

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НА ПРИЛИПАЕМОСТЬ ПОЧВЫ К КАРТОФЕЛЮ

А.Н. Орда, докт. техн. наук, профессор, В.Н. Дашков, докт. техн. наук, профессор (БГАТУ);  
А.С. Воробей, мл. науч. сотр. (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»)

### Аннотация

*Рассмотрены вопросы влияния свойств почвы и технологии возделывания на прилипаемость почвы к клубням картофеля. Уплотненная почва при последующей обработке обладает неудовлетворительным фракционным составом, в котором преобладают мелкие частицы. Показано, что в качестве критерия прилипаемости почвы к клубням картофеля могут служить параметры уравнения Розина-Раммлера.*

*The article is devoted to the influence of both land properties and cultivation technologies on soil adherence to the potatoes. Compacted soil during further cultivation has the inadequate frictional structure with prevalent small parts in it. In the article the author shows that Rozin-Rammler's equation parameters may serve as criteria of soil adherence to the potatoes.*

### Введение

Современные машины по возделыванию картофеля производят на почву высокое уплотняющее воздействие. При последующей обработке картофеля крошение почвы сопровождается образованием мелких частиц, которые обладают высокой способностью прилипаемости к клубням картофеля. Оптимальная структура почвы состоит из комков, размером 0,25-10 мм. Такая почва не прилипает к клубням картофеля. В статье рассмотрены вопросы влияния технологии возделывания картофеля на прилипаемость почвы к клубням картофеля.

### Основная часть

Ходовые системы тракторов, агрегируемых с машинами по возделыванию картофеля, создают давление на почву 100-150 кПа.

Воздействие ходовых систем ведет к повышению плотности почвы на глубине до 0,5м. Из-за этого не только ухудшаются условия роста картофеля, но и создаются условия для увеличения прилипаемости почвы к клубням.

Анализ процесса поглощения энергии при уплотнении почвы позволил установить экспоненциальный закон распределения напряжений по глубине:

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x}, \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  – напряжение в контакте почвы с колесом, Па;

$\sigma_x$  – напряжение на глубине  $x$ , Па;

$\beta$  – коэффициент распределения напряжений,  $m^{-1}$ .

Приращение плотности почвы на участке  $dx$  пропорционально градиенту напряжения:

$$d\rho_x = k_1 \cdot \psi_x \cdot dx,$$

где  $k_1$  – коэффициент уплотнения, кг/Н·м;

$\psi_x$  – градиент напряжения, Па/м.

Градиент напряжения пропорционален действующему напряжению:

$$\psi_x = -\beta \cdot \sigma_x.$$

Тогда, приращение плотности

$$d\rho_x = -k_1 \cdot \beta \cdot \sigma_x \cdot dx.$$

Подставив зависимость (1) распределения напряжений по глубине в последнее уравнение, получим

$$d\rho_x = -k_1 \cdot \beta \cdot \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x} \cdot dx. \quad (2)$$

Общий интеграл дифференциального уравнения (2)

$$\rho_x = k_1 \cdot \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x} + C.$$

Постоянную интегрирования  $C$  находим из условия, что при  $x = 0$ ,  $\rho = \rho_0$  ( $\rho_0$  – плотность почвы у основания деформатора по окончании процесса деформирования)

$$C = \rho_0 - k_1 \cdot \sigma_0.$$

Частное решение дифференциального уравнения (2) представляет собой закон распределения плотности по глубине деформированного полупространства

$$\rho_x = \rho_0 - k_1 \cdot \sigma_0 \cdot (1 - e^{-\beta \cdot x}). \quad (3)$$

Зависимость между плотностью почвы в контакте с деформатором и контактным напряжением в случае деформации бесконечного полупространства почвы имеет вид [1]

$$\rho_0 = \rho_n + k_1 \cdot \sigma_0. \quad (4)$$

Установим, как соотносятся между собой коэффициент  $k_l$  с коэффициентами распределения напряжений  $\beta$  и объемного смятия почвы  $k$ .

Анализ показал, что

$$k_l = \frac{\rho_{II} \cdot \beta}{k}.$$

При этом зависимость (4) плотности верхнего слоя почвы от напряжения примет вид

$$\rho_0 = \rho_{II} \left( 1 + \frac{\beta}{k} \sigma_0 \right). \quad (5)$$

Зависимость распределения плотности почвы по глубине с учетом полученного значения коэффициента уплотнения  $k_l$  и формулы (5) примет вид

$$\rho_x = \rho_{II} \left( 1 + \frac{\beta}{k} \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x} \right). \quad (6)$$

Анализ зависимости (6) показал, что на глубине 0,1-0,3 м плотность почвы равна 1300-1400 кг/м<sup>3</sup>, а оптимальная плотность составляет 1000-1200 кг/м<sup>3</sup>.

