

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., Ситкович П.Н. Математические основы механики почв. Минск: Технопринт, 2004. 163 с.
4. Кулен Л., Кутерс 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 усовершенствование 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

приближенный характер, при этом ни одна из них не может быть принята за модель, которая бы адекватно реальному процессу определяла параметры уплотнения.

Почва, как известно, сплошная среда, которая имеет упругие, вязкие и пластические свойства. К тому же при повторном нагружении (например, прохождение энергетического средства по одному и тому же следу) она упрочняется, т.е. изменяются ее модули упругости и пластичности. Например, модуль упругости свежеспаханной почвы намного меньше, чем почвы уплотненной.

Почвы при уплотнении обладают пластическими свойствами, т.е. остаточными деформациями, поэтому в решении задач взаимодействия сельскохозяйственных деформаторов с почвой необходимо для достоверной оценки уплотнения учитывать их пластическую деформацию, которая часто значительно выше, чем упругая.

В данной работе силовое воздействие на почву определяется моделью Буссинеска [2], а свойства почвы описываются реологическими параметрами. В результате рассмотрения двух моделей в точках почвенного массива определяются напряжения и соответствующие им пластические деформации.

Воздействие сельскохозяйственных деформаторов на почву осуществляется через ходовые системы (колеса) и рабочие органы (плуги, катки, зубья и пр.) по некоторой области контакта. Определение закона распределения напряжений в зоне контакта представляет собой сплошную задачу как теоретического, так и экспериментального характера. Предположим, что нам известен закон распределения контактных напряжений при взаимодействии сельскохозяйственного деформатора с почвой. Равнодействующую данных распределенных сил вдоль линии контакта обозначим через P . Тогда для определения напряжений в точках почвенного массива можно использовать формулу Буссинеска [2], т.е. записать

$$\sigma_R = \frac{3}{2} \frac{P}{\pi R^2} \cos \alpha, \quad (1)$$

где σ_R – радиальное напряжение;

R – расстояние от точки приложения силы P на поверхности почвенного полупространства до рассматриваемой точки M (рис.);

α – угол между линией действия силы P и расстоянием R .

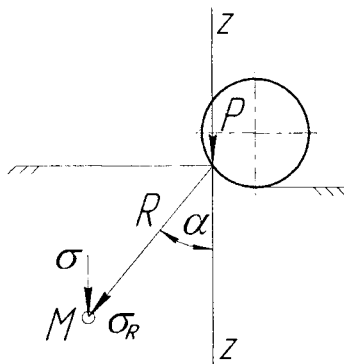


Схема к определению напряжений в точке почвенного массива

Формула (1) приближенно определяет напряжение в почвенном массиве, но не учитывает свойства почвы и ее деформацию. Рассмотрим модель почвы, функция нагружения которой имеет вид [3]:

$$\sigma - k - ce^p - \eta e^p = 0, \quad (\sigma > k), \quad (2)$$

где σ – нормальное напряжение к поверхности почвы ($\sigma = \sigma_R \cos \alpha$);

k, c, η – соответственно коэффициенты пластичности, упрочнения, вязкости;

e^p – пластические относительные деформации.

$$\dot{e}^p = \frac{de^p}{dt}, \quad (t - \text{время}).$$

Когда почва перегружена, ее свойства можно описать упругими свойствами, то есть:

$$\sigma = Ee^e, \quad (\sigma < k), \quad (3)$$

где e^e – упругие относительные деформации.

E – модуль упругости.

