НАКОПЛЕНИЕ ПОВТОРНЫХ ОСАДОК ПОЧВЫ С УЧЕТОМ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ ЕЕ СВОЙСТВ

П.Н.Синкевич, А.Н.Орда, В.Н.Кецко (БАТУ)

Исследованиями установлено, что более высокие значения плотности почвы по следам ходовых систем мта, перемещающихся по полю, наблюдаются при выполнении ранневесенних работ. По сравнению с почвой вне следов уплотнение сохраняется в течение всего вегетационного периода. Влияние воздействия сельскохозяйственных тракторов на почву сказывается не только в период роста культурных растений, но и в последствии. Даже такие сильнодействующие факторы, как промерзание и отстаивание почвы, в зимне-весенний период полного самовосстановления агрофизических свойств почвы не обеспечивают.

На саморазуплотнение почвы в течение сезона роста трав влияют также такие факторы, как набухание и усадка при увлажнении и высыхании почвы. При впитывании воды почвой происходит утолщение водных пленок на поверхности почвенных частиц. Поэтому частицы почвы раздвигаются, и увеличивается объем системы почва-вода. Наиболее сильно подвергаются набуханию почвы, содержащие большое количество тонкодисперсных частиц, имеющих большую удельную поверхность.

Используемые в механике почв зависимости не учитывают фактор времени. Следовательно, с помощью их нельзя определить как изменяются деформационные свойства почвы в течение сезона возделывания трав. Для анализа процесса деформации и самовосстановления свойств почвы применим реологические модели.

Модель Максвелла представляет собой последовательное соединение линейно-упругого и вязкого элементов. Реологическое уравнение этой модели имеет вид

$$\sigma + \tau_p \frac{d\sigma}{dt} = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \qquad (1)$$

где $\tau_p = \dfrac{\eta}{E_М}$ — время релаксации, с;

η — коэффициент вязкости, Па с.

$E_м$ – мгновенный модуль упругости, Па.

Из уравнения (1) найдем закономерность развития деформации во времени при $\sigma = const$:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_М}\left(1 + \frac{t}{\tau_p}\right).$$

В конце периода нагружения деформация равна

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_М}\left(1 + \frac{\theta}{\tau_p}\right).$$

При разгрузке мгновенно восстанавливается упругая деформация. В результате остаточная деформация будет равна

$$\varepsilon_{ост} = \frac{\sigma_0}{E_М}\frac{\theta}{\tau_p}. \tag{2}$$

Из зависимости (2) видно, что модель Максвелла не отражает явления самовосстановления осадки во времени, имеющего место у реальных почв.

Рассмотрим как развивается деформация во времени у модели Кельвина-Фойгта. Такая модель представляет собой параллельное соединение линейно-упругого и вязкого элементов. Реологическое уравнение этой модели имеет вид

$$\sigma = E_g \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \tag{3}$$

где E_g — длительный модуль упругости, Па.

Закономерность развития деформации во времени для данной модели найдем из уравнения (3) при $\sigma = const$:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{\mathrm{E}_g}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_\text{М}}}\right),$$

где $\tau_\text{М} = \dfrac{\eta}{\mathrm{E}_g}$ — время запаздывания деформации, с.

При разгрузке в момент времени θ осадка будет самовосстанавливаться по уравнению:

$$\varepsilon_\rho = \frac{\sigma_0}{\mathrm{E}_g}\left(1 - e^{-\frac{\theta}{\tau_0}}\right)e^{-\frac{t-\theta}{\tau_0}}. \tag{4}$$

Анализ уравнения (4) показал, что модель Кельвина-Фойгта в лучшей мере подходит для описания процесса самовосстановления свойств почв по сравнению с моделью Масквелла. Однако модель Кельвина-Фойгта не описывает имеющих место у реальных почв остаточных (пластических) деформаций.

