

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

А.Н. Орда, докт. техн. наук, профессор, В.А. Шкляревич, ст. преподаватель (БГАТУ)

Аннотация

В статье обоснован вид напряженно-деформированного состояния почвы, определены величины и направления главных напряжений, совпадающие с направлениями главных осей деформаций в почве под воздействием ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов.

The mode of deformation for soil condition is substantiated, the values and the directions of main voltages are determined, which are at a proper direction with the main deformation axes in the soil under the influence of soil-cultivating running systems.

Введение

При многолетней обработке в почве под воздействием ходовых систем и рабочих органов образуются различные по физико-механическим свойствам почвенные слои. Для описания взаимодействия ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов с почвой вводится силовая характеристика, которая называется *напряжением*. Определение напряжений в почвенном массиве под воздействием ходовых систем имеет особое важное значение для оценки тягово-сцепных свойств почвообрабатывающих агрегатов, деформаций почвы и глубины колеи, а также выявления закономерностей изменения структурного состава почвы.

Основная часть

При движении почвообрабатывающего агрегата по поверхности поля деформации почвы под его движителем распространяются как в поперечном (рис. 1, а), так и в продольном направлениях (рис. 1, б) по ходу движения агрегата.

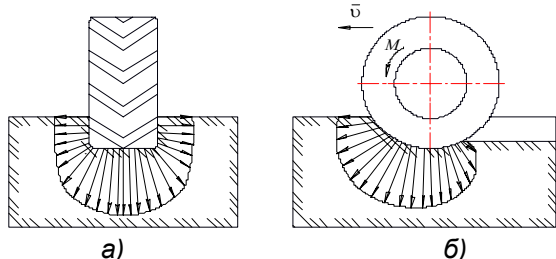


Рисунок 1. Схема распространения деформаций в почве под движителем почвообрабатывающего агрегата: в поперечной плоскости (а); в продольной плоскости (б) движителя

При воздействии движителя почвообрабатывающего агрегата на почву с увеличением нагрузки осадка почвы растет не только из-за ее уплотнения, но и в результате выдавливания частиц почвы из-под

движителя с образованием валов выпирания (рис. 2) [1]. Сжатие сопровождается образованием уплотненной зоны, имеющей форму конуса, основанием кото-

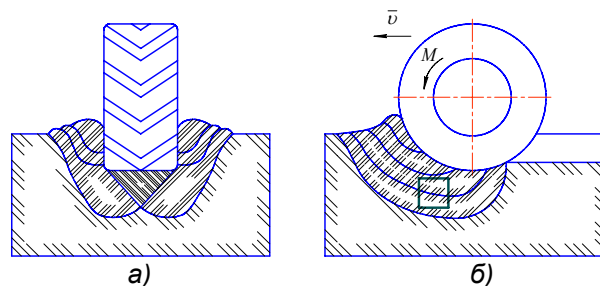
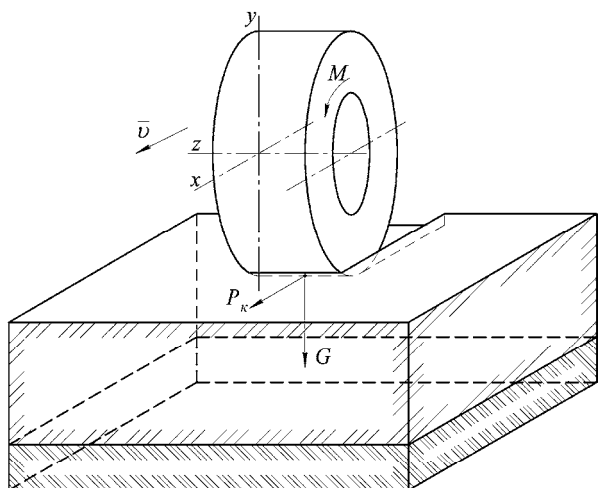


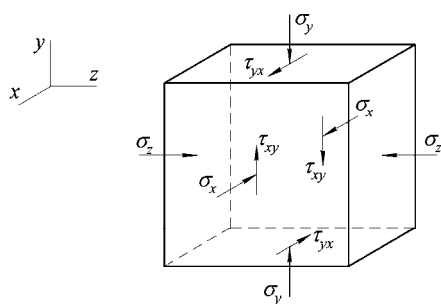
Рисунок 2. Схема образования уплотненной зоны в почве под движителем почвообрабатывающего агрегата

рого служит опорная поверхность движителя (рис. 2, а). С окончанием образования уплотненной зоны возникает устойчивое движение частиц почвы около движителя, сжимающее усилие при дальнейшем погружении его в почву практически не увеличивается значительно. Таким образом, при уплотнении почвы движителем почвообрабатывающего агрегата можно выделить зону уплотнения и зону сдвигов в плоскости, перпендикулярной скорости движения \bar{v} почвообрабатывающего агрегата (рис. 2, а) и продольной вертикальной плоскости (рис. 2, б).