На прилипаемость почвы к картофелю большое влияние оказывает пластичность, т.е. способность почвы изменять свою форму под влиянием внешней силы и сохранять приданную форму после устранения этой силы. Пластичность проявляется при увлажнении почвы и тесно связана с ее механическим составом (глинистые почвы пластичны, песчаные почвы не пластичны). При содержании в почве натрия ее пластичность усиливается, а при насыщении кальцием – снижается. Высокое содержание гумуса уменьшает пластичность почвы [2].

Диапазон влажности, при которой почва будет пластичной, характеризуется числом пластичности [2]:

$$J_p = w_L - w_p, \quad (7)$$

где  $w_L$  – граница влажности, при которой почва переходит в текучее состояние (верхний предел пластичности);

$w_p$  – граница раскатывания, соответствует влажности, при которой почва теряет свою пластичность (нижний предел пластичности). Она приблизительно равна влажности жгута (толщиной 3 мм), сделанного из почвы и раскатываемого на бумаге до потери им пластичности.

Прилипаемость почвы к картофелю определяется ее липкостью, т.е. способностью ее частиц в сыром состоянии склеиваться и прилипать к поверхностям клубня. Склеивание твердых частиц почвы между собой и прилипание их к картофелю происходит посредством пленок воды и естественных цементов почвы (гумус, минеральные коллоиды и т.п.).

Липкость можно определить по формуле

$$\tau = \frac{F}{S}, \quad (8)$$

где  $\tau$  – липкость почвы;

$F$  – усилие, затраченное на отрыв тела, прилипшего к почве (Н);

$S$  – площадь прилипания (м<sup>2</sup>).

Липкость характерна для суглинистых, глинистых и торфяных почв, находящихся в увлажненном состоянии. Размокание и пластичность почвы приводят к потере ее прочности и увеличению липкости. Результаты определения липкости (рис.1) показывают, что характерными показателями являются влаж-

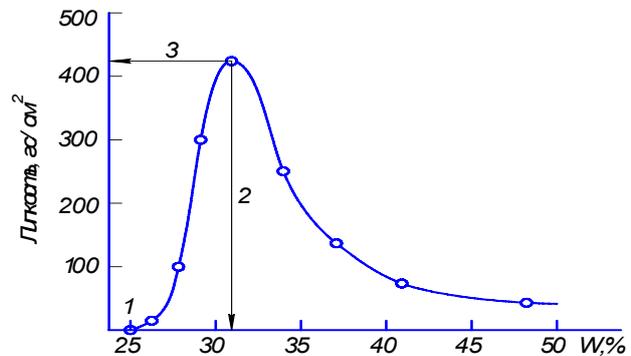


Рисунок 1. График зависимости липкости глинистой почвы от влажности [3]:

1 – влажность начального прилипания;

2 – влажность максимального прилипания;

3 – максимальная липкость грунта

ность начального прилипания, влажность максимального прилипания и максимальное значение липкости. На степень липкости почвы помимо влажности влияют гранулометрический и отчасти химико-минералогический состав почв, а также сила, с которой производится первоначальное придавливание предмета к почве [3].

Значение липкости и характерные значения влажности определяются как составом, свойствами и состоянием почвы и соприкасающегося предмета, так и величиной и временем действия нагрузки, прижимающей этот предмет к почве. Применительно к торфяным почвам известно, что с увеличением дисперсности торфа максимальные значения липкости смещаются в сторону меньших влажностей. Рост абсолютного значения липкости обуславливается увеличением числа контактов и сил молекулярного взаимодействия. Прилипание обнаруживается у торфа, имеющего пластичный тип консистенции. В этом случае велика роль капиллярных сил на границе взаимодействующих тел [4].

С ростом процентного содержания мелких частиц увеличивается прилипаемость почвы к клубням картофеля. Для исследования процесса крошения почвы в процессе обработки применим энергетический подход, согласно которому удельная поглощаемая энергия (Дж/м<sup>3</sup>) равна [ 5]

$$\psi = \frac{1}{2} \beta p l v^2 e^{-\beta l}, \quad (9)$$

где  $\beta$  – коэффициент поглощения энергии,  $M^{-1}$ ;  
 $\rho$  – плотность почвы в рассматриваемом объеме,  $кг/м^3$ ;  
 $l$  – толщина обрабатываемого пласта почвы,  $м$ ;  
 $v$  – скорость передвижения рабочего органа,  $м/с$ .

