

26. Ковалев, М.М. Исследование сопротивления стеблей льна отгибу / М.М. Ковалев, А.В. Галкин, В.И. Дмитриев // Проблемы повышения технологического качества льна-долгунца: материалы Междуна-

родной науч.-технич. конф., Торжок, 02-03 ноября 2004 г. – Торжок: ООО «Вариант», 2005. – С. 224-229.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2023

УДК 631.31.001.24

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-157-3-21-25>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ РЫХЛИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

В.П. Чеботарев,

зав. каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Г.А. Радишевский,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Г.Н. Портянко,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Н.П. Гурнович,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.В. Козловский, Е.Ю. Позняк,

студенты агроmechanического факультета БГАТУ

В статье представлены результаты теоретических и лабораторных исследований рыхлительного органа, обеспечивающего разрушение уплотненного подпахотного слоя.

Ключевые слова: почва, уплотненный слой, рыхлительный орган.

The article presents the results of theoretical and laboratory studies of the loosening unit that ensures the destruction of the compacted subsurface layer.

Key words: soil, compacted layer, loosening unit.

Введение

Одной из задач механической обработки почвы является создание оптимальной плотности и ее структурного сложения.

Сельскохозяйственные растения хорошо развиваются при благоприятных физических, химических и биологических процессах, протекающих в почве. Протекание этих процессов зависит от состояния поверхностного (посевного) слоя почвы: отсутствия глыб и комков, наличия мульчированного верхнего слоя, сохраняющего тепло и влагу, равномерного рыхления до определенной плотности. При отклонении плотности пахотного горизонта от оптимального значения ($1,0 \dots 1,3 \text{ г/см}^3$) в зоне расположения высеванных семян для зерновых культур на $0,1 \dots 0,3 \text{ г/см}^3$ снижается урожайность на $20 \dots 45 \%$ [1].

При длительном применении классической технологии обработки почвы – вспашки снижается ее плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур из-за интенсивного разрушения и уплотнения вследствие многократных проходов машинно-тракторных агрегатов (МТА) [1]. Многократные проходы МТА по полю способствуют распылению верхнего и уплотнению нижнего слоя почвы, что отрица-

тельно влияет на плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур [2]. Кроме того, при обработке почвы на постоянную глубину она подвергается уплотнению пахотного слоя рабочими органами сельскохозяйственных машин и ходовыми системами энергетических средств. В результате уплотнения объемная масса почвы и ее сопротивление обработке повышаются, соответственно, в $1,5 \dots 2,0$ и $1,3 \dots 1,9$ раза, снижается общая капиллярная пористость плодородного слоя, что способствует снижению жизнедеятельности почвенной микрофлоры и приводит к недобору урожая [3].

В результате работы отвальных плугов в слое почвы, расположенном ниже прохода лезвий рабочих органов почвообрабатывающих машин, образуется, так называемая, «плужная подошва», которая препятствует проникновению выпавших осадков в нижележащие слои и испарению излишков влаги из нижних горизонтов. При этом корневая система растений не может проникнуть в уплотненный слой (плужную подошву) и в нижние слои почвы, где располагаются питательные вещества. Плужная подошва препятствует миграции вредных веществ из верхних горизонтов пахотного слоя в нижние и попаданию питательных веществ из нижних слоев в верхние, в ре-

зультате чего создаются неблагоприятные условия для развития растений.

Борьбу с уплотнением почвы возможно осуществлять тремя способами: снижением уплотнения, разуплотнением и его предотвращением.

Снижения уплотнения можно достичь за счет уменьшения массы МТА, применения широкозахватных или использования комбинированных агрегатов, выполняющих несколько операций за один проход. Перспективным направлением является использование технологической колеи при возделывании сельскохозяйственных культур. Одним из способов предотвращения уплотнения почвы является применение минимальной системы обработки почвы. Минимальная система предусматривает сокращение количества обработок и их глубины, совмещение и одновременное выполнение нескольких технологических операций за один проход агрегата.

Целью данной работы является оценка эффективности применения предлагаемого рыхлительного органа, обеспечивающего разрушение «плужной подошвы».

