

УДК 502/504:631.311.5

Ю. П. ЛЕОНТЬЕВ, А. А. МАКАРОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЛИОРАТИВНОГО РЫХЛИТЕЛЯ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС

Представлены результаты экспериментальных исследований моделей рабочих органов глубокорыхлителей, позволившие выявить особенности деформации грунта при рыхлении и основные силовые зависимости.

Параметры рабочего органа, характер деформации грунта, технологические и энергетические показатели, агрегаты грунта.

There are given results of test trials of chisel plows operating elements which allowed revealing specific features of soil deformation under ripping and basic power dependencies.

Parameters of the operating element, character of soil deformation, technological and energetic indicators, soil aggregates.

В Нечерноземной зоне Российской Федерации глубокое безотвальное рыхление применяется как необходимое мелиоративное мероприятие. Почвы с повышенной плотностью требуют больших энергозатрат на обработку. Высокая плотность (более 1,4 г/см³) значительно затрудняет проникновение корневой системы растений вглубь и ограничивает для растений доступность элементов минерального и водного питания, в результате чего урожайность снижается на 20...40 %. Рыхление уплотненных подпахотных нижних слоев улучшает их водопроницаемость, воздушный, водный и тепловой режимы почвы, способствует увеличению мощности корнеобитаемого слоя, накоплению почвенной влаги, активизации биологических процессов, предотвращает водную и ветровую эрозию, заболачивание орошаемых земель и тяжелых почв [1].

Для глубокого рыхления разработаны различные рабочие органы пассивного и активного действия. Объемные рыхлители пассивного действия типа РГ-0,8 наиболее просты по конструкции, обладают большей производительностью и сравнительно малой энергоемкостью [2]. Анализ работы этих рыхлителей показал, что у них имеются существенные недостатки – они требуют больших тяговых усилий, неравномерно рыхлят пласт по глубине и образуют на поверхности довольно крупные агрегаты почвы, требующие дополнительного измельчения.

Вопросы влияния процесса рыхления на улучшение водно-физических свойств,

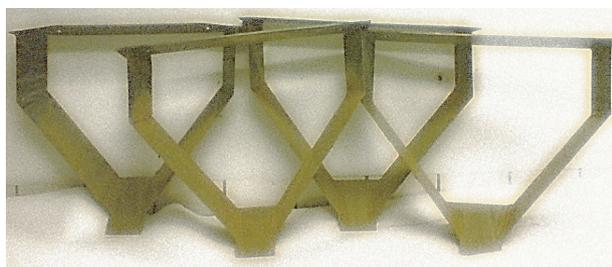
структуры почвы, урожайность культур достаточно изучены. Однако научно обоснованных рекомендаций для практических инженерных расчетов по определению тяговых усилий и методики выбора рациональных параметров данного типа рыхлителей в настоящее время недостаточно.

Отличия условий взаимодействия рабочего органа объемного рыхлителя с грунтом от условий взаимодействия рабочих органов землеройных машин заключаются в следующем: резание – блокированное; плотность грунта с увеличением глубины обработки – возрастающая; требования к рыхлению – заданные. Более подробно изучены процессы резания ножевыми рабочими органами и режущими периметрами экскаваторных ковшей, рабочими органами сельскохозяйственных машин. Как показали экспериментальные исследования усилий резания объемным рыхлителем, выполненные авторами, полученные значения отличаются от расчетных, рекомендуемых для профилей экскаваторных ковшей [3]. Различие результатов более заметно при увеличении глубины рыхления. Это можно объяснить тем, что с увеличением глубины рыхления меняется характер деформации грунта лобовой поверхностью рабочего органа. В верхней зоне, непосредственно примыкающей к дневной поверхности, рабочий орган взаимодействует с грунтом уже нарушенного сложения, где происходит дробление, сдвиг и выпирание в сторону поверхности массива грунта. Начиная с определенной глубины грунт подвергается периодическому сжатию

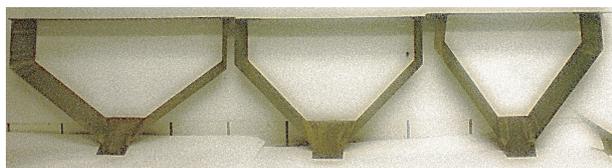
с последующим отрывом от массива. Влияние открытой поверхности массива на напряженное состояние грунта по мере увеличения глубины постепенно уменьшается.

