



Рис. 3. Технологическая линия послеуборочной обработки зерна

Выводы

Производственные исследования предлагаемой установки для сушки зерна подтвердили её высокую эффективность. Расхождения значений основных показателей процесса сушки зерна, полученных в производственных и лабораторных условиях, не превысили 5%. Выявлено, что при сушке зерна пшеницы средняя температура греющей поверхности составляла 40–75°C, съём влаги за один проход находился в пределах 2–6%, температура зерна на выходе из установки составляла 30–40°C. При этом затраты теплоты на

1 кг испаренной влаги изменялись от 2,7 до 3,4 МДж.

Результаты технико-экономического анализа предлагаемой установки в сравнении с установками для сушки зерна СЗПБ-2,5 (и ПУФС-0,4) показали, что предлагаемая установка имеет меньшие энергоёмкость и металлоёмкость. Годовая экономия составила 29 тыс. руб., а экономический эффект – более 100 руб. на 1 т продукции.

Библиографический список

1. Кришер О. Научные основы техники сушки. – М.: ИЛ, 1961. – 213 с.
2. Патент РФ № 2323580. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, Г.В. Карпенко, А.А. Павлушин; Оpubл. 10.05.2008 г. Бюл. № 13.
3. Патент РФ № 2371650. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, И.Н. Зозуля; Оpubл. 27.10.2009 г. Бюл. № 30.
4. Рубцов П.А., Осетров С.П. Применение электрической энергии в сельскохозяйственных процессах. – М.: Колос, 1971. – 257 с.
5. Уваров А.М. Сушка зерна. – М.: Госторгиздат, 1937. – 294 с.



УДК 631.4:631.51

**В.С. Нестяк,
К.Т. Мамбеталин**

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГЕТИКИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Ключевые слова: почва, почвенная система, обработка почвы, процесс разрушения, энергия разрушения, принцип воздействия, сжатие, растяжение, реологические свойства, реологическая модель, структурная вязкость.

Введение

В основе существующих способов обработки почвы лежит механическое воздействие рабочих органов на почву сжатием. Несмотря на значительный теоретический и экспериментальный материал,

накопленный к настоящему времени, качественных изменений в принципе воздействия на почву и в конструкциях рабочих органов для их реализации не происходит. Причиной сложившегося положения является то, что земледельческой механике присущ упрощенный подход к почве: при рассмотрении почвы как объекта технологического воздействия изучение и учет структуры, состава, свойств и других характеристик почвы проводятся на уровне почвенных частиц размером 10^{-1} - 10^{-2} см, что для ее развития явно недостаточно. На этом уровне даже такие легко обнаруживаемые механические свойства, как внутреннее трение, вязкость, пластичность, проявляются не в полной мере, так как они формируются составом почвы, в том числе и коллоидным.

Цель исследования – снижение энергетических затрат на обработку почвы за счет обоснования нетрадиционных способов воздействия на неё.

Задачи:

- обосновать количественную оценку энергии разрушения почвенного пласта;
- разработать модель почвы, объясняющую её структуру и дающую возможность сравнительной оценки различных принципов разрушения почвенного пласта.

Объект исследования – технологический процесс обработки почвы.

Методы исследования

Общей методологической основой исследований явились методы и приемы диалектического познания изучаемой проблемы, методологические и теоретические положения классической механики, механики твердого тела, квантовой механики, кинетической теории и других отраслей науки.

Результаты и их обсуждение

Почва (твердая фаза) не является простым набором почвенных частиц, что подтверждается большим разнообразием ее типов, подтипов и свойств. Поэтому правомерно говорить о почвенной системе как о системе материальных частиц, взаимодействующих между собой по физическим законам.

В почвенной системе действуют внешние (гравитационные силы и приложенные нагрузки) и внутренние (внутри- и межчастичные) силы. Все эти силы (их природа рассмотрена в трудах Ван-дер-Ваальса, Лондона, Е.М. Лившица, Б.В. Дерягина и

др.) создают соответственные энергетические поля.