Основная часть

В настоящее время наиболее эффективным приемом разрушения «плужной подошвы» является механическое воздействие на глубину 0,3...0,5 м с помощью глубокорыхлителя-щелевателя. Рыхление почвы на глубину 0,3...0,5 м обеспечивает разуплотнение подпочвенного слоя, способствует регулированию поверхностного стока, улучшает стабильность ее структурного слоя, а также способствует увеличению урожайности сельскохозяйственных культур на 15...25 % [4].

Проблемы разрушения плотных слоев почвы описаны в трудах ученых – П.Н. Бурченко, Ж.Е. Токушева, В.М. Драч и многих других [3; 5, 6].

Наиболее распространенный способ разуплотнения пахотного и подпахотного горизонтов – глубокое механическое рыхление, которое улучшает физико-механические и агробиологические свойства почвы, повышает водо- и воздухопроницаемость, отводит излишки влаги в нижние слои, увеличивает корнеобитаемый слой и обеспечивает прибавку урожая [2]. В настоящее время чаще всего применяются орудия с пассивными рыхлительными органами, которые просты в устройстве и надежны в работе, но имеют высокую энергоемкость и низкую производительность [3]. Поэтому повышение эффективности глубокого рыхления является одной из актуальных задач современного земледелия.

Наиболее эффективен пассивный рыхлительный рабочий орган, состоящий из стойки, установленной под углом 90° к горизонту, с закрепленным на ней долотом, который при движении в почве совершает разуплотнение пахотного и подпахотного горизонта. Применение вертикальной стойки обеспечивает минимальное сопротивление рабочего органа [3].

При движении стойка рыхлительного органа разрезает сплошной массив, а почва перед ней деформируется

передней гранью долота. Деформация вначале упругая, а затем пластическая. При достижении предельных значений деформации происходит отрыв или сдвиг стружки почвы в продольной и поперечной плоскостях под углом боковой деформации почвы ψ (рис. 1). Профиль деформируемого пласта в поперечном сечении имеет вид трапеции, одно из оснований которой является шириной зоны деформации почвы в поперечном направлении b , а другое – шириной следа режущей кромки рыхлительного органа b_0 .

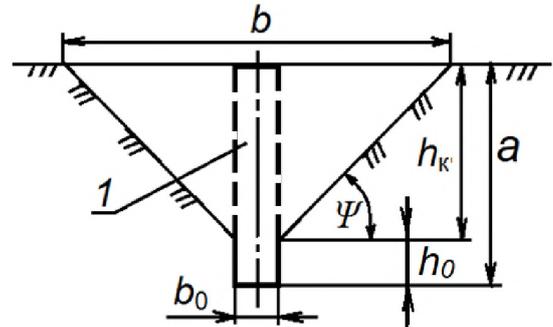


Рисунок 1. Параметры щели, образуемой рыхлительным органом: 1 – рыхлительный орган; а – глубина хода рыхлительного органа, м; b – зона деформации почвы в поперечном сечении пласта, м; b_0 – ширина следа режущей кромки рыхлительного органа, м; h_k – критическая глубина обработки почвы, м; ψ – угол боковой деформации почвы, град; h_0 – глубина блокировочного резания без отделения почвенной стружки с боковых сторон рыхлительного органа, м

Важным технологическим параметром глубокого рыхления является критическая глубина обработки почвы h_k , при которой прекращается резание с отделением стружки, и формирование прорези происходит за счет смятия почвы передней кромкой стойки с вытеснением в боковые щели. Для обеспечения максимальной ширины деформации почвы рыхлительный орган в виде прямой стойки с долотом должен перемещаться в почве выше критической глубины. При рыхлении на критической глубине и ниже недостаточно усилия для образования поверхностного сдвига или отрыва частицы почвы. Почва при этом уплотняется, перемещаясь в стороны или вниз [7]. Согласно рекомендациям источников [4; 7], оптимальным является угол резания $\alpha = 15...20^\circ$. Для среднесуглинистых почв ширина рыхлительного органа рекомендуется $b_0 = 0,08$ м.