Исследования глубокорыхлителей с V-образными боковыми стойками, выполненные В. С. Казаковым, были направлены на изучение тяговых усилий [4]. Очевидно, что такие параметры рыхлителя, как углы резания лемеха и боковых стоек, а также величина угла между боковыми стойками, определенным образом влияют на тяговое усилие, величину и характер деформации грунта, перемещение некоторых объемов его вперед и вверх. На перемещение и относительное перемешивание слоев грунта затрачивается дополнительная энергия. Влияние основных параметров рабочего органа рыхлителя и его конструкции на технологический процесс в настоящее время недостаточно изучено.

С целью исследования влияния параметров рабочего органа мелиоративного глубокорыхлителя на энергетические и технологические показатели процесса рыхления авторы выполнили комплекс экспериментальных исследований моделей рабочих органов. В качестве исходного прототипа был принят рыхлитель с V-образным положением рыхлящих стоек типа РГ-0,8 как наиболее простой в изготовлении, спроектированы и изготовлены модели рабочих органов рыхлителей с разными параметрами (некоторые из них приведены на рис. 1). Масштаб моделей 1:4 был определен на основе физического моделирования и условий проведения экспериментов.



а



б

Рис. 1. Модели рабочих органов глубокорыхлителей объемного типа

Основными параметрами моделей рыхлителя выбрали угол резания лемеха α , угол между боковыми стойками γ , угол резания стоек β , ширину лемеха (рис. 2). В процессе исследований использовались модели с углом резания лемеха α 35°, углом γ 70...110°, углом β 13...24°. Ширина лемеха составляла 75 мм. Угол резания α по результатам ранее проведенных исследований авторов был принят 35° [5].

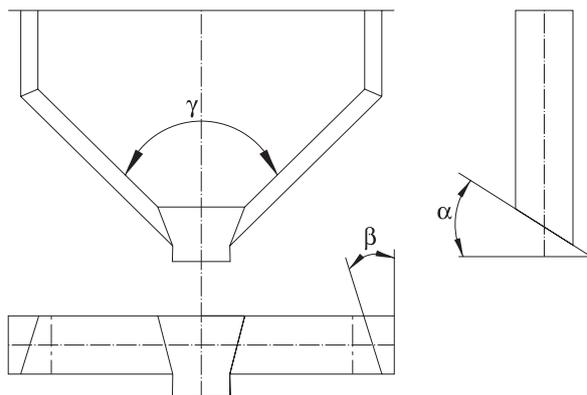


Рис. 2. Исследуемые параметры рабочего органа объемного глубокорыхлителя

Исследования моделей рабочих органов проводили на грунтовом канале с суглинистым грунтом плотностью 1,75 г/см³ и влажностью 10...13 %. Глубина рыхления составляла 18 см, что соответствовало глубине в натуре 72 см. При исследовании измеряли тяговое усилие тензометрическим методом, используя датчики типа Д-150 и регистрируя результаты на компьютере, измеряли также рабочую скорость. Каждый опыт повторялся не менее 5 раз.

В процессе исследований наблюдали характер деформации и разрушения грунта. Оценивали и измеряли параметры разрыхленного грунта: высоту подъема призмы на входе в рабочий орган (между боковыми стойками) h_1 , высоту рыхлого грунта над исходной поверхностью h_2 , характер и величину деформации грунта перед рабочим органом $L_{\text{деф}}$, перемещение верхнего слоя грунта в процессе рыхления по ходу движения $L_{\text{перем}}$, поперечные размеры почвенных агрегатов (рис. 3). Оценивали также размеры комьев и плотность грунта на разной глубине рыхления h .