Рассмотрим деформацию почвы движителем почвообрабатывающего агрегата при его движении по поверхности поля со скоростью \bar{v} (рис. 3, а) для случая рыхлого верхнего слоя почвы и плотного подстилающего основания (плужной подошвы). Выделим элементарный кубик в рыхлом верхнем слое почвы, расположенный под опорной поверхностью движителя и перед его осью вращения по ходу движения агрегата в зоне сдвигов почвы (рис. 3, б), для рассмотрения ее напряженного состояния. При движении движителя в ведущем (под действием момента



а)



б)

Рисунок 3. Схема взаимодействия движителя почвообрабатывающего агрегата с почвой (а) и напряженного состояния в почве под

М) и в особенности в ведомом режимах под действием распространения горизонтальных деформаций, направленных по ходу движения агрегата (рис. 1, б и 2, б), в почве возникают препятствующие им горизонтальные напряжения σ_x , которые действуют на площадках, параллельных плоскости yOz (рис. 3, б). Под действием вертикальной нагрузки G – с одной стороны и реакции плотного подстилающего основания на данную нагрузку – с другой стороны, на его горизонтальных площадках (плоскость xOz) действует напряжение σ_y . Напряжение σ_z , действующее на площадках xOy , обусловлено выдавливанием частиц почвы боковой поверхностью движителя (рис. 2, а). Так как указанные нормальные напряжения σ_x , σ_y и σ_z являются сжимающими (рис. 3, б), то по знаку они принимаются отрицательными [2, с. 75].

От действия касательной силы тяги P_k , развиваемой движителем, в горизонтальной плоскости на площадках xOz возникают касательные напряжения τ_{yx} , вызывающие сдвиг почвы (рис. 3, б). Согласно

закону парности касательных напряжений и знаку, принимаемому для касательных напряжений (по часовой стрелке – положительный, против часовой – отрицательный), если смотреть на рассматриваемый элементарный кубик почвы справа (рис. 3, б), между касательными напряжениями, действующими на взаимно перпендикулярных площадках xOz и yOz , существует следующая зависимость: $\tau_{yx} = -\tau_{xy}$ [2, с. 76].

Таким образом, в рассматриваемом случае почва под опорной поверхностью движителя находится в объемном напряженном состоянии.

В соответствии с общей теорией напряжений на три взаимно перпендикулярные главные площадки элементарного кубика почвы действуют главные напряжения: σ_1 , σ_2 , σ_3 , причем, $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. При моделировании процесса взаимодействия движителя почвообрабатывающего агрегата с почвой важно знать не только величины, но и направления главных напряжений, потому что они совпадают с главными осями деформаций. Так как главными площадками называются те, на которых отсутствуют касательные напряжения, то в нашем случае (рис. 3, б) площадки элементарного кубика почвы, перпендикулярные оси z , являются главными, а сжимающие напряжения σ_z будут одними из главных напряжений.

Для определения величин двух оставшихся главных напряжений воспользуемся формулами для определения максимальных и минимальных нормальных напряжений, действующих на главных площадках элементарного кубика почвы [2, с. 85; ф. 2. 14, 2. 15]:

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}; \quad (1)$$

$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}. \quad (2)$$

Положение главных площадок, на которых действуют найденные главные напряжения σ_1 , σ_2 , σ_3 , найдем через угол α_{z1} , показывающий на какой угол необходимо повернуть исследуемый элементарный кубик почвы относительно его ребра, параллельного оси z (рис. 3, а). Из [2, с. 82; ф. 2. 8] известно, что

$$\operatorname{tg} 2\alpha_{z1} = -\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}. \quad (3)$$

Так как тангенс представляет собой периодическую функцию с периодом π , то уравнению (3) удовлетворяют углы $\alpha_{z1n} = \alpha_{z1} + n \frac{\pi}{2}$ ($n = 0, 1, 2, \dots$).

Подставляя значения n , получим

$$\alpha_{z10} = \alpha_{z1}; \quad \alpha_{z11} = \alpha_{z1} + 90^\circ;$$

$$\alpha_{z12} = \alpha_{z1} + 180^\circ \text{ и т. д.}$$

Если отложить углы $\alpha_{z1_0}, \alpha_{z1_1}, \alpha_{z1_2}, \alpha_{z1_n}$ относительно оси x , то есть повернуть элементарный кубик относительно его ребра, параллельного оси z , то определяются два взаимно перпендикулярных направления, образующих с плоскостью xOz углы α_{z1} и $\alpha_{z1} + 90^0$. Одно направление относится к σ_{max} , другое – к σ_{min} . На рис. 4 изобразим грань рассматриваемого элементарного кубика почвы, параллельную плоскости xOy и повернутую на угол α_{z1} относительно оси z на рис. 3, б.

