

Ветохин В.И. **О динамике формы поверхности рабочих органов почвоработателей** / В.И. Ветохин // Тракторы и с.х. машины. - 2010, - № 6, - С. 30-35.

Аннотация Кроме известного в технике искусственного управления формой и параметрами орудий для рыхления почвы существуют естественные процессы адаптации и саморегулирования в системе «рабочий орган - почва». При внедрении в пласт рабочего органа образуется «промежуточное тело» из почвы, наружная граница которого выполняет функцию рабочей поверхности. Пласт почвы делится на две зоны деформаций - зону почвы в состоянии пластичности и зону почвы в состоянии менее энергоемкого хрупко образного разрушения. Часть почвы пласта становится рабочим органом. Рабочий орган приобретает также свойства обрабатываемого материала. Таким образом, в силу свойств почвы, в системе «рабочий орган-почва» происходит саморегулирование формы рабочего органа и реализуется наименее энергоемкий процесс деформации пласта.

Ключевые слова: рыхление почвы, рабочий орган, форма поверхности, свойства почвы, система, саморегулирование формы, затраты энергии.

On the issue of the dynamics of the form of a surface for soil looseners' of working tools
V.I. Vetchin, Cand. Sc. (Eng.)

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Summary Apart from the known in the engineering artificial control of the form and parameters of tools for soil loosening, there are natural processes of adaptation and self-regulation in the system «working tool - soil». During the penetration in the layer of a working tool «the intermediate body» is formed of the soil which external border carries out function of a working surface. The soil layer is shares into to zones of deformations - a soil zone in a condition of plasticity and a soil zone in a condition of less power-intensive it is fragile figurative destructions. The part of soil of a layer becomes working body. The working body gets also properties of a processed material. Thus, force of properties of soil, in system «working tool - soil» there is a self-regulation of the form of working tool and the less power-intensive process of deformation of a layer is realised.

Keywords: soil loosening, working tool, the form of a surface, property of soil, system, self-regulation of the form, energy inputs

Выводы. Проблема снижения затрат при обработке почвы может решаться адаптацией параметров и формы орудия к изменяющимся почвенным условиям и режимам работы. Кроме известного в технике искусственного управления формой и параметрами почвообрабатывающего орудия, существуют естественные процессы адаптации и саморегулирования в системе «рабочий орган - почва».

Естественная адаптация формы орудия в системе «рабочий орган - почва» происходит благодаря свойствам почвы и физическим явлениям, которые происходят в пласте, а именно крошения почвы, послойных сдвигов в пласте, образования двух зон в пласте почвы с разным характером деформаций - пластических и хрупкообразных.

Эти явления корректируют форму рабочего органа и выполняют функцию обратной связи, реализуя при этом закон минимума энергии в системе. Перечисленные явления имеют динамический, циклический характер, что в частности проявляется в виде известного колебания тягового сопротивления рабочего органа орудия.

При проектировании и совершенствовании орудий необходимо учитывать, что энергоёмкость реального процесса деформации почвы определяется наличием и формой промежуточного тела из почвы. Минимизация размера этого тела, в том числе путем выполнения формы рабочей поверхности орудия по форме части промежуточного тела в почве, реальный способ снижения энергозатрат на процесс рыхления почвы. Другой способ снижения энергозатрат - построение формы рабочей поверхности орудия по

принципу динамического отображения деформаций пласта - будет рассмотрен в дальнейшем.