Г.В. Плющев [8] установил зависимость между шириной рыхлительного органа и критической глубиной резания h_k

$$h_k = \frac{b_0 \left[0,1 \frac{\rho}{\sigma_{om}} (1 + 3tg\psi) \right] - 2,5}{4,2 + ctg\alpha},$$

где b_0 – ширина рыхлительного органа, м; ρ – сопротивление почвы смятию, $\rho = (1...3)$ МПа;

ψ – угол боковой деформации почвы, град;
 $\sigma_{от}$ – временное сопротивление почвы отрыву, МПа;

α – угол резания, град., $\alpha = 20^\circ$ [7];

Для среднего суглинка при значениях угла трения $\varphi = 26^\circ$ (0,35 рад.) и угла входа рыхлительного органа в почву $\alpha = 20^\circ$ (0,46 рад.) угол боковой деформации почвы

$$\psi = \frac{\pi}{2} - (\varphi + \alpha) = 0,76 \text{ рад или } \psi = 38^\circ.$$

Критическое значение глубины хода рыхлительного органа, при котором обеспечивается рыхление почвы

$$h_k = \frac{0,08[0,1 \cdot 180 \cdot (1 + 3 \cdot 0,94)] - 2,5}{4,2 + 2,8} = 0,43 \text{ м.}$$

Заглублять рыхлительный орган на глубину более чем на 0,43 м нецелесообразно, так как не будет обеспечиваться разрушение подкапываемого пласта почвы.

Зона деформированной полосы почвы в поперечной плоскости ограничивается критической глубиной резания (рис. 2).

Зона деформации почвы (в поперечном направлении) на расстоянии l от носка рыхлительного органа (рис. 2)

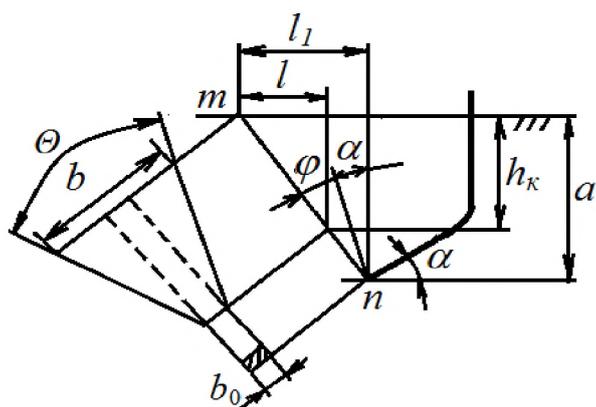


Рисунок 2. Схема деформации почвы рыхлительным органом: a – глубина хода рыхлительного органа, м; b – зона деформации почвы в поперечном сечении пласта, м; l_1 зона деформации почвы, м; l – зона деформации почвы при критической глубине резания, м; Θ – угол, характеризующий деформацию почвы в плоскости скалывания m - n , град.; φ – угол трения почвы по стали, град.; α – угол входа рыхлительного органа в почву, град

$$b = b_0 + \frac{2a \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\Theta}{2}\right)}{\cos(\alpha + \varphi)},$$

где b – зона деформации почвы в горизонтальной плоскости, м;

a – глубина обработки, м;

θ – угол, характеризующий деформацию почвы, град;

α – угол входа рыхлительного органа в почву, град;

φ – угол трения, град.

При $a = 0,30$ м

$$b = 0,08 + \frac{2 \cdot 0,30 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{50^\circ}{2}\right)}{\cos(20^\circ + 26^\circ)} = 0,48 \text{ м.}$$

При $a = 0,40$ м

$$b = 0,08 + \frac{2 \cdot 0,40 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{50^\circ}{2}\right)}{\cos(20^\circ + 26^\circ)} = 0,62 \text{ м.}$$

Согласно требованиям [6], при расстановке рыхлительных органов на раме должно соблюдаться условие:

$$h_r < h_k,$$

где h_r – глубина рыхления с образованием гребешков.

В этом случае зоны распространения деформации почвы (рис. 3) с боковых сторон в процессе рыхления пересекаются в обрабатываемом слое. В результате в верхнем слое до некоторой глубины h_d происходит сплошное рыхление почвы по всей ширине захвата, а ниже, в слое толщиной h_r , происходит

