

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ ХОДОВЫХ СИСТЕМ И РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

А.Н. Орда, докт. техн. наук, доцент, Н.А. Гирейко, А.Б. Селеши, инженеры (УО БГАТУ)

Введение

В большинстве математических моделей взаимодействия ходовых систем с почвой не учитывается тот факт, что уплотняющее воздействие проникает в подпахотный слой почвы, вызывая его нежелательное переуплотнение. Обоснование максимальной нагрузки на движитель, исходя из условия недопущения проникновения пластических деформаций почвы в подпахотный горизонт, позволит избежать этой проблемы. Кроме того, это снизит энергозатраты на почвообработку и улучшит качество последующего крошения почвы в следах машинно-тракторных агрегатов.

Образование ядра уплотнения почвы под воздействием колеса

При работе машинно-тракторного агрегата часть рабочих органов обрабатывает почву, предварительно деформированную ходовой системой (рис. 1). При деформировании почвы происходят смещения и разрушения частиц и структурных агрегатов, выжимание воды и воздуха из пор и уплотнение, а также сжатие пузырьков воздуха, защемленных в порах. Относительная доля того или иного из приведенных выше явлений зависит от состояния почвы. Имеющиеся сдвиги частиц и разрушение структурных элементов, выжимание из почвы воздуха определяют собой необратимые деформации, а сжатие воды и защемленных объемов воздуха, собственные упругие деформации частиц – упругие, т.е. восстанавливающиеся при снятии нагрузки.

При сжатии почвы колесом с увеличением нагрузки осадка растет не только из-за уплотнения, но и в результате выдавливания частиц из-под колеса в окружающую среду. Сжатие сопровождается образованием уплотненной зоны, имеющей форму конуса, основанием которого служит опорная поверхность колеса. С окончанием образования уплотненной зоны возникает устойчивое движение частиц почвы около колеса, сжимающее усилие при дальнейшем погружении его в почву практически не увеличивается. Таким образом, при уплотнении почвы колесом можно выделить зону уплотнения и зону сдвигов.

Дифференциальное уравнение осадки почвы с уче-

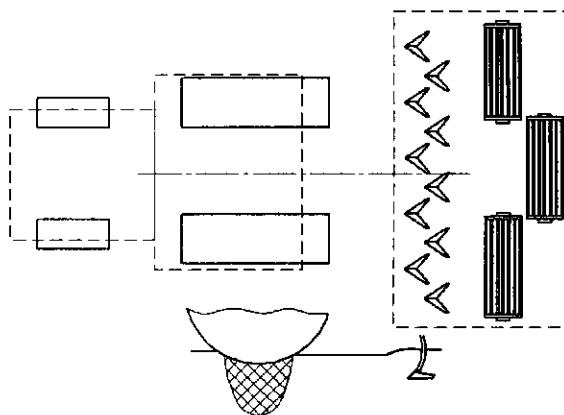


Рис. 1. Схема почвообрабатывающего машинно-тракторного агрегата

том происходящих процессов сжатия и сдвига имеет вид:

$$b \, dh = h \frac{d\sigma}{\sigma(p_0 - \sigma)}, \quad (1)$$

где b – коэффициент пропорциональности;

h – глубина следа, м;

σ – напряжение в месте контакта деформатора с почвой, Па;

p_0 – предел несущей способности почвы, Па.

Решив уравнение (1), получаем зависимость между сопротивлением и осадкой при внедрении деформатора в почвенный массив

$$\sigma = \frac{p_0}{1 + 1/(ch^b)}, \quad (2)$$

где c – опытный коэффициент.

Зависимость деформации сжатия (уплотнения) почвы, имеющей одинаковые физико-механические свойства по глубине, от напряжения пропорциональная:

$$h_{\text{упл}} = \frac{\sigma}{k}, \quad (3)$$

где k – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³.

Напряжение на глубине x в зависимости от напряжения на поверхности контакта деформатора с почвой выражается уравнением [1]:

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot e^{-\beta x}, \quad (4)$$

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

Из зависимости (4) находим высоту ядра уплотнения x_h почвы

$$x_h = \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_h} \right), \quad (5)$$

где σ_h - напряжение в нижней точке ядра уплотнения, Па.