Литература

1. **Иванов Г.И.** Памятка слушателю семинара "Основы системного мышления в инженерной практике" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trizminsk.org/e/248004.htm#034>
2. **Изыскание** и исследование схем и конструкций плугов с регулируемой шириной захвата: Отчет о НИР / А.А. Лептеев, А.Н. Мигаль, Ю.В. Радоман, Л.Е. Топленкин, А.И. Хомяков // Белорус. ин-т мех. с.-х., ГСКБ «Одессапочвомаш». – Минск – Одесса: 1980. - 117 с.
3. **Протокол № 7-5-79В (9018100)** ведомственных испытаний 4-х корпусного навесного плуга с автоматическим регулированием параметров плужных корпусов: Протокол испытаний / Западная МИС. – пос. Привольный: 1979. 103 с.
4. **Эйнштейн А.** Собрание научных трудов. В 2 т. / Альберт Эйнштейн. - М.: Наука, 1966, Т.2. Работы по теории относительности. 878с. // Работа 63. Краткий очерк развития теории относительности. - С. 99-104.
5. **Бартини Р.О.** О множественности геометрий и множественности физик / Р.О. Бартини, Кузнецов П.Г. // Проблемы и особенности современной научной методологии. – Свердловск: АН СССР, Уральский научный центр, 1979, - С.54-65.
6. **Горячкин В.П.** Теория разрушения материалов (фрагмент из рукописи «Общая теория орудий») / В.П. Горячкин // Собр. соч.: В 3 т. – М.: Колос. 1965. Т.1. – С. 525-546.
7. **Ветохин В.И.** Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы: Дис. ... канд. техн. наук / В.И. Ветохин. - М.: ВИСХОМ, 1991. - 309с.
8. **Жук Я.М.** О сопротивлении почвы различным деформациям / Я.М. Жук, В.Ф. Рубин / Почвообрабатывающие машины: Сб. научн. исслед. работ ВИСХОМ. - М.-Л.: Машгиз, 1940. - Вып. 3. – С.35-57.
9. **Синеоков Г.Н.** Сопротивления почвы, возникающие при ее обработке: Дис. ... докт. техн. наук / Г.Н. Синеоков / АН СССР; Почвенный ин-т им. В.В.Докучаева. В 2Т. - М.: 1954. - Т.1. - 166 с.
10. **Гудков А.Н.** Теоретические основы вспашки твердых почв / А.Н. Гудков // Усовершенствование орудий для основной обработки почвы: Матер. НТС ВИСХОМ. – М.: ОНТИ ВИСХОМ. 1959. – Вып. 5. – С. 212-241.
11. **Панов И.М.** Физические основы механики почв: монография / И.М. Панов, В.И. Ветохин. – К.: Феникс, 2008, 266 с.
12. **Кушнарев А.С.** Механическое воздействие на почву сельскохозяйственной техники (механизм воздействия и последствия) / А.С.Кушнарев // Проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву ходовых систем трактора, мобильной сельскохозяйственной техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин. Сб. науч. тр. – Киев: УСХА. 1982. - С. 21-29.
13. **Джонсон, К.** Механика контактного взаимодействия: Пер. с англ. / К.Л. Джонсон. - М.: Мир, 1989. - 510 с.
14. **Зеленин А.Н.** Резание грунтов / А.Н. Зеленин. - М.: Изд-во АН СССР, 1959. - 271 с.
15. **Soil dynamics** in tillage and traction / W.R. Gill, Glen E. Van den Berg. – Washington: Agricultural Research Service US department of Agriculture. Agricultural handbook 316. 1967. – 512 p.
16. **Пигулевский М.Х.** Основы методики изучения физико-механических свойств почвы / М.Х. Пигулевский. – М.: Изд. ЛОВИУА ВАСХНИЛ, 1936.
17. **Мацепуро М.Е.** Изменение сил, действующих на дренаж, в зависимости от его параметров / М.Е. Мацепуро, К.А. Пилкаускас // Вопросы земледельческой механики. – Минск: Госиздат БССР, 1960. - Т.3, Разд.2, Гл. 3. – С.211-274.
18. **Ветохин В.И.** Анализ некоторых аспектов деформации почвы применительно к проектированию энергосберегающих орудий для глубокого рыхления почвы / В.И. Ветохин // Научно-технический прогресс в с.-х. производстве: Сб. ст. Международ. науч.-практич. конф. к 60 лет. образов. ИМСХ АН БССР, Минск, 17-19 окт. 2007 г. В 3 т. - Минск: РУП «НПЦ БелНИИМСХ», 2007. - Т.1, - С. 128-133.

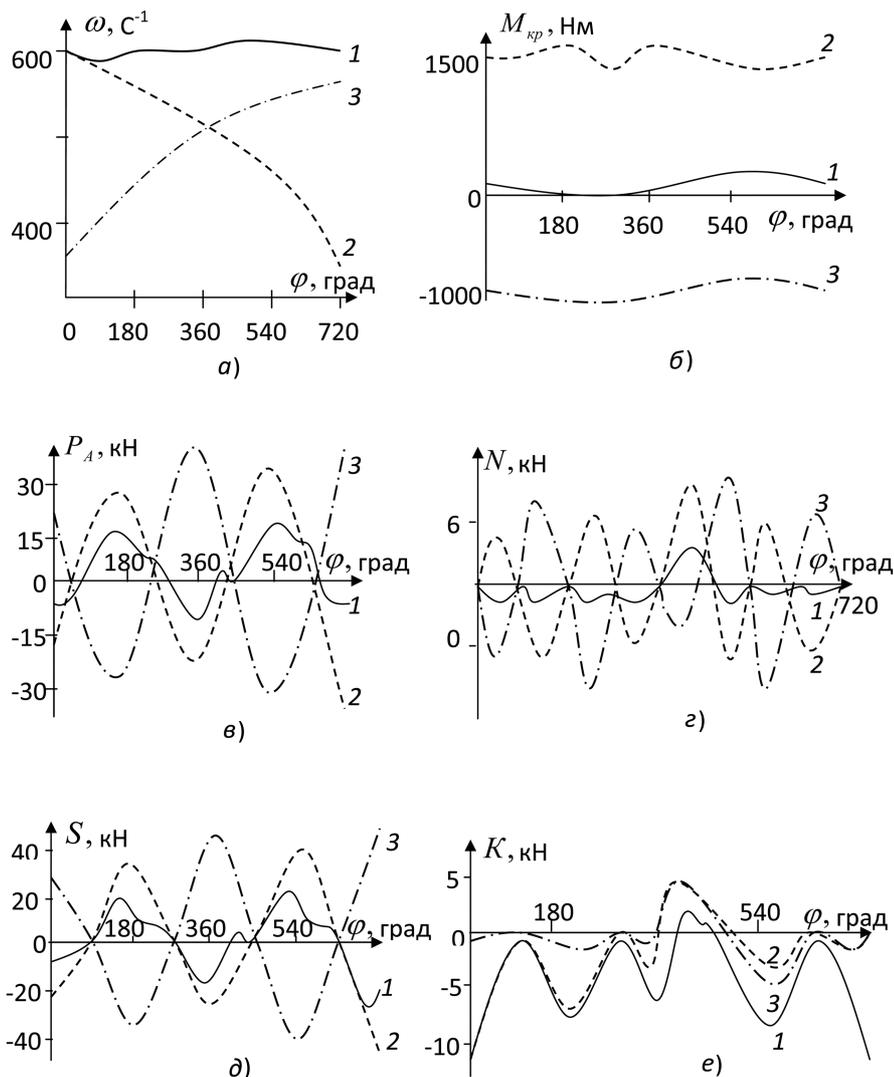


Рис. 2. Изменение частоты вращения (а), крутящего момента (б) и сил, действующих в сопряжении поршневой палец—бобышки поршня (в), поршень—цилиндр (г), на подшипники верхней и нижней головок шатуна (д) и на коренные подшипники коленчатого вала (е) от угла поворота коленчатого вала