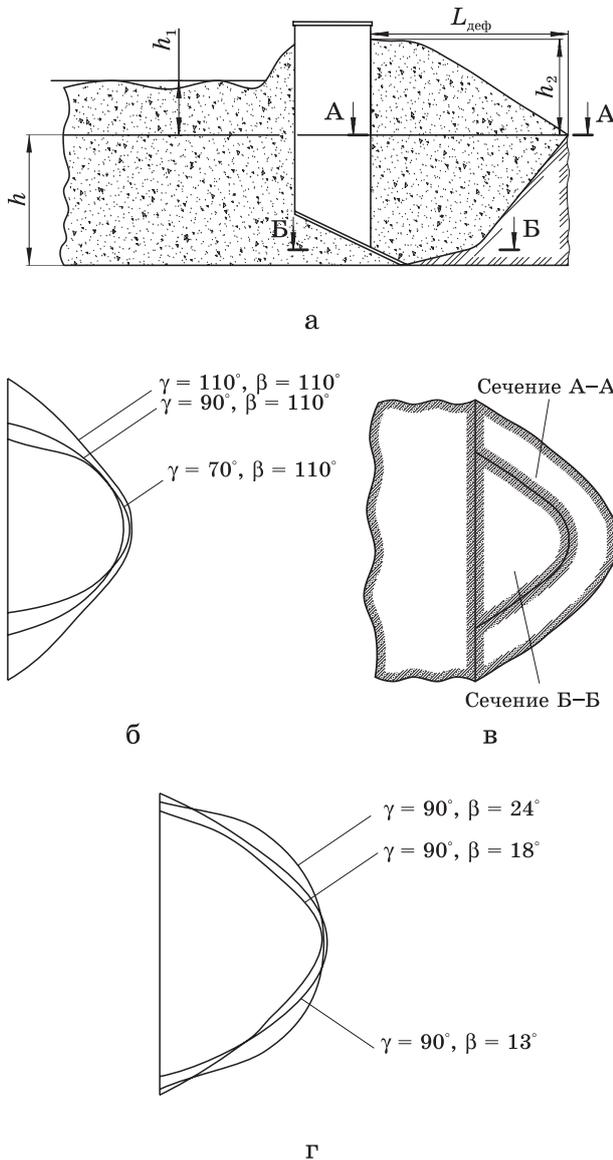


Рис. 3. Характер деформации пласта грунта рабочим органом объемного рыхлителя: а – характер деформации грунта в сечении вертикальной продольной плоскостью области рыхления; б – кривые, ограничивающие зону деформации грунта для рыхлителей с углами установки боковых стоек $70^\circ, 90^\circ, 110^\circ$; в – сечения горизонтальными плоскостями зоны рыхления; г – характер кривых, ограничивающих зону деформации грунта при углах резания боковых стоек $13^\circ, 18^\circ, 24^\circ$ для моделей рабочих органов с углом $\gamma = 90^\circ$

Наблюдения за процессом рыхления позволили установить характерные особенности деформации и разрушения грунта. При движении рабочего органа перед ним происходит разрушение грунта, и подъем его над исходной поверхностью образует фрагмент конуса определенного объема. Разрушение массива грунта

сопровождается появлением на поверхности трещин, подъемом его в форме фрагмента конуса, что приводит к крошению грунта на агрегаты различного размера. Нижняя плоскость фрагмента на уровне исходной поверхности ограничена кривой, по виду близкой к параболе. Зона деформации распространяется перед рабочим органом на длину $L_{\text{деф}}$, которая примерно соответствует $0,9 \dots 1,1$ глубины рыхления. В основании сегмента конуса, при входе грунта между боковыми стойками, грунт поднимается за счет дополнительного сжатия на высоту h_1 , равную примерно $0,75$ от глубины рыхления. Грунт, после прохождения между боковыми стойками, оказавшись не сжатым с двух сторон, дополнительно разрушается, опускаясь к исходной поверхности и образуя несколько выпуклую разрыхленную полосу высотой h_2 , равную примерно $0,3$ глубины рыхления. Сечение вертикальной продольной плоскостью зоны деформации грунта показало, что разрушение массива начинается от режущей кромки лемеха, далее распространяется вперед с небольшим подъемом вверх на длину выступающей за боковые стойки части лемеха, а затем более интенсивно по кривой линии поднимается вверх к дневной поверхности грунта, в конечном итоге соединяясь с параболической кривой, ограничивающей сегмент конуса грунта над дневной поверхностью.

Тяговое усилие по результатам измерений в разных опытах составляло от $0,71$ до $1,32$ кН. Скорость движения тележки с рабочим органом была практически одинаковой и равной $0,172$ м/с. Средние значения результатов измерений приведены в табл. 1.

Анализ полученных результатов показал, что наименьшие тяговые усилия были получены для модели, имеющей углы $\beta = 13^\circ$ и $\gamma = 90^\circ$.

Наибольший подъем грунта после рыхления h_2 наблюдался для модели с углами $\beta = 24^\circ$ и $\gamma = 90^\circ$. Дальность распространения деформации перед рабочим органом была меньше, чем у моделей с углами $\gamma = 70^\circ$ и 110° . Перемещение грунта рабочим органом в продольном направлении $L_{\text{перем}}$ также была минимальной. Данные экспериментов позволили оценить коэффициенты удельного сопротивления рыхлению как отношение тягового

Технологические и энергетические параметры процесса рыхления, полученные в результате статистической обработки данных