Крошение почвы рабочим органом

Рассмотрим теперь разрушение почвы под воздействием рыхлящего рабочего органа (рис. 2) с энергетической точки зрения.

Удельная поглощаемая энергия (Дж/м^3) равна [2]

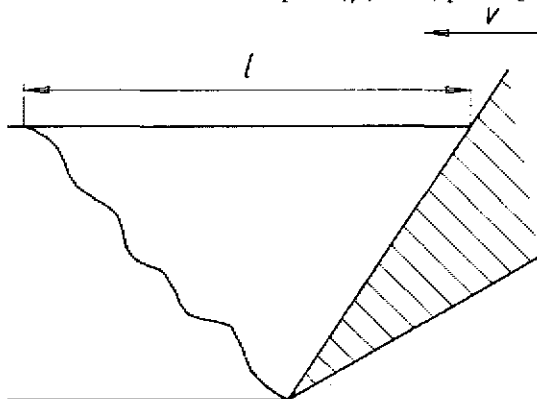


Рис. 2. Схема воздействия на почву двугранного клина

$$\psi = \frac{1}{2} \beta_3 \rho v^2 e^{-\beta x}, \quad (6)$$

где β_3 - коэффициент поглощения энергии, М^{-1} ;

ρ - плотность почвы в рассматриваемом объеме, кг/м^3 ;

l - длина сколотого пласта почвы, м;

v - скорость передвижения рабочего органа, м/с.

Для почвообрабатывающего агрегата,двигающегося с постоянной скоростью, имеем

$$\psi = a \rho, \quad (7)$$

где a - коэффициент, зависящий от конструкции рабочего органа и скорости передвижения, $\text{м}^2/\text{с}^2$.

Величина критического (разрушающего) значения поглощенной энергии находится по формуле [2]

$$P_\psi = 1 - \frac{1}{\exp \left(0,78 \frac{\psi^2}{\psi_{cp}^2} \right)}. \quad (8)$$

Величина P_ψ показывает, какая доля связей, имеющих в некотором элементарном объеме почвы, разрушится, если удельная поглощенная энергия равна ψ .

Подставив значение поглощенной энергии, выражаемое формулой (7), в формулу (8), получим:

$$P_\psi = 1 - \frac{1}{\exp \left(0,78 \frac{a^2}{\psi_{cp}^2} \rho^2 \right)}. \quad (9)$$

Для построения графика зависимости критического значения поглощенной энергии от плотности почвы найдем пределы изменения плотности. Рассмотрим модели идеальной почвы, частицы которой состоят из шаров одного размера. При кубической упаковке шаров объем, занимаемый самими шарами, составляет 52,4%, а объем воздушных пор - 47,6% от общего объема системы. С учетом того, что почва состоит из макроагрегатов, пористость ее достигает 60%, а минимальная плотность колеблется от 0,9 до 1,1 г/см^3 в зависимости от механического состава [3].

При гексагональной упаковке шаров на их долю приходится 74%, а на долю пор - 26% от общего объема. В этом случае почва, состоящая из первичных механических элементов, в пределе может иметь плотность $\rho = 2,0 \text{ г/см}^3$. Таким образом, плотность моделируемой почвы колеблется от 1 г/см^3 до 2 г/см^3 .

График изменения критического значения поглощенной энергии от плотности почвы, согласно зависимости (9), имеет вид S-образной кривой (рис. 3).

На основании зависимости (7) можно заключить о пропорциональности средней величины поглощен-

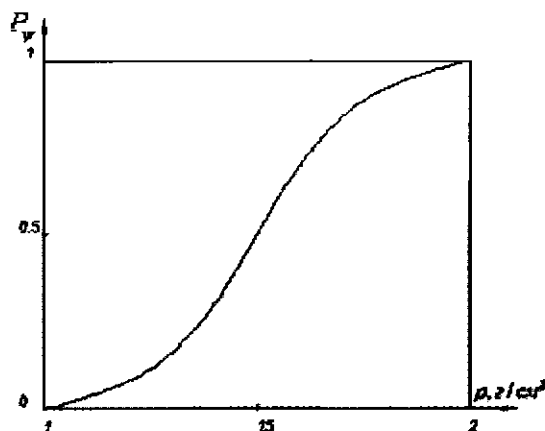


Рис. 3. График зависимости поглощенной энергии от плотности почвы

ной энергии ψ_{sp} и средней плотности почвы ρ_{cp} :

$$\psi_{sp} = a_1 \rho_{cp} \quad (10)$$

где a_1 — коэффициент пропорциональности.