С точки зрения случайных поломок двигательный режим менее опасен, чем тормозной. При больших перегрузках двигатель может "самозащититься" — заглухнуть. Режим работы двигателя как потребителя энергии (тормоза) по времени менее продолжителен. По частоте появления в двигателе он так же закономерен, как и двигательный. Вследствие непродолжительности тормозной режим не играет заметной роли при определении закономерностей изнашивания сопряжений. С точки зрения нарушений механической прочности деталей, заклинивания двигателя и др. этот режим более опасен, чем двигательный. В тормозных режимах работы меняется направление нагрузки, соответственно меняется положение деталей относительно друг друга. Детали занимают неприработанное, неоптимальное положение. Характер распределения нагрузки по сопряжениям также неприработанный, неравномерный, неоптимальный. Несущая способность сопряжений в тормозных режимах работы ниже, чем в двигательных.

Выводы

Режимы работы двигателя как производителя энергии определяют такие закономерности, как интенсивность изнашивания, естественная форма износа деталей и их усталостная прочность.

Режимы работы двигателя как тормоза во многом определяют прочность деталей.

УДК 631.51

О динамике формы поверхности рабочих органов почворыхлителей (В порядке обсуждения)

Канд. техн. наук В. И. ВЕТОХИН (Киевский политехн. ин-т, veto-v@mail.ru)

Аннотация. Кроме известного в технике искусственного управления формой и параметрами орудий для рыхления почвы существуют естественные процессы адаптации и саморегулирования в системе рабочий орган—почва. При внедрении в пласт рабочего органа образуется "промежуточное тело" из почвы, наружная граница которого выполняет функцию рабочей поверхности. Пласт почвы делится на две зоны деформаций — зону почвы в состоянии пластичности и зону почвы в состоянии менее энергоемкого хрупкообразного разрушения. Часть пласта становится рабочим органом, а рабочий орган приобретает также свойства обрабатываемого материала. Таким образом, в силу свойств почвы в системе рабочий орган—почва происходит саморегулирование формы рабочего органа и реализуется наименее энергоемкий процесс деформации пласта.

Ключевые слова: рыхление почвы, рабочий орган, форма поверхности, свойства почвы система, саморегулирование формы, затраты энергии.

Проблема сохранения ресурсов в аграрном производстве в наше время приобретает особую актуальность. Одно из современных направлений

ресурсосбережения — адаптивное управление технологическими процессами и орудиями в зависимости от состояния обрабатываемой среды

с целью выполнения агротехнических требований и получения урожая с минимальными затратами ресурсов.

Приспособление орудия к изменяющимся условиям работы путем регулирования его параметров и формы — известный прием повышения эффективности. Процесс адаптивного управления может происходить как в ручном, так и в автоматическом режимах. Форму орудия регулируют, например, в зависимости от глубины обработки почвы, тягового сопротивления орудия, скорости агрегата, степени буксования трактора и других параметров. При этом, как правило, изменяют ширину захвата единичного рабочего органа, междуследие, угол постановки его частей, глубину обработки и нагрузку на движитель трактора для обеспечения заданной производительности, тяговой мощности, степени буксования и др. Регулирование связано с анализом параметров рабочего процесса и, в идеале, может происходить автоматически. Обратная связь в системе энергосредство—орудие—почва осуществляется через измерительно-логико-исполнительное устройство, и оператор при этом либо сам выполняет все перечисленные функции, либо делегирует часть их машине.

В рамках системного подхода известно разделение орудия на устройство для получения информации, логико-исполнительную и другие части, а самого рабочего органа — на постоянную и переменную части. Отмечается, что совершенствование рабочего органа орудия идет от жесткой к динамически изменяющейся форме [1]. Например, известен отвальный плуг (пат. США № 2028819), выполненный с возможностью изменения формы отвала вручную (рис. 1, а).

Также известно орудие конструкции БИМСХ и ГСКБ "Одессапочво-маш" с системой автоматического регулирования формы плужных корпусов (рис. 1, б) [2, 3]. Такая система предусматривала изменение угла установки крыла отвала к стенке борозды в диапазоне 45—37° (к направлению движения) в зависимости от рабочей скорости агрегата в пределах 6—12 км/ч с целью сохранения оптимальных показателей работы плуга. Форма отвала определяется скоростью агрегата и, соответственно, скоростью вращения его опорного колеса, а опорное колесо посредством установленного на нем гидронасоса управляет золотником

гидроцилиндра привода крыльев отвальных корпусов.

Недостатки описанных технических устройств и схем регулирования формы поверхности рабочего органа, по нашему мнению, состоят в следующем:

- в системе регулирования отсутствует непосредственный измеритель параметров состояния почвы;
- алгоритм управления формой рабочего органа опосредован через оператора либо заложенный им алгоритм;
- система управления формой рабочего органа может функционировать без участия почвы (т. е. почва как часть системы непосредственно не входит в систему и процесс управления).

Цель данной публикации — исследование физических основ определения формы рабочего органа орудия

для рыхления почвы в зависимости от изменяющихся состояния почвы и режимов работы орудия.

Форма рабочей поверхности орудия как геометрического объекта может быть выражена формулой координат точек этой поверхности в трехмерном пространстве. Почва и процесс ее взаимодействия с орудием — физический объект. Различие между геометрическим и физическим объектами показал, например, А. Эйнштейн [4]. По А. Эйнштейну соотношение между описанием объекта в евклидовой геометрии трех измерений и пространственно-временном континууме физики имеет следующий вид (см. таблицу) [4].