В соответствии с правилом из теории напряженного состояния, максимальное, в нашем случае сжимающее, напряжение σ_{max} всегда располагается в тех двух четвертях, где касательные напряжения τ_{xy} и τ_{yx} сходятся стрелками, а направление минималь-

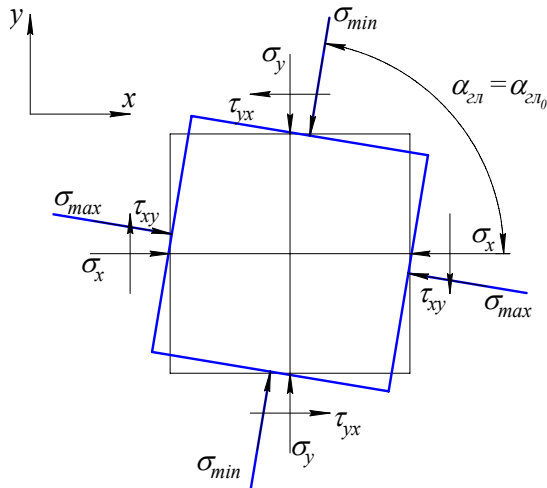


Рисунок 4. Схема к определению главных площадок элементарного кубика почвы под движителем

ного сжимающего напряжения σ_{min} будет в тех четвертях, где τ_{xy} и τ_{yx} расходятся стрелками (рис. 4).

Вычислив по зависимостям (1) и (2) значения σ_{max} , σ_{min} , и зная σ_z , присваиваем им индексы главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ с учетом знаков.

Так, при проведении экспериментальных исследований методом физического моделирования на базе почвенного канала [3] с помощью месдоз были установлены величины нормальных сжимающих напряжений в почве σ_x, σ_y и σ_z под колесом ($\sigma_x = 34$ кПа, $\sigma_y = 111$ кПа и $\sigma_z = 29$ кПа). Эксперимент проводился в следующих условиях: колесо 5.00 – 10.00, работающее в ведущем режиме, плотность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы $\rho = 1010$ кг/м³,

влажность почвы $W = 20$ %. Касательное напряжение сдвига почвы τ_{xy} найдем по следующей зависимости [4, с. 201-202]:

$$\tau_{xy} = \frac{P_k}{S_{on}} = \frac{\varphi_{сц} \cdot Q_{сц}}{S_{on}} = \frac{\varphi_{сц} \cdot \sigma_y \cdot S_{on}}{S_{on}} = \varphi_{сц} \cdot \sigma_y, \quad (4)$$

где P_k – касательная сила тяги, развиваемая движителем, Н;

S_{on} – площадь опорной поверхности движителя, м²;

$\varphi_{сц}$ – коэффициент сцепления движителя с почвой;

$Q_{сц}$ – сцепной вес (текущее значение нормальной нагрузки на движитель), Н.

Таким образом, подставив значение коэффициента $\varphi_{сц} = 0,5$ в зависимость (4), находим величину касательного напряжения сдвига почвы:

$$\tau_{xy} = 55,5 \text{ кПа.}$$

По зависимостям (1) и (2) определяем величины экстремальных напряжений:

$$\sigma_{max} = 140 \text{ кПа и } \sigma_{min} = 5 \text{ кПа.}$$

С учетом $\sigma_z = 29$ кПа окончательно получаем значения главных сжимающих напряжений:

$$\sigma_1 = 140 \text{ кПа, } \sigma_2 = 29 \text{ кПа, } \sigma_3 = 5 \text{ кПа.}$$

И в заключение, с помощью зависимости (3) определим положение главных площадок (направление главных осей деформаций – угол α_{z1}) элементарного кубика почвы под исследуемым колесом: в данном случае $\alpha_{z1} = 27^0 36'$.

Заключение

При изучении процессов, протекающих в рыхлом верхнем слое почвы под воздействием ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов, обоснован вид напряженно-деформированного состояния почвы, определены величины и направления главных напряжений, совпадающие с направлениями главных осей деформаций в почве, как в общем виде, так и на конкретном примере, при проведении экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орда, А. Н. Оценка воздействия на почву ходовых систем и рабочих органов почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов / А. Н. Орда, Н. А. Гирейко, А. Б. Селеша // Агропанорама. – 2006. – № 6. – С. 6-9.
2. Подскребко, М. Д. Сопротивление материалов: учеб. / М. Д. Подскребко. – Минск: Выш. шк., 2007. – 797 с., ил.
3. Орда, А. Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: дис. ... д-ра техн. наук: 05. 20. 03 / А. Н. Орда. – Минск, 1997. – 269 с.
4. Скотников, В. А. Проходимость машин / В. А. Скотников, А. В. Пономарев, А. В. Климанов. – Минск: Наука и техника, 1982. – 328 с., ил.