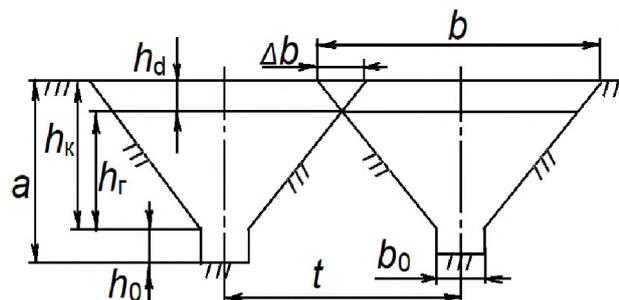


Рисунок 3. Схема поперечного сечения почвы при обработке рыхлительным органом: a – глубина хода рыхлительного органа, м; b – зона деформации почвы в поперечном сечении пласта, м; Δb – перекрытие зон деформации, м; h_d – глубина сплошного рыхления, м; h_r – глубина рыхления с образованием гребешков, м; t – расстояние между рыхлительными органами, м; h_k – критическая глубина обработки, м; b_0 – ширина рыхлительного органа, м; h_0 – глубина блокировочного резания, м

рыхление с образованием гребешков, еще ниже в слое толщиной h_0 – образование щелей (без отделения стружки).

Рыхлительные органы должны располагаться так, чтобы исключалось заклинивание почвы между ними и забивание растительными остатками, а число органов, работающих в сплошной среде, должно быть как можно меньше, для получения минимальных затрат энергии на выполнение технологического процесса.

Для оценки эффективности предлагаемых решений, в почвенном канале Белорусского государственного аграрного технического университета (рис. 4)



Рисунок 4. Лабораторные исследования рыхлительного органа в почвенном канале БГАТУ: 1 – рыхлительный орган; 2 – тележка; 3 – измерительный комплекс PC Messlektronik «Spider 8»; 4 – ноутбук

проводились лабораторные исследования по подтверждению теоретических предположений. Изучалось влияние глубины хода рыхлительного органа на ширину и площадь рыхления, высоту гребней и тяговое сопротивление.

Перед проведением лабораторных исследований почва уплотнялась и выравнивалась катком. Исследования проводились на среднесуглинистой почве при

влажности 19,6...20,5 % и твердости 0,74 и 0,93 МПа.

Испытывался макетный образец рыхлительного органа (рис. 5а) с прямой стойкой и долотом, установленным под углом к горизонту $\alpha = 20^\circ$. Глубина обработки почвы устанавливалась от 0,20 до 0,40 м (рис. 5) с шагом $\Delta a = 0,05$ м и замерялась в пяти точках через 3 метра при средней скорости перемещения $V = 0,62$ м/с.

Анализ данных, приведенных в таблице 1, показывает, что ширина зоны рыхления, определенная экспериментально (рис. 5б), больше, чем теоретическая. Увеличение зоны рыхления связано с образованием гребнистости почвы (рис. 6) и возрастает с увеличением глубины рыхления.

Тяговое сопротивление рыхлительного органа определялось с использованием тензозвена (рис. 7а), с регистрацией измерительным комплексом PC Messlektronik «Spider 8». Зависимость тягового сопротивления рыхлительного органа от глубины рыхления приведена на графике (рис. 7б), из которого следует, что с увеличением глубины тяговое сопротивление возрастает.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований рыхлительного органа в почвенном канале БГАТУ установлено, что для среднего суглинка (при $\varphi = 26^\circ$ и $\alpha = 20^\circ$) критическое значение глубины хода рыхлительного органа не должно превышать 0,43 м.

Рыхлительный орган шириной $b_0 = 0,08$ м при движении на глубине до $a = 0,40$ м обеспечивает рых-



а



б

Рисунок 5. Рыхлительный орган: а – общий вид; б – в почвенном канале

Таблица 1. Показатели работы экспериментального рыхлительного органа

Глубина рыхления, м	Ширина зоны рыхления, м		Высота гребней, м	Площадь рыхления, м ²
	теоретическая	экспериментальная		
0,20	0,35	0,38	0,022	0,055
0,25	0,42	0,49	0,027	0,071
0,30	0,48	0,53	0,038	0,104
0,35	0,56	0,64	0,411	0,102
0,40	0,62	0,71	0,440	0,144