В общей формулировке отличие описания физического и геометрического объектов состоит в числе измерений и их размерности. Здесь не-

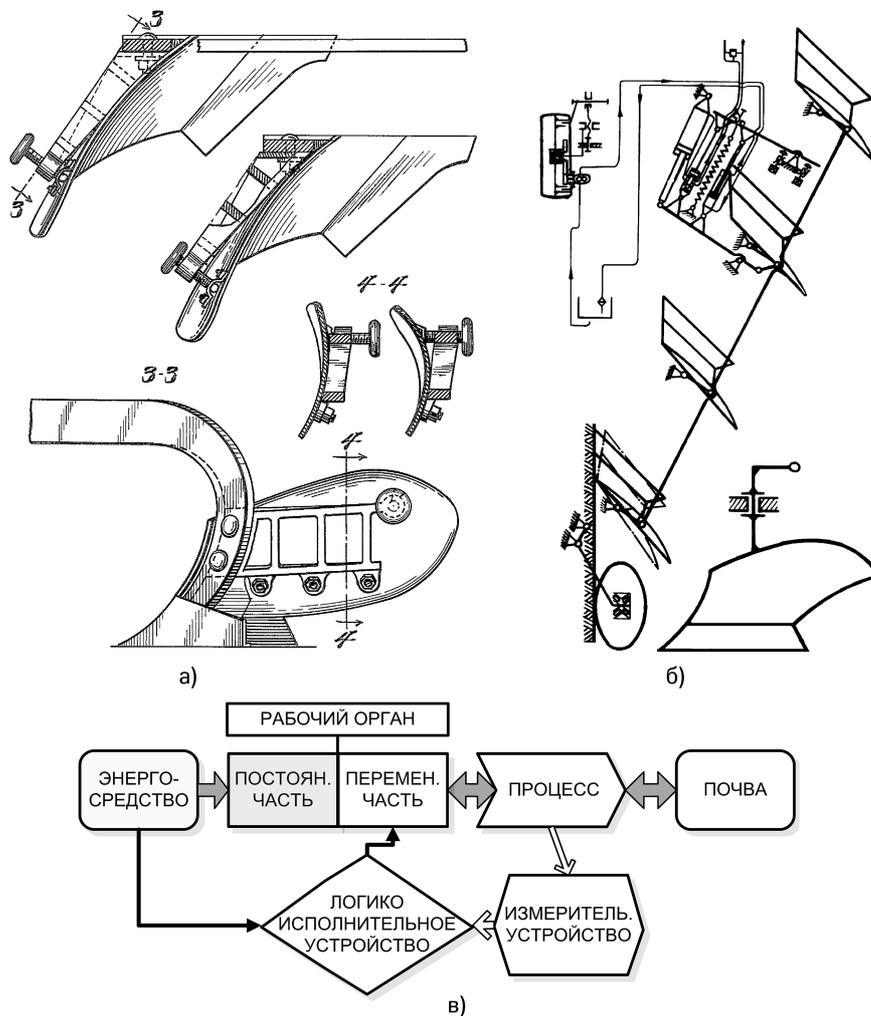


Рис. 1. Устройства и схема регулирования формы поверхности рабочих органов почво-обрабатывающих орудий:

а — по пат. US 2028819; б — по конструкции БИМСХ и ГСКБ "Одессапочво-маш"; в — блок-схема процесса регулирования

Эвклидова геометрия трех измерений	Специальная теория относительности
Существует численная мера (расстояние ds), которая ставится в соответствие двум соседним точкам пространства и выражается уравнением $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2$	Существует численная мера (расстояние ds), которая ставится в соответствие двум соседним точкам пространства (точечным событиям) и выражается уравнением $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2$
Численная мера не зависит от выбора системы координат... ...допустимы линейные ортогональные преобразования	Численная мера не зависит от выбора инерциальной системы... ...допустимы линейные ортогональные преобразования координат, сохраняющие вещественность x_1, x_2, x_3, x_4
По отношению к этим преобразованиям законы эвклидовой геометрии инвариантны	По отношению к этим преобразованиям законы эвклидовой физики инвариантны

обходимо отметить, что в XX веке развивается представление о n -мерности времени [5].

Таким образом, основная проблема при проектировании рабочих органов почвообрабатывающих орудий состоит в поиске соответствия рабочего органа как геометрического объекта, не зависящего от течения времени, процессу деформации почвы как физического объекта, в описание которого входит время. То есть, основная научная проблема состоит в том, каким образом трансформировать $(3 + 1)$ -мерное физическое пространство в трехмерный геометрический объект. По нашему мнению, возможны, по меньшей мере, следующие пути решения проблемы:

1. Ввести в геометрию измерение, эквивалентное времени, например, переменную во времени или условно переменную (т. е. переменную для того же объема почвы, но в разные для него моменты времени переменную по ходу движения пласта) форму поверхности;

2. Найти в физическом процессе взаимодействия деформатора и почвы физические явления, которые компенсируют геометрическую неизменность формы рабочего органа — выявить динамику формы рабочего органа в самом процессе;

3. Выделить в физико-механических свойствах почвы относительно стабильные свойства и параметры, не зависящие от переменного состояния почвы, и отобразить эти свойства, параметры или их соотношения в форме рабочего органа.

Рассмотрим два последних пути решения проблемы, проанализировав явления и процессы, возникающие в слое почвы при деформации ее клином.