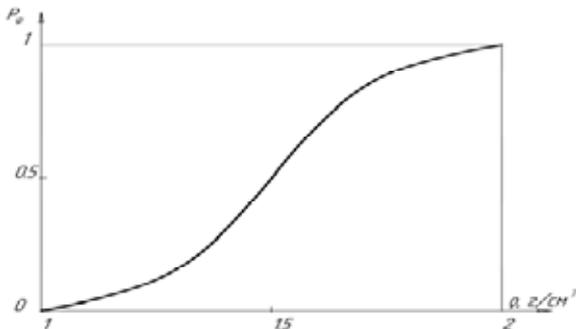


Рисунок 2. Зависимость критического значения поглощенной энергии от плотности почвы

Анализ показал, что зависимость критической поглощенной энергии  $P_{\psi}$  от плотности почвы  $\rho$  имеет вид [6]

$$P_{\psi} = 1 - \frac{1}{\exp\left(0,78 \frac{a^2}{\psi_{cp}^2} \rho^2\right)} \quad (10)$$

Перед тем, как построить график зависимости критического значения поглощенной энергии  $P_{\psi}$  от плотности почвы  $\rho$ , найдем пределы изменения плотности почвы  $\rho$ . В работе [6] рассмотрено, какие плотности теоретически могут быть в различных почвах. При этом рассматривались 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 [6]. С учетом того, что почва состоит из макроагрегатов, пористость ее достигает до 60%, а минимальная плотность колеблется от 0,9 до 1,1  $г/см^3$  в зависимости от механического состава.

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

На основании исследований [7], можно заключить о пропорциональности средней величины поглощенной энергии  $\psi_{cp}$  и сред-

ней плотности почвы  $\rho_{cp}$ :

$$\psi_{cp} = a_1 \rho_{cp}, \quad (11)$$

где  $a_1$  – коэффициент пропорциональности.

Подставив зависимость (11) в зависимость (10), после преобразования получим

$$P_{\psi} = 1 - \frac{1}{\exp\left[b \left(\frac{\rho}{\rho_{cp}}\right)^2\right]}, \quad (12)$$

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

График изменения критического значения поглощенной энергии от плотности почвы, согласно зависимости (14), имеет вид, представленный на рис. 2.

Для учета многообразия размеров почвенных частиц воспользуемся методом ситового анализа взрыхленного торфа. При обработке результатов ситового анализа строятся графики суммарных массовых выходов частиц, размеры которых больше заданного. Линия, выражающая зависимость суммарного выхода от размеров частиц, называется суммарной характеристикой. Суммарная характеристика может быть построена "по плюсу" или "по минусу". В первом случае по оси ординат откладывается процентное содержание частиц, диаметр которых больше некоторого заданного диаметра  $d$ , а в другом – меньше.

На рис. 3 приведена кривая распределения, суммарная характеристика по плюсу и суммарная характеристика по минусу.

Для выравнивания кривых распределения по фракциям воспользуемся уравнением Розина и Раммлера (Розина-Раммлера).

Уравнения кривой распределения по Розину-Раммлеру имеет вид [8]:

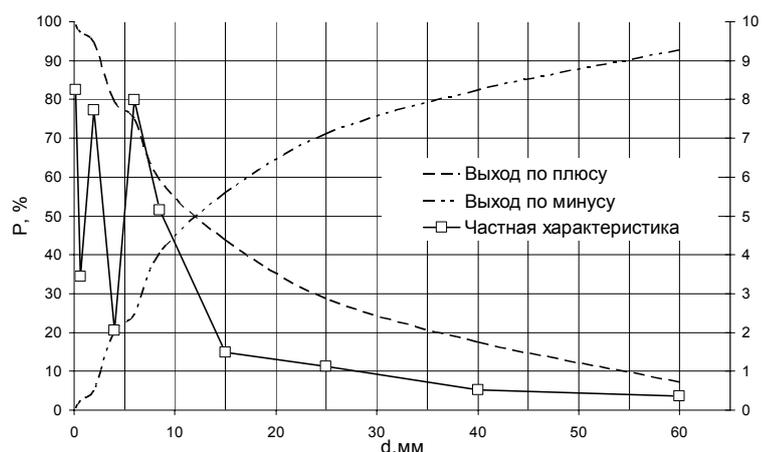


Рисунок 3. Кривая распределения ( $w = 25,0\%$ ) и соответствующие ей выходы по плюсу и по минусу

$$P'(x) = 100nbx^{n-1} e^{-bx^n}, \quad (13)$$

где  $b$  и  $n$  – параметры уравнения.