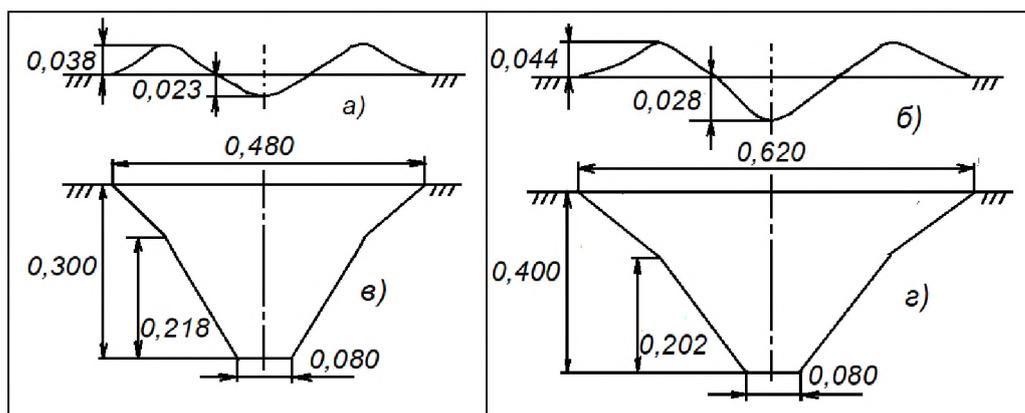
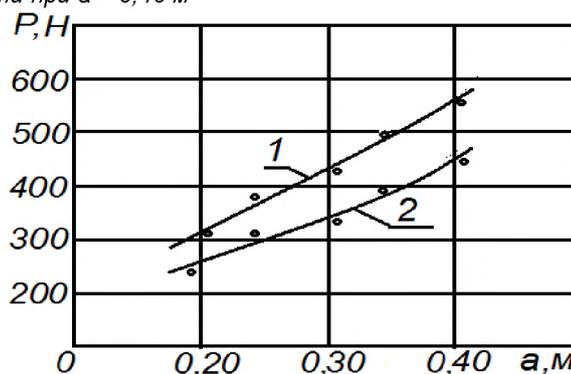


Рисунок 6. Профили рыхления почвы рыхлительным органом: а – гребнистость при $a = 0,30$ м; б – гребнистость при $a = 0,40$ м; в – зона рыхления в поперечной плоскости при $a = 0,30$ м; г – зона рыхления в поперечной плоскости при $a = 0,40$ м



а)

б)

Рисунок 7. Тензозвено (а); сопротивление почвы от глубины обработки (б); 1 – при твердости 0,93 МПа; 2 – при твердости 0,74 МПа

ление почвенного пласта на площади $S = 0,144$ м² при тяговом сопротивлении $P = 552$ Н.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руденко, Н.Е. Сеялки для посева семян пропашных культур / Н.Е. Руденко. – Ставрополь: изд-во «Агрбус», 2005. – 84 с.
2. Ксенович, И.П. Ходовая система – почва – урожай / И.П. Ксенович. – М.: Агропромиздат, 1985. – 215 с.
3. Токушев, Ж.Е. Теория и расчет орудий для глубокого рыхления почв / Ж.Е. Токушев. – М.: ИНФА-М, 2003. – 234 с.
4. Труфанов, В.В. Глубокое чизелевание почвы / В.В. Труфанов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 140 с.
5. Бурченко, П.Н. Перспективные направления развития земледельческой механики и механизации обработки почвы / П.Н. Бурченко // Технологическое и техническое обеспечение производства продукции

растениеводства и животноводства: сборник науч. трудов ВИМа. – М.: ВИМ, 2002. – Т. 144. – С. 134-139.

6. Драч, В.М. Агротехнические аспекты развития почвозащитных технологий: монография / В.М. Драч, И.Б. Борисенко, Ю.Н. Плескачев; под ред. В.М. Кряжкова. – Волгоград: Перемена, 2004. – 143 с.

7. Токушев, Ж.Е. Рабочие органы и макетные образцы глубокорыхлителей: результаты испытаний / Ж.Е. Токушев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 12. – С. 25-28.

8. Плюшев, Г.В. Исследование процесса глубокого рыхления почвы и выбор оптимальных параметров рабочего органа пропашного культиватора-глубокорыхлителя: автореф... дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – М.: ВИМ, 1974. – 23 с.

9. Депрессия урожая сельскохозяйственных культур при уплотнении почвы и приемы ее снижения / А.П. Пупонин [и др.] // Сборник науч. трудов ВИМа. – М.: ВИМ. – 1988. – Т. 118. – С. 29-34.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.05.2023