Процесс деформации почвы клином связан с особенностями ее прочностных свойств. В. П. Горячкин отмечал, что почва может проявлять свойство как хрупкости, так и пластичности при различных сочетаниях нормальных напряжений [6] (рис. 2, а). Собственно разрушение может происходить при разных главных нормальных напряжениях σ_1 и σ_3 . Предел разрушения почвы сдвигом $\Delta\tau$ может различаться на 30—40 % в зависимости от соотношения σ_1 и σ_3 [7]. Эти особенности свойств почвы иллюстрируются диаграммой Кулона—Мора и диаграммой деформации почвы в координатах относительной деформации ε и разницы $\sigma_1 - \sigma_3$.

Экспериментально установлено, что сопротивление почвы сжатию больше, чем разрыву [8]. Причем при значительном изменении пределов прочности на сжатие и растяжение различие пределов прочности сохраняется, т. е. $[\sigma_{сжат}]/[\sigma_{раст}] \geq 2...20$.

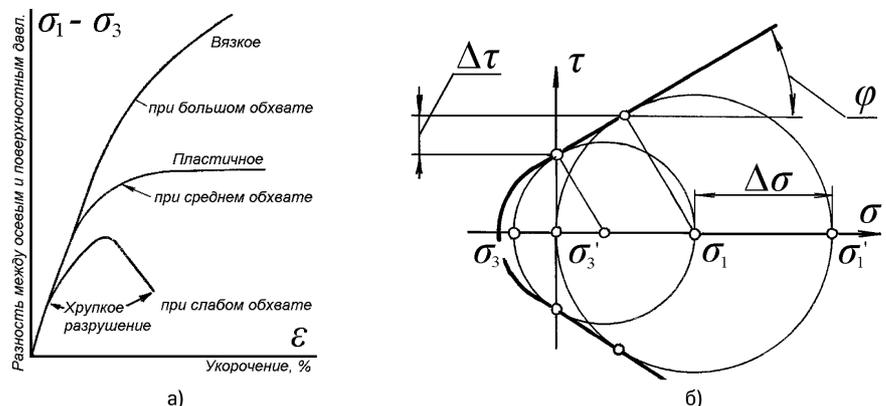


Рис. 2. Модели прочностных свойств почвы:

а — зависимость состояния почвы — хрупкое, пластичное, вязкое (по диаграмме относительной деформации ε почвы и разности главных напряжений σ_1 и σ_3) по В. П. Горячкину; б — различие в напряжениях разрушения сдвигом $\Delta\tau$ в зависимости от сочетания главных нормальных напряжений σ_1 и σ_3 по диаграмме Кулона—Мора [7]

Рассмотрим различные модели стружкообразования и крошения пласта — основных процессов при обработке почвы.

В. П. Горячкин, Г. Н. Синеоков, А. Н. Гудков и др. отмечали явление расслоения пласта под действием клинообразного орудия (рис. 3, а, б) [9, 10]. Одно из объяснений механизма крошения почвы путем расслоения состоит в следующем. Слои пласта, удаленные от рабочей поверхности орудия на разные расстояния, проходят пути разной длины, вследствие чего возникают напряжения и деформации сдвига — взаимного смещения частиц пласта (рис. 3, в). Другое объяснение основано на том, что при изгибе пласта клином максимальные касательные напряжения формируются вблизи оси инерции пласта. Первоначальный сдвиг сопровождается разделением пласта на два более тонких слоя, которые, в свою очередь, разделяются поперечными и продольными трещинами [7, 11].

Крошение пласта почвы под действием клина — процесс снятия избыточных напряжений — происходит в основном как деформация сдвига и отрыва вследствие различия в прочности почвы на сжатие, сдвиг и растяжение. Таким образом, при крошении проявляются особенности прочностных свойств почвы.

По мнению А. С. Кушнарёва: "От геометрии рабочего органа зависит распределение давлений на границе рабочий орган—почва и, следовательно, поля напряжений и деформации. В соответствии с полной реологической моделью почвы в первой

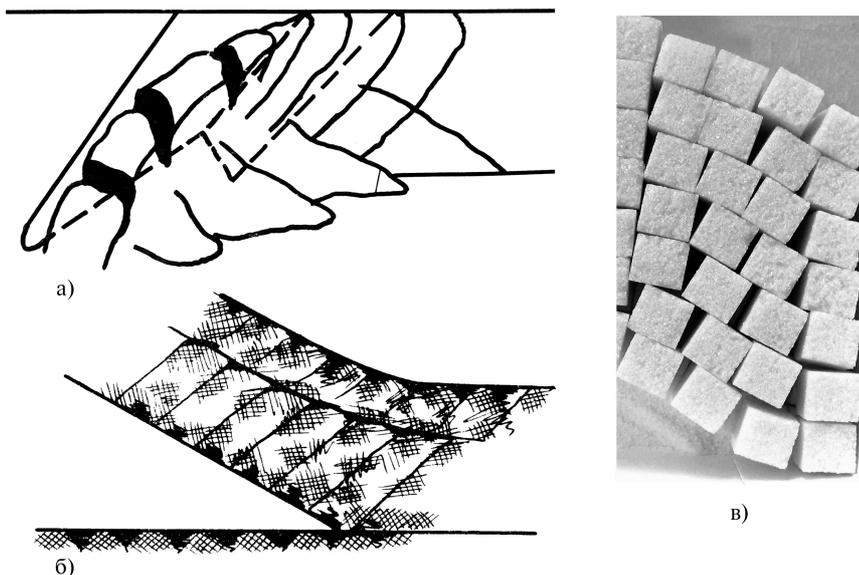


Рис. 3. Вид расслоения пласта под действием клина:

a — по Г. Н. Синеокову [9]; *б* — по А. Н. Гудкову [10]; *в* — моделирование деформации слоя почвы кубиками сахара

фазе деформации некоторый ее объем уплотняется, после чего происходит пластическое течение по поверхностям скольжения (вторая фаза деформации). Если геометрия рабочего органа неудачна, то в первой фазе большой объем почвы претерпевает значительное уплотнение, что увеличивает энергоемкость обработки почвы и способствует образованию больших переуплотненных глыб и уплотнению дна борозды" [12].