Из (3) с учетом (1) имеем

$$e^e = \frac{3}{2} \frac{P}{E\pi R^2} \cos^2 \alpha. \quad (4)$$

Формула (4) определяет упругие деформации в почве от заданной нагрузки P . Из (4) видно, что чем тверже почва (E растет), тем меньше ее деформация. Наибольшая упругая деформация будет соответствовать при $\alpha = 0$. Формула (4) теряет физический смысл в точке $R = 0$ и ее окрестности, что ограничивает ее применение

Пусть в рассматриваемых точках почвы $\sigma > k$, т.е. имеют место остаточные деформации. Тогда связь между напряжениями и деформациями будет выражаться формулой (2). Из (1) и (2) можно получить

$$\eta \dot{e}^p = \frac{3}{2} \frac{P \cos^2 \alpha}{\pi R^2} - k - ce^p. \quad (5)$$

Или

$$\dot{e}^p = \frac{3}{2} \frac{P \cos^2 \alpha}{\eta \pi R^2} - \frac{k}{\eta} - \frac{c}{\eta} e^p. \quad (6)$$

Особый интерес вызывает случай, когда $P = P(t)_x + P_0$, $\alpha = \omega t$ (ω – круговая частота, $P_0 = \text{const}$).

Уравнение (6) преобразуем к виду

$$\frac{de^p}{dP} = \frac{1}{\eta \dot{P}} \left(\frac{3}{2} \frac{P \cos^2 \alpha}{\pi R^2} - k - ce^p \right), \quad \left(\dot{P} = \frac{dP}{dt} \right). \quad (7)$$

Считаем $\alpha = \text{const}$.

Обозначим

$$A = \frac{3}{2} \frac{P \cos^2 \alpha}{\pi R^2}; \quad B = \frac{1}{\eta \dot{P}}; \quad e^p = uv, \quad \text{тогда} \quad \frac{de^p}{dP} = u'v + v'u.$$

И уравнение (7) перепишем в новых переменных u и v .

$$u'v + v'u = B(PA - k - cuv).$$

Или

$$u'v - BAP + Bk + B(cuv + v'u) = 0.$$

Сгруппируем члены уравнения

$$u'v - BAP + Bk + u(Bcv + v') = 0. \quad (8)$$

Найдем решение для функции v .

Из уравнения (8) следует

$$Bcv = v' = 0. \quad (9)$$

Откуда после интегрирования получим

$$v = e^{-BcP}. \quad (10)$$

Уравнение (8) с учетом (10) будет

$$\frac{du}{dP} e^{-BcP} - BAP + Bk = 0.$$

или

$$\frac{du}{dP} = (BAP - Bk)e^{BcP} = 0.$$

В интегральной форме

$$\int du = \int BAP e^{BcP} dP - \int Bk e^{BcP} dP.$$

После интегрирования имеем

$$u = e^{BcP} \left[\frac{A(BcP - 1)}{Bc^2} - \frac{k}{c} \right], \quad (11)$$

где C – постоянная интегрирования.

Учитывая, что $e^P = uv$, с учетом (10) и (11) получим выражение для определения пластических деформаций

$$e^P = \frac{3 \cos^2 \alpha}{2 \pi R^2 c} \left(P - \frac{\eta \dot{P}}{c} \right) - \frac{k}{c}. \quad (12)$$

Если почва обладает упругими и пластическими деформациями, то полная деформация в рассматриваемой точке будет равна их сумме

$$e = e^P + e^e. \quad (13)$$

Подставляя (4) и (12) в (13), получим

$$e = \frac{3 \cos^2 \alpha}{2 \pi R^2} \left(\frac{P}{E} + \frac{P}{c} - \frac{\eta \dot{P}}{c^2} \right) - \frac{k}{c}. \quad (14)$$

Таким образом, получена модель, позволяющая оценить напряженное и деформированное состояние в точках почвенного массива с учетом реологических параметров почвы при воздействии переменной нагрузки. Отметим, что при $P = \text{const}$ пластические и полные деформации почвы не учитывают ее вязких свойств.

Литература

1. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. М.: ВИМ, 1998. 368 с.
2. Цитович И.А. Механика грунтов. М.: Госстройиздат, 1963. 380 с.
3. Чухарев Ю.В., Ситкевич П.Н. Математические основы механики почв. Минск: Технопринт, 2004. 163 с.