В результате взаимодействия почвенных частиц, взаимодействия фаз, адсорбции водяных паров из окружающей среды в почве непрерывно происходит процесс саморазрушения почвы, который наиболее развит в черноземных почвах на карбонатной основе. Саморазрушению почвы способствует и целый ряд других факторов: процессы увлажнения и высыхания, сопровождающиеся набуханием и усадкой почвенного слоя; разрыхляющее действие корневых систем растений; деятельность микроорганизмов и червей; процессы промерзания и оттаивания почвенного слоя. При воздействии на почву рабочих органов почвообрабатывающих машин поверхность разрушения развивается неоднозначно, имеет ступенчатый характер, который становится вовсе непредсказуемым вследствие скоростного режима обработки почвы. Количество факторов, влияющих на процесс разрушения, возрастает, силовые факторы меняются ежесекундно, значительны динамические колебания частиц, действительная величина и направление разрушающей силы вряд ли определимы. Поэтому целесообразно определять энергию, расходуемую на обработку почвы.

По Гриффитсу, энергия, расходуемая на разрушение материала, равна поверхностной энергии образовавшейся трещины:

$$U_1 = \frac{Pv}{2} - \frac{\pi l^2 \sigma^2}{2E} + 4lS_n, \quad (1)$$

где $Pv/2$ – накопленная в пласте в результате сжатия потенциальная энергия, Дж;

$\pi l^2 \sigma^2 / 2E$ – потенциальная энергия, освобождающаяся через образовавшуюся трещину (плоскость) сдвига, Дж;

$4lS_n$ – поверхностная энергия образовавшейся трещины, Дж.

Преобразуя это уравнение, получим величину энергии крошения почвы:

$$A_n = \sigma_n (УП_{агр} - УП_{д}), \quad (2)$$

где σ_n – поверхностное натяжение почвенной частицы, Н/м;

$УП_{агр}$ – агротехнически необходимая удельная поверхность почвы, $м^2/г$;

$УП_{д}$ – действительная удельная поверхность почвы, $м^2/г$.

За $УП_{агр}$ принята удельная поверхность черноземов в естественном рыхлом сложении – $130 м^2/г$. Действительная удельная поверхность черноземов степных зон

находится в пределах $90 \text{ м}^2/\text{г}$. Для крошения почвенного пласта плотностью $1,5 \text{ г}/\text{см}^3$ требуется затратить энергию, равную 436 кДж . Сила сжатия, обеспечивающая такую энергию крошения, определяется уравнением (3) и по расчетам равна 6045 Н :

$$\frac{P_{сж}^2 L_{п}}{2E_{с}ab}$$

$$U_{общ} = 2E_{с}ab, \quad (3)$$

где $U_{общ}$ – общая энергия крошения, Дж;
 $P_{сж}$ – общая сила сжатия пласта, Н;
 $L_{п}$ – длина пласта, м;
 $E_{с}$ – модуль сжатия пласта, Па;
 a, b – толщина и ширина пласта, м.

Согласно экспериментальным данным Ю.В. Луканина, такая сила сжатия возникает при скоростях движения более $14 \text{ км}/\text{ч}$ [1]. Рабочие скорости современных плугов составляют $8-10 \text{ км}/\text{ч}$. При таких скоростях необходимая сила сжатия пласта не создается. Для ее создания потребуется более чем в $1,5$ раза увеличить скорость движения. Это приведет к росту тягового сопротивления, что еще больше увеличит энергоемкость обработки почвы. Следовательно, необходимы способы обработки почвы и рабочие органы, работающие на других принципах воздействия на почвенный пласт, а не принципе его сжатия, по которому в настоящее время работают почвообрабатывающие орудия.

Снижение энергоемкости возможно путем разработки энергосберегающих приемов и принципов обработки почвы. А для этого нужны объяснительные модели взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин с почвой в свете имеющихся, к настоящему времени, знаний о ее составе, структуре и свойствах, в том числе и на межмолекулярном уровне.

При проведении физических исследований веществ и решении технологических задач широко используются реологические методы, которые применимы и к почве. Исследователи для описания поведения почвы применяли модели Максвелла, Кельвина и др. Для почвы реологическую модель разработал А.С. Кушнарев [2]. Его модель обладает очевидными достоинствами, однако, на наш взгляд, не вполне учитывает структуру почвы, в состав которой входят твердая, жидкая и газовая фазы, а её трехуровневую структуру представляют макроагрегат, микроагрегат и элементарная почвенная частица. Нами предложена механическая мо-

дель почвы, учитывающая это (рис. 1). Основные положения реологии и реологические тела, использованные при построении данной модели, приведены в [3]. Там же обоснована структурная формула реологической модели и описан процесс, происходящий при деформировании почвы.