Рассмотрим, как происходит процесс деформирования и разгрузки упруговязкопластической модели. Вид реологического уравнения данной модели зависит от величины напряжения. Если напряжение σ меньше предела текучести σm, то имеем:

$$\sigma = \mathrm{E}_2\varepsilon.$$

Если $\sigma > \sigma_T$, то реологическое уравнение первой части модели имеет вид:

$$\sigma = \sigma_m + \mathrm{E}_1\varepsilon_1 + \eta\frac{d\varepsilon_1}{dt}, \tag{5}$$

а второй части

$$\sigma = \mathrm{E}_2\varepsilon_2. \tag{6}$$

Если упруговязкопластическую модель нагрузить и создать напряжение $\sigma > \sigma_T$, а затем в момент времени θ нагрузку снять, то осадка будет самовосстанавливаться по уравнению:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_m}{E_1} + \left[\frac{\sigma_1 - \sigma_m}{E_1}\left(1 - e^{-\frac{\theta}{\tau}}\right) - \frac{\sigma_m}{E_1}\right] e^{-\frac{t}{\tau}}. \qquad (7)$$

Таким образом, из (7) видно, что уменьшение осадки во времени после снятия нагрузки происходит по экспоненте.

Уравнения (4) и (7) получены на основе реологических моделей. Реологические модели не отражают все особенности деформирования реальных почвогрунтов. В общем виде уравнение можно записать следующим образом:

$$h_t = h_n e^{-\alpha\frac{t}{\tau}}, \qquad (8)$$

где h_t — осадка почвы с учетом самовосстановления по истечение времени t, м;

h_n — осадка почвы после прохода ходовой системы, м;

α — опытный коэффициент.

При повторном проходе ходовой системы по следу с глубиной h_t будет происходить дополнительная осадка почвы. При ее определении надо знать, как относятся давления предыдущего и последующего нагружений. Для этого надо привести глубину следа h_t после самовосстановления к адекватной величине давления колеса на почву. Учитывая непрерывность графика зависимости между напряжениями и повторными осадками, можно записать:

$$\sigma_t = p_0 th\left(\frac{K}{p_0} h_n e^{-\frac{t}{\tau}}\right). \qquad (9)$$

После сравнения контактного напряжения σ_i с приведенным напряжением σ_t от предыдущего нагружения выбираем вид зависимости для определения дополнительной осадки.

При $\sigma_i > \sigma_t$ приращение осадки будет определяться из зависимости (8). Формула для определения приращения осадки примет вид:

$$\Delta h_i = \frac{p_0}{\kappa}\left[Arch\frac{i^{\frac{bk}{p_0^2}}}{\sqrt{1-\frac{\sigma^2 t}{p_0^2}}} - Arch\frac{(i-1)^{b\frac{k}{p_0^2}}}{\sqrt{1-\frac{\sigma_t^2}{p_0^2}}} + \left(Arth\frac{\sigma_i}{p_0} - Arth\frac{\sigma_t}{p_0}\right)K_t \right]. \quad (10)$$

При $\sigma i < \sigma t$ приращение осадки определяется из зависимости

$$\Delta h_i = \frac{p_0}{\kappa}\kappa_n \lg\frac{i}{i-1} Arth\frac{\sigma_i}{p_0}. \quad (11)$$

Выводы

1. Используемые в механике почв зависимости по определению глубины следа при проходе ходовых систем не учитывают фактор времени.
2. Предложены зависимости накопления повторных осадок почвы с учетом самовосстановления ее свойств при снятии нагрузки. Данные зависимости могут быть использованы для расчета деформации почвы при наложении следов колес кормоуборочной техники в различные периоды сезона возделывания трав.

НАКОПЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЧВЫ ПРИ ПОВТОРНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

П.Н. Синкевич, А.Н. Орда, В.Н. Кецко (БАТУ), Ян Р. Камински (ИБМЭР, Республика Польша)

Выберем тип зависимости между сопротивлением сжатия почвы и осадкой деформатора. Наиболее простой и весьма распространенной является линейная зависимость между напряжением сжатия и осадкой (деформацией) почвы

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