Подставив зависимость (10) в (9), после преобразования получим:

$$P_{\psi} = 1 - \frac{1}{\exp \left[b \left(\frac{\rho}{\rho_{cp}} \right)^2 \right]}, \quad (11)$$

где b — коэффициент, зависящий от свойств почвы и конструкции рабочего органа.

На плотность почвы влияет размер частиц. При почвообработке затраты энергии на крошение пропорциональны приращению поверхности вновь образованных частиц почвы. Работа на крошение единицы объема почвы равна [4]:

$$A_{yo} = \frac{6\alpha i}{d_1(1-i)}, \quad (12)$$

где α — коэффициент пропорциональности между затраченной работой и приращением поверхности почвы;

d_1, d_2 — диаметры частиц почвы до и после крошения соответственно;

$$i = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \text{ — степень крошения почвы.}$$

Очевидно, что критическое значение поглощенной энергии, определенное по зависимости (11), пропорционально степени крошения почвы. Поэтому с помощью зависимостей (11) и (12) можно проанализировать влияние плотности почвы на затраты энергии при почвообработке.

Моделирование почвы частицами одинакового размера лишь приблизительно отражает процесс разрушения почвы. Для учета многообразия размеров почвенных частиц воспользуемся уравнением Розина-Раммлера [5]

$$\frac{dP(x)}{dx} = 100nbx^{n-1} \exp(-bx^n), \quad (13)$$

где n и b — параметры зависимости.

Суммарная характеристика по минусу

$$P(x) = 100 - 100 \exp(-bx^n). \quad (14)$$

Из физики почвы известно, что оптимальной структурой обладает почва, размеры фракций которой составляют от 0,25 до 7 мм. Для фракционного анализа применяют колонки из сит с отверстиями 0,25; 0,5;

1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0 мм. С помощью уравнения (14) можно найти параметры уравнения Розина-Раммлера для почвы оптимальной структуры.

Взаимодействие ядра уплотнения с плужной подошвой

Формулы (1)-(5) выведены для почвы с одинаковыми по глубине свойствами. Однако при многолетней обработке почвы с использованием отвальных плугов и тяжелой сельскохозяйственной техники образуется плотный слой почвы, называемый плужной подошвой (subsoil). Этот слой расположен на глубине 20-30 см и отличается от верхнего слоя почвы (topsoil) значительно большей плотностью и твердостью. Образующееся в процессе уплотнения почвы движителем ходовой системы ядро, достигнув плужной подошвы, встречает сопротивление и сжимается (рис. 4,а). При этом плотность почвы в ядре увеличивается, а участок плужной подошвы также доуплотняется (рис. 4,б).

Действие ядра уплотнения приводит к доуплотнению подпахотного слоя на величину

$$x_{h_2} = \frac{1}{\beta_2} \ln \frac{\sigma_H}{\sigma_{x_2}}, \quad (15)$$

где β_2 — коэффициент распределения напряжений во втором слое, M^{-1} ;

σ_H — напряжение на границе раздела верхнего и нижнего слоев, Па;

— напряжения, при которых в подпахотном слое могут происходить только упругие деформации.

Когда напряжение в сжатом слое достигает предела прочности, происходит разрушение ядра уплотнения с образованием переуплотненных почвенных отдельностей (рис. 4,в). Для избежания разрушения ядра уплотнения следует, чтобы давление колес на почву не превышало критической величины, когда наступает предельное напряженное состояние ядра уплотнения.

Данная схема взаимодействия ходовой системы и почвы особенно характерна для агрегатов, предназначенных для предпосевной обработки почвы и для посева, когда ее верхний слой относительно

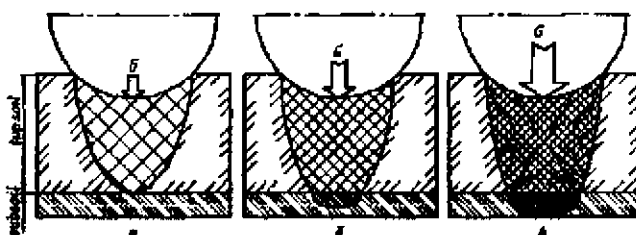


Рис. 4. Разрушение ядра уплотнения при взаимодействии с плужной подошвой

рыхлый. Чтобы избежать дополнительного уплотнения плужной подошвы, не следует допускать, чтобы высота ядра уплотнения превышала толщину верхнего слоя почвы.