Из теории контактного взаимодействия известно, что вблизи поверхности деформатора образуется зона пластического течения материала (рис. 4, *a, б*). Давление на границе этой зоны распределяется по гидростатическому закону и сопровождается деформацией остального объема материала с веерообразно расходящимся движением частиц (рис. 4, *б, в*) [13, 14].

Таким образом, процесс пластического уплотнения и течения по поверхностям скольжения может быть разделен не только по времени (т. е. по "фазам деформации"), но и в пространстве — как зоны деформаций. Одна зона — зона пластических деформаций, прилегающая к рабочей поверхности орудия, другая — зона сдвиговых деформаций с признаками хрупкообразного разрушения остального объема пласта. Первая может проявляться как нарост из переуплотненной почвы (рис. 5).

По свидетельству М. Е. Мацепуро и К. А. Пилкаускас, после формирования уплотненного ядра "...процесс резания почвы изменяется, так как рабочей поверхностью становится не плоскость заточки, а поверхность уплотненного ядра" [17].

Таким образом, вследствие особенностей свойств почвы, пласт де-

лится на две зоны деформаций — в состоянии пластичности и хрупкообразного разрушения. Поверхность их раздела становится рабочей поверхностью для части пласта, формирование которой может быть расценено как динамический процесс саморегулирования системы и проявления обратной связи. При этом функцию измерительного и исполнительного устройств выполняет часть пласта. Энергия для саморегулирования поступает не непосредственно от энергосредства (трактора), а извлекается из процесса деформации почвы (рис. 6).

Обобщенно можно сказать, что в процессе взаимодействия почвы и орудия между рабочей поверхностью орудия и остальным объемом пласта образуется "промежуточное тело", наружная граница которого выполняет функцию рабочей поверхности орудия. Часть пласта становится рабочим органом, а рабочий орган приобретает свойства обрабатываемого материала.

Давление на границе уплотненного ядра распределяется, как было сказано выше, по гидростатическому закону (т. е. перпендикулярно поверхности уплотненного ядра), и, соответственно, его элементарные силы \vec{P}_i ориентированы в радиально расходящихся направлениях (рис. 7). Сжатие в направлении векторов $\vec{P}_i(\vec{N})$ приводит к возникновению напряжений сжатия σ_c . При этом возникают напряжения растяжения σ_p и деформация растяжения в перпендикулярных векторам \vec{P}_i направлениях. Пласт крошится вследствие элементарных сдвигов под углами χ к направлениям элементарных сил \vec{P}_i . Для описанной ориентации векторов \vec{P}_i линии v сечения поверхностей сдвигов имеют вид логарифмических кривых. Форма этой кривой

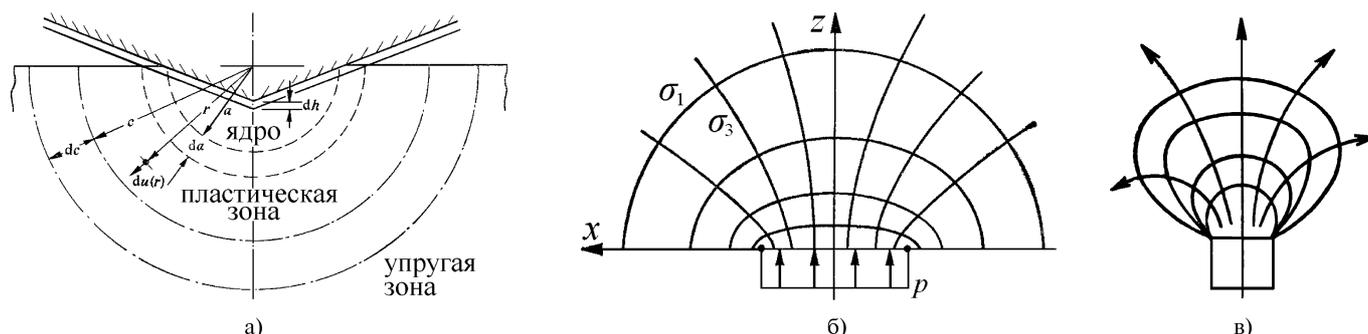


Рис. 4. Картина распределения давления и деформации материала:

a, б — по К. Л. Johnson [13]; *в* — по А. Н. Зеленину [14]

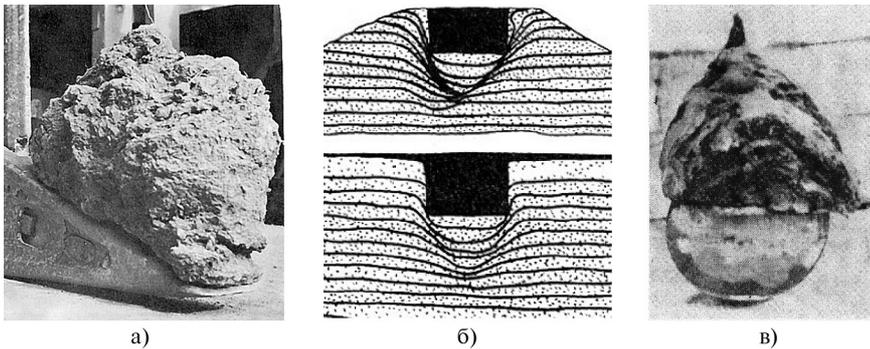


Рис. 5. Картина образования ядра из переуплотненной почвы:

а — по М. L. Nichols, С. А. Reaves [15]; б — по опытам М. X. Пигулевского [16]; в — по М. Е. Мацелуро и К. А. Пилкаускас [17]

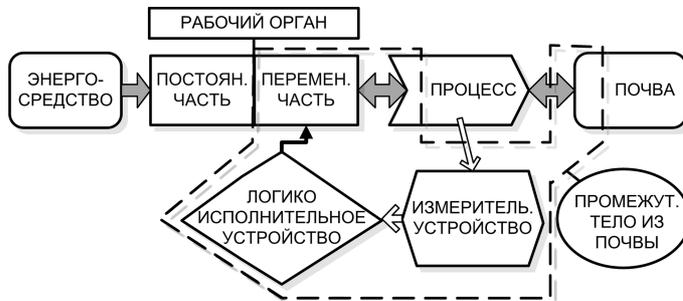


Рис. 6. Схема саморегулирования формы поверхности рабочих органов почвообрабатывающих орудий с учетом образования промежуточного тела из почвы

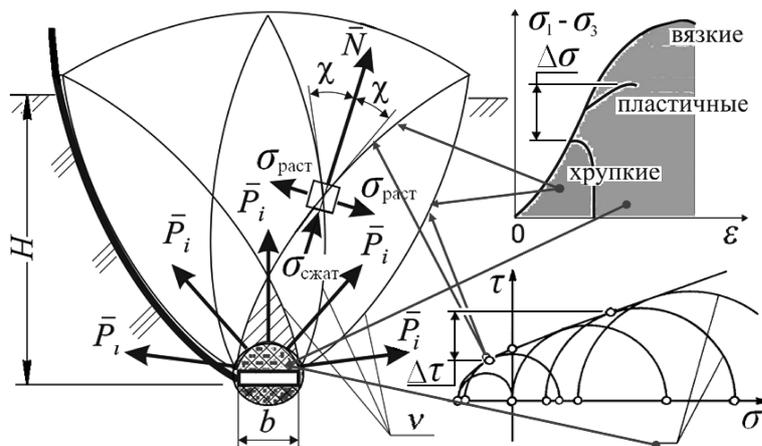


Рис. 7. Модель деформации пласта под действием долота с образованием двух зон напряженно-деформированного состояния почвы

использована для проектирования профиля стойки рабочего органа плуга-рыхлителя типа ПРН [11, 18].

Внутри уплотненного ядра почвы напряженно-деформированное состояние соответствует всестороннему сжатию и состоянию пластичности, как показано на диаграммах Кулона—Мора ($\sigma-\tau$) и напряжения—деформации ($\epsilon-\sigma$) (см. рис. 7). В остальном объеме пласта почва находится в хрупкообразном состоянии, и деформация происходит как сдвиг от сочетания напряжений сжатия и

растяжения. Различие энергоемкости процесса деформации почвы в этих зонах эквивалентна разнице нормальных напряжений $\Delta\sigma$ на диаграмме напряжения—деформации ($\epsilon-\sigma$) и касательных напряжений $\Delta\tau$ на диаграмме Кулона—Мора ($\sigma-\tau$) (см. рис. 7).

Объем уплотненного ядра почвы, как показывает практика, не превышает 5—10 % объема всего пласта. Таким образом, энергоемкая деформация сжатия меньшей доли пласта преобразуется в наименее энергоем-

кую деформацию сдвига с растяжением остальной его части. В силу свойств почвы в системе рабочий орган—почва реализуется наименее энергоемкий процесс деформации пласта.

Необходимо также отметить, что при формировании "промежуточного тела" в пласте трение металл—почва заменяется более энергоемким трением почва—почва, так как коэффициент трения почва—почва превосходит коэффициент трения металл—почва до двух раз. Практически при выполнении рабочей поверхности орудия по форме, имитирующей форму стабильной части "промежуточного тела" (нароста) в пласте, должно наблюдаться снижение энергозатрат и доли почвы, распыляемой вследствие пластических деформаций.

Выводы

Проблема снижения затрат при обработке почвы может решаться путем адаптации параметров и формы орудия к изменяющимся почвенным условиям и режимам работы. Кроме известного в технике искусственного управления формой и параметрами почвообрабатывающего орудия существуют естественные процессы адаптации и саморегулирования в системе рабочий орган—почва. Они происходят благодаря крошению почвы, послынным сдвигам в пласте и образованию двух зон с разным характером деформаций — пластических и хрупкообразных.

Эти явления корректируют форму рабочего органа и выполняют функцию обратной связи, реализуя при этом закон минимума энергии в системе. Перечисленные явления имеют динамический, циклический характер, что в частности проявляется в виде известного колебания тягового сопротивления рабочего органа орудия.

При проектировании и совершенствовании орудий необходимо учитывать, что энергоемкость реального процесса деформации почвы определяется наличием и формой нароста. Минимизация размера этого тела, в том числе путем выполнения рабочей поверхности орудия по форме части промежуточного тела в почве, — реальный способ снижения энергозатрат на ее рыхление. Другой способ снижения энергозатрат — построение формы рабочей

поверхности орудия по принципу динамического отображения деформаций пласта — будет рассмотрен в дальнейшем.