Параметры углов рабочего органа	Измеряемые параметры деформируемого слоя грунта					
	h_1 , см	$L_{\text{деф}}$, см	h_2 , см	$L_{\text{перем}}$, см	$F_{\text{тяг. усилие}}$, кН	$K_{\text{уд.}}$ кН/м ²
70; 13	15	21	4	До 25	0,83	18
70; 18	16	23	5,2	28	0,84	23,4
70; 24	18	23	5,6	32	0,88	24,45
90; 13	13	18	4,4	13	0,71	15,43
90; 18	15	19	5,3	14	0,75	16,3
90; 24	15	19,5	5,4	18	0,77	16,74
110; 13	16	20	2,9	25	1,05	17,8
110; 18	16,5	22,2	3,4	30	1,2	20,4
110; 24	17,3	23	3,8	35	1,32	22,4

усилия к площади поперечного сечения рабочего органа, погруженного в грунт на глубину рыхления h , т. е. $K_{\text{уд}} = F_{\text{т}}/A$ кН/м². По результатам расчетов наименьшее значение $K_{\text{уд}}$ было получено для моделей с углом $\gamma = 90^\circ$, которое составляло от 15,43 до 16,74 кН/м², при углах резания стоек $\beta = 13^\circ; 18^\circ; 24^\circ$. С увеличением угла резания стоек β наблюдалось незначительное увеличение тягового усилия и коэффициента удельного сопротивления рыхлению.

Для моделей с углом $\gamma = 70^\circ$ тяговое усилие составляло от 0,83 до 0,88 кН. Увеличение усилия можно объяснить более интенсивным сжатием грунта боковыми стойками, значительным подъемом его между стойками (высота h_1) и силами трения. Удельное сопротивление рыхления $K_{\text{уд}}$ для этой модели по средним значениям получилось больше в 1,36 раза, чем для первой модели (с $\gamma = 90^\circ$). Высота разрыхленной полосы h_2 в среднем сечении больше в 1,1 раза,

чем у первой модели, а форма поверхности наиболее выпуклая. Дальность распространения деформации перед рабочим органом $L_{\text{деф}}$ также была больше в 1,2 раза, чем для первой модели. Перенос грунта вперед рабочим органом $L_{\text{перем}}$ был больше в 1,9 раза по сравнению с первой моделью.

При исследовании моделей с углом $\gamma = 110^\circ$ были получены наибольшие значения тягового усилия, которые составляли при разных углах резания стоек от 1,05 до 1,32 кН. Значительное увеличение тягового усилия можно объяснить увеличением площади поперечного сечения зоны рыхления. Высота разрыхленного слоя после прохода h_2 была меньше в 1,5 раза, чем для первой модели. В середине разрыхленного слоя наблюдалась впадина, примерно равная половине слоя h_2 (рис. 4). Эту особенность можно объяснить тем, что боковые стойки находились на значительном расстоянии, особенно в верхней части рабочего органа.