Суммарная характеристика по минусу может быть найдена интегрированием уравнения (13):

$$P_1(x) = 100 - 100e^{-bd^n}. \quad (14)$$

Суммарная характеристика по плюсу

$$P_1(x) = 100e^{-bd^n}, \quad (15)$$

где  $d=x$  – определяющий размер фракции.

Д. Биннета предложил заменить в формуле

(15) параметр  $b$  на отношение  $\frac{1}{d_e^n}$ . Тогда формула

суммарной характеристики по Розину-Раммлеру примет вид

$$R = 100e^{-\left(\frac{d}{d_e}\right)^n}, \quad (16)$$

где  $n$  – показатель, характеризующий рассеяние частиц по крупности;

$d$  – текущий размер частиц;

$R$  – суммарный выход частиц крупнее размера  $x$ ;

$d_e$  – размер частиц, крупнее которых оказывается 36,8% почвы, мм.

Преобразовав формулу (16) и прологарифмировав ее дважды, получим

$$\lg\left(\lg\frac{100}{P}\right) = n \lg d + c, \quad (17)$$

где  $c$  – опытный коэффициент.

Из уравнения видно, что в координатах  $[\lg(\lg 100/P), \lg d]$  уравнение Розина-Раммлера спрямляется. Показатель  $n$ , характеризующий рассеяние почвенных агрегатов по крупности, определяется как тангенс угла наклона прямой, а  $d_e$  – размер агрегатов, соответствующий выходу 36,8%.

На рис. 4 приведены зависимости суммарного выхода по плюсу торфяной почвы от среднего диаметра фракции  $d$  для разных значений ее влажности. Значения  $n$  для влажности  $w = 25,0\%$  – 1,04; для влажности  $w = 48,0\%$  – 0,95. Значения  $d_e$  составляют 20,777 мм и 11,03 мм соответственно.

С помощью параметров  $n$  и  $d_e$  можно характеризовать фракционный состав почвы.

Из физики почвы известно [8], 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. Проанализируем, чему равны параметры уравнения Розина-Раммлера для почвы оптимальной структуры. При этом допустим, что частные характеристики крупности подчи-

няются нормальному распределению. Допускаем, что дисперсия  $\sigma_u$  изменяется от 0,8 до 1,2.

Если принять, что математическое ожидание  $m_u = m_{cp} = 7/2 = 3,5$  мм, то получим следующий процентный выход фракций в интервалах, соответствующих размерам сит (табл. 1).

Таблица 1. Процентный выход фракций

Интервал, мм	0-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-3	3-5	5-7	
Выход фракции, %	$\sigma_u = 0,8$	0,002	0,006	0,08	2,95	23,56	70,36	3,04
	$\sigma_u = 1$	0,03	0,08	0,49	6,06	24,17	62,47	6,66
	$\sigma_u = 1,2$	0,16	0,28	1,24	8,7	23,28	55,59	10,38

Рассчеты по определению параметров уравнения Розина-Раммлера для почвы оптимальной структуры показали, что параметры уравнения Розина-Раммлера для почвы оптимальной структуры имеют следующие значения:  $n = 2-4$ ;  $d_e = 5-6$  мм. При исследовании процесса крошения почвы окучивающим корпусом получено, что размер частиц  $d_e = 12,0 - 23,0$  мм, а показатель, характеризующий рассеяние почвенных агрегатов по крупности  $n = 0,76-0,81$  [9].

Таким образом, технология возделывания картофеля не обеспечивает сохранение оптимальной структуры почвы. Параметры уравнения Розина-Раммлера почвы в процессе обработки значительно отличаются от параметров почвы оптимальной структуры.

