

УДК 502/504:631.311.5

Ю. П. ЛЕОНТЬЕВ, А. А. МАКАРОВ

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ БОКОВЫХ СТОЕК

Сравнительные экспериментальные исследования моделей рабочих органов мелиоративных глубокорыхлителей с различной формой режущего профиля позволили установить влияние конструкции боковых стоек на энергетические и качественные показатели рыхления почвы.

Форма боковых стоек, коэффициент удельного сопротивления рыхлению, однородность разрыхления, средние размеры почвенных агрегатов.

Comparative experimental researches of operating parts models of reclamation chisel plows with a different form of the cutting profile made it possible to establish the design influence of side plates on energetic and qualitative indicators of soil loosening.

Forms of side plates, tillage specific resistance coefficient, homogeneity of loosening, average sizes of soil aggregates.

Рядом исследователей установлено, что ходовое оборудование сельскохозяйственных тракторов и машин воздействует на 20...60 % обрабатываемого поля, некоторые участки подвергаются восьми-девятикратному воздействию, что приводит к увеличению плотности почвы в 1,3–1,8 раза, при этом сопротивление при обработке почвы возрастает в 1,3–1,9 раза [1–3]. Установлено, что каждой сельскохозяйственной культуре должно соответствовать определенное значение плотности почвы. Отклонение от оптимальной плотности на 0,1...0,3 г/см³ приводит к снижению урожая на 20...40 % [4, 5]. Известно, что глубокое рыхление способствует улучшению физических свойств почвы и позволяет увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. При проведении глубокого рыхления хотя бы один раз в три года урожайность повышается на 20...30 % [6]. Наибольшее распространение получили рыхлители пассивного действия – более простые, надежные, не требующие сложного оборудования при изготовлении. Основным недостатком этого оборудования является большое тяговое сопротивление. Поэтому совершенствование конструкции таких рабочих органов с целью снижения тягового сопротивления – актуальная проблема. Наиболее изучен процесс рыхления чизельными плугами на глубину до 0,45 м. Результаты таких исследований изложены в научных публикациях Ж. Е. Токушева,

А. С. Пугрина, В. И. Ветохина, В. О. Татарникова и других авторов. Разуплотнение слоев свыше 45 см недостаточно изучено. Как отмечает С. А. Вериго, наиболее активная часть корневой системы большинства сельскохозяйственных культур размещается в слое до 1 м. У некоторых культур, например люцерны, корни достигают глубины 2 м [7]. Необходимость изучения процессов рыхления на глубину до 0,8...0,9 м особенно актуальна для почв Нечерноземной зоны. Как показали результаты обследования полей в Тверской области, плотность почвы на глубине от 0,6 до 0,8 м составляет 1,8...1,95 г/см³ [8]. В. С. Казаковым были предложены, изготовлены и испытаны глубокорыхлители объемного типа с V-образным расположением боковых стоек и глубиной рыхления 0,8...1,2 м (РГ-0,8, РГ-1,2) [9]. Рыхлители этого типа отличаются от стоечных наличием режущего периметра, состоящего из лемеха и боковых стоек, установленных с определенными углами резания. Режущие элементы за счет углов установки при рыхлении создают силовое воздействие сложного характера на объем почвы внутри режущего периметра. Результатов исследований влияния параметров рабочего органа и конструкции боковых стоек на энергетические и качественные показатели рыхления до настоящего времени практически нет. Рекомендаций, которые можно использовать в практических целях, в частности для проектирования и

совершенствования рыхлителей такого типа, в публикациях недостаточно.

Опубликован ряд идей и конструктивных предложений по устройству мелiorативных рыхлителей. Однако не все предлагаемые виды рыхлителей достаточно изучены: нет методики получения общей оценки их работоспособности, не подтверждены исследованиями достоинства и недостатки каждого.

По результатам обзора и анализа патентов и авторских свидетельств выявлено значительное количество технических решений по конструкции рабочих органов рыхлителей. Большая часть рыхлителей объемного типа имеет такие общие элементы, как лемех, боковые стойки, рама. Отличие состоит в основном в некоторых особенностях конструкции этих элементов. На практике в реальных конструкциях нашло применение незначительное число таких идей. Рабочие органы с различной формой боковых стоек соединены между собой в нижней части лемехом, это их общий признак. Такие рыхлители просты по конструкции и не требуют больших затрат при изготовлении. Рабочий орган с V-образным расположением боковых стоек был изготовлен в нескольких вариантах как навесное рабочее оборудование к тракторам и был испытан в полевых условиях [9–10]. Рабочие органы с U-образными боковыми стойками в форме кольца и других типов были изготовлены в виде моделей, исследования которых проводились с целью оценки тяговых усилий, без учета влияния основных параметров на процесс рыхления [11, 12].