Выводы

1. Уплотняющее воздействие ходовых систем машинно-тракторных агрегатов проникает в подпахотный слой почвы, из-за чего ухудшаются ее агрофизические свойства.

2. Из-за переуплотнения почвы ходовыми системами повышаются энергозатраты на почвообработку и ухудшается структура почвы.

3. Для улучшения качества крошения почвы рекомендуется при выборе параметров ходовых систем стремиться к тому, чтобы давление не превышало критической величины, когда наступает предельное напряженное состояние ядра уплотнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орда А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов // Дисс. на соиск. уч. степени д.т.н. – Мн., 1997.

2. Кацыгин В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Мн.: Ураджай, 1964. – Т.13. – С. 5-147.

3. Ревут И.Б. Физика почв. – Л.: Колос, 1972. – 387 с.

4. Мацелуро М.Е., Макарова Н.А. Технологические основы механизации процессов обработки почв. // Вопросы технологии механизированного сельскохозяйственного производства. – Мн., 1963. – С. 92-131.

УДК 621.311.1.016.4

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В.М. Збродыго, инженер, Г.И. Янукович, канд.техн. наук, профессор, А.П. Сердешнов, канд.техн. наук, профессор (УО БГАТУ)

Ситуация в электроэнергетике Республики Беларусь складывается таким образом, что при производстве электроэнергии обеспечивается довольно высокое ее качество. Ухудшение качества электроэнергии происходит при ее передаче и, главным образом, при потреблении. Это обусловлено тем, что с развитием технологии в процессе научно-технического прогресса появляются новые виды электроприемников нелинейных (на базе полупроводниковых элементов), несимметричных, с перемежающимся режимом работы и т.д., которые ухудшают качество электроэнергии в питающей их сети.

Существует целый ряд различных устройств, предназначенных обеспечивать необходимое качество электроэнергии, таких как фильтры высших гармоник напряжений и токов, филтросимметрирующие устройства, симметрирующие устройства для подавления напряжений нулевой и обратной последовательности, регуляторы напряжения и частоты, регуляторы для нефазного регулирования напряжения и многие другие. Но все названные устройства дорогостоящие, требуют дополнительных капиталовложений при их эксплуатации. Для протяженных и с малой удельной плотностью нагрузки сетей сельскохозяйственного назначения их применение в большинстве случаев является нецелесообразным. Поэтому авторы считают возможным в низковольтных электрических сетях сельскохозяйственного назначения для питания потребителей и отдельных электроприемни-

ков использовать трансформатор Y/Δ с зигзагом [1]. Он обеспечивает приемлемый уровень качества напряжения при нелинейном и несимметричном характере нагрузки вследствие компенсации магнитных потоков нулевой последовательности и магнитных потоков высших гармоник нулевой последовательности в его магнитопроводе, что подтверждено экспериментально.

Был изготовлен трансформатор Y/Δ с зигзагом типа ТСЗ – 1,5/0,38 и проведены лабораторные исследования показателей качества электроэнергии на его выводах при работе на несимметричную и нелинейную нагрузку. Для сравнительной оценки с показателями качества, которые обеспечиваются другими схемами соединения обмоток в таких же режимах работы, проведены аналогичные исследования стандартных схем с нулевым проводом Y/Y_n , Δ/Y_n , Y/Z_n и схем без нулевого провода Y/Y , Δ/Y , Y/Z , $Y\backslash\Delta$, $\Delta\backslash\Delta$. Исследования проводились с использованием одного магнитопровода путем смены обмоток.

При исследовании несимметричного режима работы нагрузка трансформатора и ее изменение обеспечивались при помощи ползунковых реостатов. За основу приняты следующие виды нагрузки:

1. Для схем с нулевым проводом ток в одной из фаз изменялся от нуля до номинального значения, а в двух