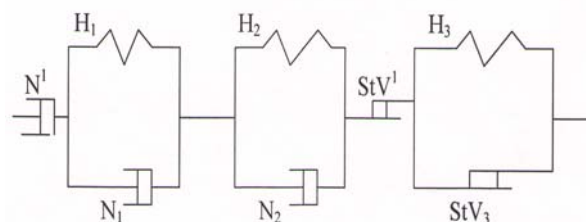


Рис. 1. Механическая модель почвы: H, N, StV – элементы упругости, вязкости и сухого трения; нижние индексы 1, 2, 3 – макроагрегат, микроагрегат и элементарная почвенная частица; верхний индекс 1 – момент проявления элементов

При воздействии на почву сжатием (растяжением) (рис. 2) возникающие в ней напряжения определяются уравнениями (4) и (5) математической модели:

$$\tau = (\tau_0 e^{-\frac{G}{\eta_M + \eta_K} t})_I + (G\gamma + \eta_N \dot{\gamma})_{II} + \left[\frac{2\gamma}{\lambda_M} + \left(\frac{2\dot{\gamma}}{\lambda_M} + \eta \dot{\gamma} \right) \right]_{III} \quad (4)$$

$$\tau = 0,5 \left\{ (\tau_0 e^{-\frac{G}{\eta_M + \eta_K} t})_I - (G\gamma + \eta_N \dot{\gamma})_{II} - \left[\frac{2\gamma}{\lambda_M} + \left(\frac{2\dot{\gamma}}{\lambda_M} + \eta \dot{\gamma} \right) \right]_{III} \right\} \quad (5)$$

где τ_0 – начальное напряжение сдвига, $\text{Н}/\text{м}^2$;

e – основание натурального логарифма;

G – модуль сдвига, $\text{Н}/\text{м}^2$;

η_N, η_K – соответственно, коэффициенты вязкости элементов, Па·с;

γ – скорость деформации, м/с;

λ_M – коэффициент пропорциональности, $\text{Н}/\text{м}$;

γ_0 – деформация в момент времени $t = 0$, м;

γ_{OK} – деформация элемента Кельвина в момент времени $t = 0$, м;

t – продолжительность деформации, с.

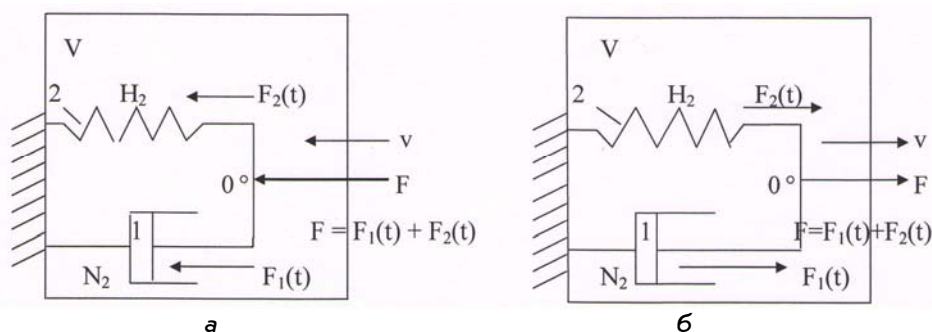


Рис. 2. Силовое возбуждение почвенного объема:
а – сжатием; б – растяжением; V – почвенный объем;

1 – элемент вязкости (тело Ньютона) почвы; 2 – элемент упругости (тело Гука) почвы

По величине напряжения при растяжении будут значительно меньше, чем при сжатии. Приведены экспериментальные данные, что в глинах модуль упругости и коэффициент пропорциональности при растяжении составляют 50-75% этих же характеристик при сжатии [4]. Рост напряжений в почвенном пласте во времени, согласно кривым деформирования примененных реологических моделей [5], выглядит следующим образом (рис. 3). Сравнение полученных графиков показывает, что разрушение почвы при растяжении происходит при меньших напряжениях, чем при сжатии. Следовательно, энергетические затраты при воздействии на почву на основе принципа растяжения значительно меньше, чем на основе принципа сжатия.

