdot \psi_x dx,$$

где k_1 - коэффициент уплотнения, кг/Н×м;

ψ_x - градиент напряжения, Па/м.

Градиент напряжения пропорционален действующему напряжению

$$\psi_x = -\beta \cdot \sigma_x$$

Тогда, приращение плотности

$$d\rho_x = -k_1 \cdot \beta \cdot \sigma_x dx.$$

Подставив зависимость (1) распределения напряжений по глубине в последнее уравнение, получим

Репозиторий БГАТУ