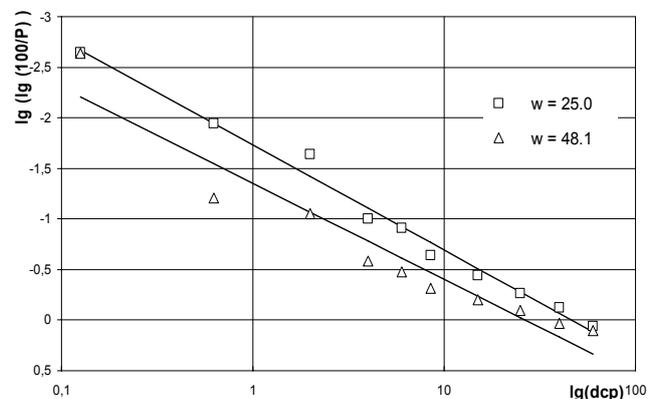


Рисунок 4. Зависимость суммарного выхода по плюсу  $P$  от среднего диаметра фракций  $d$  в логарифмических координатах

### Заключение

На прилипаемость почвы к картофелю оказывает влияние давление ходовых систем и физико-механические свойства почвы. Уплотненная почва при последующей обработке обладает неудовлетворительным фракционным составом, в котором преобладают

мелкие частицы. Повышение дисперсности почвы ведет к повышению прилипаемости к клубням картофеля.

В качестве критериев оценки прилипаемости почвы к картофелю предлагается использовать параметры уравнения Розина-Раммлера. Для почвы оптимального фракционного состава параметры уравнения Розина-Раммлера имеют следующие значения: показатель однородности частиц  $n=2-4$ , показатель крупности  $d_e = 5-6$  мм. Для современных технологий почвообработки при возделывании картофеля фракционный состав почвы характеризуется следующими значениями параметров уравнения Розина-Раммлера:  $n = 0,7-0,8$ ;  $d_e = 12-23$  мм. При уменьшении показателя однородности  $n$  увеличивается процентное содержание мелких частиц, а следовательно и прилипаемость почвы к картофелю.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03/А.Н.Орда; БИМСХ. – Минск, 1997. – 269с., ил.

2. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв/ А.Ф. Вадюнина, З.А.Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416с.

3. Бабков, В.Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов/ В.Ф. Бабков, В.М. Безрук. – Москва. – 1976. – С. 327.

4. Лиштван, И.И. Физические свойства торфа и торфяных залежей/ И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, В.И. Косов. – Минск: Наука и техника, 1985. – 239 с., ил.

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

6. Ревут, И.Б. Физика почв/ И.Б. Ревут. – Л.: Колос, 1972. – 387с., ил.

7. Орда, А.Н. Оценка воздействия на почву ходовых систем и рабочих органов почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов/ А.Н.Орда, Н.А. Гирейко, А.Б. Селеш. // Агропанорама, 2006. – №2. – С. 6-9.

8. Кислов, Н.В. Аэродинамика измельченного торфа/ Н.В. Кислов. – Минск.: Наука и техника, 1987. – 175 с.

9. Дмитриев, А.М. К вопросу крошения почвы рабочими органами/ А.М. Дмитриев, Н.И. Бохан// Науч. труды ЦНИИМЭСХ. – Т.7. – Минск, 1969. – С. 24-30.

УДК 636. 085. 51

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.02.2011

## СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ

С.В. Основин, канд. с.-х. наук, доцент, Л.Г. Основина, канд. техн. наук, доцент, Е.Г. Бусько, докт. биолог. наук, профессор (БГАТУ)

### Аннотация

*Предлагается способ приготовления стебельных кормов с пригрузкой зеленой массы статической нагрузкой.*

*The technology of preparing the ensilage fodder with the use of tightening weight onto the caulescent substance by static load is suggested.*

### Введение

Одним из направлений развития кормовой базы в современных условиях является совершенствование процессов кормоприготовления, что позволяет повысить качество и снизить затраты на их производство. Это относится к циклу работ по заготовке кормов (уборка трав, погрузочно-разгрузочные работы, хранение и использование).

Поэтому для повышения качества стебельных кормов необходимо использовать рациональные технологии их заготовки.

Использование различных материалов в процессе деформирования показывает сложность наблюдаемых явлений и разнообразие обнаруживаемых

свойств. Изучение свойств стебельной массы требует изучения их индивидуальных особенностей.

Сопrotивление стебельной массы деформированиям зависит от степени измельчения, скорости деформирования, температуры массы в процессе ее деформации и других физико-химических характеристик.

Для получения качественных стебельных кормов необходимо учитывать физико-механические и некоторые биологические свойства стебельных кормов:

– характеризующие свойства стебельной массы: сроки уборки, влажность, скорость движения воздуха, время заготовки, температуру воздуха и материалов, степень измельчения и форму частиц;

– характеризующие деформирование стебельной массы: реологические и биохимические характери-