Список литературы

1. Иванов Г. И. Памятка слушателю семинара "Основы системного мышления в инженерной практике" [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.trizminsk.org/e/248004.htm#034>

2. Изыскание и исследование схем и конструкций плугов с регулируемой шириной захвата: Отчет о НИР / А. А. Лептев и др. // Белорус. ин-т мех. с.-х., ГСКБ "Одессапочвомаш". — Мн. — Одесса, 1980.

3. Протокол № 7-5-79В (9018100) ведомственных испытаний четырехкорпусного навесного плуга с автоматическим регулированием параметров плужных корпусов: Протокол испытаний / Западная МИС. — пос. Привольный, 1979.

4. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. В 2 т. Т. 2. — М: Наука, 1966.

5. Бартини Р. О., Кузнецов П. Г. О множественности геометрий и множественности физик / В кн. "Проблемы и особенности современной научной методологии". — Свердловск: АН СССР, Уральский научный центр, 1979.

6. Горячкин В. П. Теория разрушения материалов (фрагмент из рукописи "Общая теория орудий") / В. П. Горячкин // Собр. соч.: В 3 т. Т. 1. — М.: Колос, 1965.

7. Ветохин В. И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы: Дис. ... канд. техн. наук. — М.: ВИСХОМ, 1991.

8. Жук Я. М., Рубин В. Ф. О сопротивлении почвы различным деформациям / В сб. науч.-исслед. работ ВИСХОМа. Вып. 3. "Почвообрабатывающие машины". — М.—Л.: Машгиз, 1940.

9. Синеоков Г. Н. Сопротивления почвы, возникающие при ее обработке: Дис. ... д-ра техн. наук. В 2 т. Т. 1. — М.: АН СССР; Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 1954.

10. Гудков А. Н. Теоретические основы вспашки твердых почв / Мат-лы НТС ВИСХОМа. Вып. 5. "Усовершенствование орудий для основной обработки почвы". — М.: ОНТИ ВИСХОМ, 1959.

11. Панов И. М., Ветохин В. И. Физические основы механики почв: монография. — Киев: Феникс, 2008.

12. Кушнарев А. С. Механическое воздействие на почву сельскохозяйственной техники (механизм воздействия и последствия) / В сб. науч. тр. УСХА "Проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву ходовых систем трактора,

мобильной сельскохозяйственной техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин". — Киев, 1982.

13. Джонсон К. Л. Механика контактного взаимодействия: Пер. с англ. — М.: Мир, 1989.

14. Зеленин А. Н. Резание грунтов. — М.: Изд-во АН СССР, 1959.

15. Soil dynamics in tillage and traction / W. R. Gill et al. — Washington: Agricultural Research Service US department of Agriculture. Agricultural handbook 316. 1967.

16. Пигулевский М. Х. Основы методики изучения физико-механических свойств почвы. — М.: Изд. ЛОВИУА ВАСХНИЛ, 1936.

17. Мацепуро М. Е., Пилкаускас К. А. Изменение сил, действующих на дренаж, в зависимости от его параметров // Вопросы земледельческой механики. — Мн.: Госиздат БССР, 1960. — Т. 3.

18. Ветохин В. И. Анализ некоторых аспектов деформации почвы применительно к проектированию энергосберегающих орудий для глубокого рыхления почвы / В сб. ст. Междунар. науч.-практич. конф. к 60-летию образов. ИМСХ АН БССР. В 3 т. Т. 1. "Научно-технический прогресс в с.-х. производстве". — Минск, 2007.

УДК 631.333

Критерий эффективности применения органоминеральных удобрений

Канд. техн. наук М. В. ЗАПЕВАЛОВ (Челябинская ГАА, mpg@agroup.urg.ac.ru)

Аннотация. Показана зависимость урожайности с.-х. культур от дозы внесения удобрений, а также подход к определению критерия эффективности применения органоминеральных удобрений.

Ключевые слова: система применения удобрений, урожайность, затраты, критерий эффективности.

При разработке системы применения органоминеральных удобрений построена морфологическая схема (рис. 1), наглядно демонстрирующая связи и взаимодействия между процессами системы по экономическим свойствам. Между удобрениями, способом их внесения, урожаем и затратами существуют определенные зависимости.

Исследования, проведенные при возделывании различных с.-х. культур, показывают, что зависимость урожайности от применяемых удобрений достаточно точно описывается полиномом второй степени [1]

$$U = a_0 + a_1x + a_2x^2.$$

Эмпирическая зависимость урожайности разных культур от дозы вносимых удобрений в большинстве случаев идентична и имеет вид, пред-

ставленный на рис. 2. Выделим на графике четыре участка:

— на участке I согласно одному из основных законов растениеводства — закону минимума, оптимума и максимума, в том случае, когда лимитирующим фактором являются удобрения, при увеличении дозы их внесения происходит приращение функции, которую с достаточной степенью точности можно рассматривать как линейную;

— на участке II по мере увеличения количества вносимых в почву удобрений приращение функции уменьшается, а затем сводится к нулю (участок III);

— на участке IV избыток питательных веществ в почве оказывает отрицательное воздействие на рост и развитие растений — приращение функции отрицательное.

Таким образом, т. С на кривой соответствует максимуму функции отзывчивости растений на применение удобрений (т. е. соответствует тому количеству питательных веществ в почве, которое считается оптимальным с агротехнической точки зрения). Однако с экономической точки зрения это не так: приращение затрат, связанных с применением удобрений на каком-то этапе будет выше выручки от реализации дополнительной продукции, полученной от увеличения дозы вносимых удобрений, и может находиться на всем участке AC. Поэтому при проектировании процессов по применению удобрений необходимо выбрать такой критерий оптимальности, который позволил бы найти точку кривой, соответствующую количеству вносимого удобрения, которое мож-