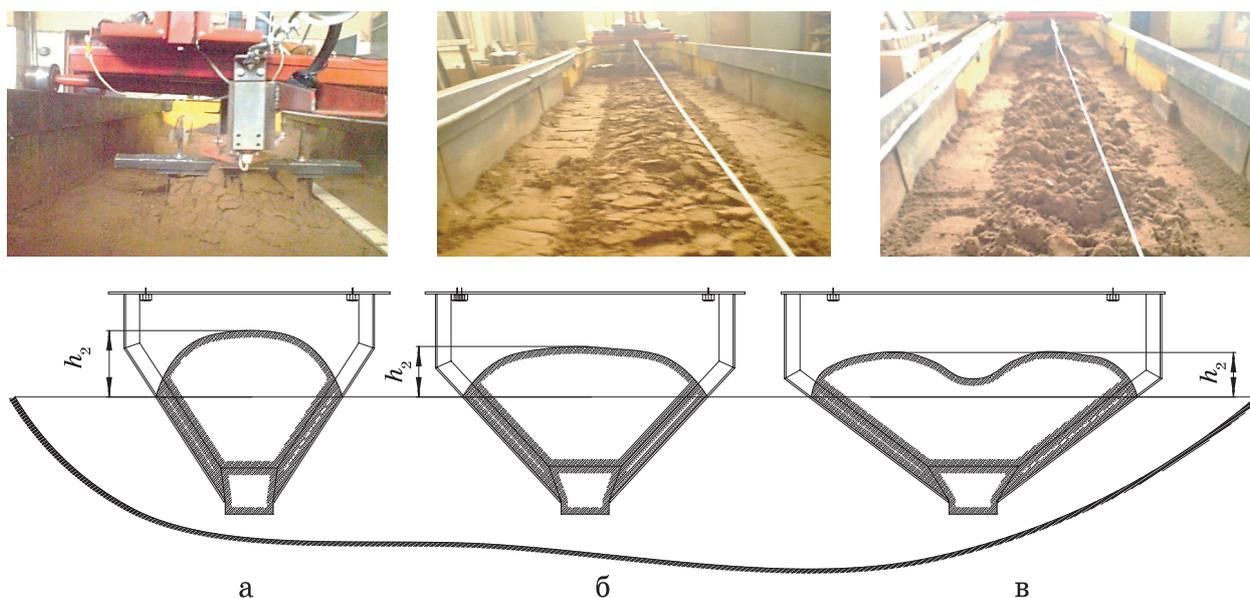


Рис. 4. Подъем обработанного грунта над исходной поверхностью рабочим органом глубокорыхлителя: а - $\gamma = 70^\circ$; б - $\gamma = 90^\circ$; в - $\gamma = 110^\circ$

Они осуществляли рыхление независимо одна от другой, без взаимного влияния.

Распространение деформации перед рабочим органом $L_{\text{деф}}$, а также перемещение грунта вперед $L_{\text{пер}}$ наблюдалось примерно таким, как у модели с углом $\gamma = 70^\circ$. Коэффициент удельного сопротивления рыхлению $K_{\text{уд}}$ имел промежуточные значения между первой и второй моделью, и значение его было 17,8...22,4 кН/м² при различных углах резания боковых стоек. Коэффициент удельного сопротивления рыхлению $K_{\text{уд}}$ для этой модели увеличился в 1,23 раза по сравнению с $K_{\text{уд}}$ для базовой модели.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что наиболее рациональные параметры рабочего органа по энергетическим и технологическим показателям следующие: угол резания лемеха $\alpha = 35^\circ$; угол резания боковых стоек $\beta = 15...18^\circ$; угол между боковыми стойками $\gamma = 90^\circ$.

Для оценки качества рыхления в процессе экспериментов измерялись средние размеры агрегатов разрыхленного грунта. На полосе рыхления длиной 1 м число измерений составляло от 220 до 230.

Для статистической оценки распределения размеров агрегатов грунта были построены гистограммы, сравнительный анализ которых показал, что наиболее равномерное распределение по крупности фракций, смещенное в область меньших поперечных размеров, наблюдалось при работе модели с углами $\gamma = 90^\circ$ и $\beta = 13$ и 18° .

Математическое ожидание, дисперсия и коэффициент вариации размеров агрегатов разрыхленного грунта для моделей рабочих органов приведены в табл. 2.

Таблица 2
Характеристики размеров агрегатов грунта после обработки моделями рабочих органов рыхлителей

Параметры рабочего органа рыхлителя	Статистический показатель		
	Математическое ожидание m_x , см	Дисперсия D_x , см ²	Коэффициент вариации v
$\gamma = 70^\circ$; $\beta = 17^\circ$	4,4	3,52	0,43
$\gamma = 90^\circ$; $\beta = 17^\circ$	3,2	3,9	0,61
$\gamma = 110^\circ$; $\beta = 17^\circ$	4,0	5,54	0,59

Выводы

Экспериментальные исследования моделей рабочего органа глубокорыхлителя с V-образными боковыми стойками позволили изучить и получить численные оценки деформации грунта при рыхлении.

Исследование моделей рабочих органов рыхлителей с различными параметрами позволило рекомендовать рациональные значения углов резания лемеха $\alpha = 35^\circ$, боковых стоек $\beta = 15...18^\circ$, между боковыми стойками $\gamma = 90^\circ$.

Полученные значения величины деформации грунта и перемещения его перед рабочим органом могут быть использованы для оценки энергетических затрат при рыхлении, а также для основ расчета тягового усилия.

1. Черненко В. Я., Брусиловский Ш. И. Глубокое рыхление осушаемых тяжелых почв: научное издание. – М.: Колос 1983. – 63 с.

2. Кизяев Б. М., Маммаев З. М. Культуртехнические мелиорации: технологии и машины. – М.: Изд-во «Ассоциация ЭкоСт», 2003. – 399 с.

3. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.

4. Казаков В. С. Технология и механизация глубокого мелиоративного рыхления почв: Обзорная инф. ЦБНТИ Минводхоза СССР: – М.: ЦБНТИ, 1981. – 31 с.

5. Леонтьев Ю. П., Макаров А. А. Обоснование параметров рабочего органа объемного мелиоративного рыхлителя по результатам экспериментальных исследований его физических моделей: Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2010. – Т. 4. – С. 120–128.

Материал поступил в редакцию 14.02.13.

Леонтьев Юрий Петрович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Мелиоративные и строительные машины»

Тел. 8 (499) 976-45-13

Макаров Александр Алексеевич, аспирант

Тел. 8 (499) 900-60-26,8 (909) 972-69-41