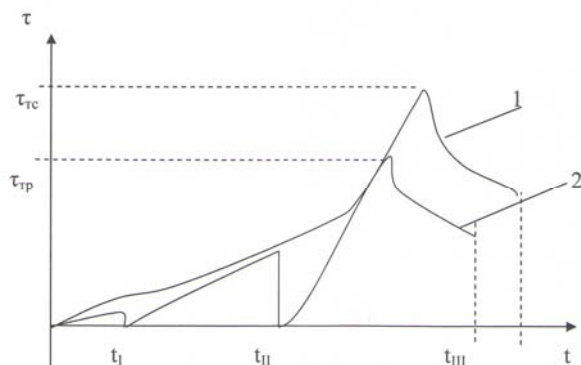


Рис. 3. Напряжения в почвенном объеме:
1 – при его сжатии; 2 – при растяжении

Приведенные реологические модели показывают понижение вязкости системы (за счет увеличения количества выдавливаемой жидкой фазы при повышении давления), что такое реологическое свойство, как вязкость не является постоянной величиной. Процессы сжатия и растяжения в почвенной системе сопровождаются изменением структуры от макроагрегатов до элементарных частиц, вязкость которых неодинакова. Для таких систем Оствальдом было введено понятие структур-

ной вязкости [5]. Изменение вязкости в ходе деформирования говорит о том, что происходит рост скорости сдвига между дисперсной фазой и дисперсной средой, следовательно, взаимодействие между ними снижается. К снижению вязкости приводят также деформации, возникающие в частицах, и их разрыв, разрушение.

Предложенная реологическая модель почвы, таким образом, представляет тело, обладающее структурной вязкостью. В таком теле (или в таких средах) в процессе течения меняется структура, в результате меняется и их вязкость. Реологическое уравнение таких тел:

$$\tau = K \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n, \quad (6)$$

где τ – напряжение сдвига, Н/м²;

K – коэффициент структурной вязкости, Па·с;

γ – сдвиговая деформация, м;

n – коэффициент времени релаксации.

С точки зрения реологии все тела являются жидкостью. Почва же может изменять свое состояние от жидкообразного до очень твердого. Она должна обрабатываться в состоянии спелости, при влажности 20-30%. Для сдвиговых деформаций в этом состоянии вязкость является важным технологическим параметром. Фактор структурной вязкости почвенной системы имеет большое значение для снижения энергоемкости обработки почвы. На начальном этапе почвенная структура не нарушена, она обладает максимальной вязкостью, в конечной же стадии структура нарушена и вязкость минимальна. Следовательно, рабочие органы должны быть с переменными формой и геометрией поверхностей скольжения почвы, т.е. целесообразны комбинированные рабочие органы. Также целесообразно предварительное рыхление почвы.

Выводы

1. Почва не является простым набором почвенных частиц – правомерно говорить о почве как о системе материальных частиц, взаимодействующих между собой по физическим законам, и учитывать это при разработке новых энергосберегающих приемов и технических средств обработки почвы.

2. Действительная величина и направление разрушающей силы в условиях скоростного режима машин вряд ли определимы, целесообразно определять энергию, расходуемую на обработку почвы. Для разрушения (крошения) почвенного пласта плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$ требуется затратить энергию, равную 436 кДж.

3. Сила сжатия, обеспечивающая такую энергию, равна 6045 Н и возникает при скоростях движения более 14 км/ч. Для ее создания требуется более чем в 1,5 раза увеличить скорость движения современных плугов, что еще больше увеличит энергоемкость обработки почвы. Следовательно, необходимы способы обработки почвы и рабочие органы, работающие на иных принципах воздействия на почвенный пласт, а не на принципе его сжатия.

4. Предложенная реологическая модель почвы отражает ее трехуровневую и трехфазную структуру, показывает, что почва обладает структурной вязкостью, дает возможность количественной оценки различных принципов воздействия на почву, доказывает необходимость приме-

ния принципа растяжения почвенного пласта для снижения энергетических затрат на его обработку.

5. Установлено, что структурная вязкость почвы – величина переменная. На начальном этапе механического воздействия почва обладает максимальной вязкостью, к концу воздействия структура почвы нарушается, и вязкость становится минимальной, что может быть использовано в качестве теоретической основы при разработке рабочих органов с переменной формой и геометрией поверхностей скольжения почвы, комбинированных рабочих органов, способов и приемов предварительного рыхления почвы.

Библиографический список

1. Луканин Ю.В. Исследование воздействия клина на почву: дис. канд. техн. наук. – Пенза, 1964.
2. Кушнарев А.С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву: дис. ... докт. техн. наук. – Мелитополь, 1980.
3. Мамбеталин К.Т. Реологическая модель почв // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 5.
4. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1978.
5. Рейнер М. Реология. – М.: Наука, 1965.