С целью сравнительной оценки и более глубокого изучения процесса рыхления рабочими органами различной конструкции авторами статьи были проведены экспериментальные исследования трех типов рыхлителей, отличающихся формой боковых стоек. На рис. 1 приведены модели рабочих органов. Для сравнительной оценки, в качестве базового рабочего органа был выбран рыхлитель с V-образным расположением боковых стоек – наиболее известный и реализованный в виде практической конструкции. Параметры этого рыхлителя – углы резания лемеха α и боковых стоек β , угол между боковыми стойками γ – были выбраны на основании ранее выполненных авторами экспериментов [13]. При значениях $\alpha = 35^\circ$, $\beta = 13^\circ$, $\gamma = 90^\circ$ наблюдались наимень-

шие значения тяговых усилий, удельной энергоемкости, а также вполне допустимая однородность агрегатов разрыхленного грунта на поверхности и на всей глубине рыхления. Модель с U-образным режущим периметром выполнена в виде полуокружности в нижней части, и вертикальными боковыми стойками. Третья модель, с криволинейными боковыми стойками, являющимися частями параболы, соединенными в нижней части с лемехом, по ширине рыхления в верхней части приближена к модели с V-образным расположением боковых стоек. Углы резания лемеха и боковых стоек у всех трех моделей одинаковые. Масштабный коэффициент по теории приближенного физического моделирования 4.

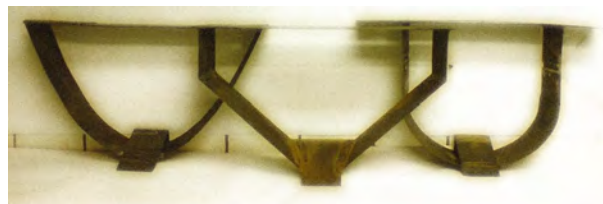


Рис. 1. Модели рабочих органов глубокорыхлителей объемного типа с различной формой боковых стоек

Исследования моделей рабочих органов проводили на грунтовом канале с суглинистым грунтом плотностью $1,75 \text{ г/см}^3$ и влажностью 10...13 %. Глубина рыхления h составляла 18 см, что соответствовало глубине в натуре 72 см.

При исследовании тензометрическим методом измеряли тяговое усилие, результаты регистрировали на жесткий диск компьютера, измеряли рабочую скорость. Повторность каждого опыта была не менее 5.

В процессе исследований наблюдались деформации и разрушение 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 после прохода рабочего органа h_2 , характер и величину распространения 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. 2). Оценивали размеры комьев и плотность грунта на разной глубине рыхления h .

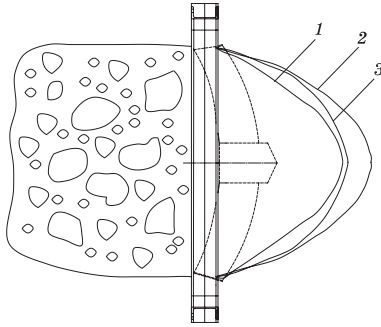


Рис. 2. Характер кривых, ограничивающих зону деформации грунта в плане для моделей рабочих органов: 1 – V-образный; 2 – параболический; 3 – U-образный

В результате наблюдения процесса рыхления установлено, что перед рабочими органами всех трех типов образуется выпуклая зона деформации грунта, распространяющаяся перед моделью на величину $L_{\text{деф}}$, границы которой в плане очерчены плавной кривой.

Замечено, что форма кривой, ограничивающей зону деформации перед рабочим органом, в некоторой степени напоминает очертание боковых стоек. Например, у U-образного рабочего органа она очерчена кривой, близкой к полукругу-

ности, у V-образного похожа на трапецию с незначительно искривленным основанием, у параболического – напоминает параболу (см. рис. 2). Распространение деформации перед рабочим органом $L_{\text{деф}}$ составляло 0,8...0,9 от глубины рыхления. Грунт при прохождении между боковыми стойками поднимался вверх на высоту h_1 , равную 0,76...1,0 от глубины рыхления, после рыхления грунт опускался на свободную поверхность, образуя разрыхленную полосу высотой над исходной поверхностью h_2 , которая составляла 0,3...0,4 от глубины рыхления.

Сравнительный анализ величин, характеризующих процесс рыхления разными моделями, позволил сделать количественную оценку степени воздействия каждого рабочего органа на грунт.

Значения параметров, характеризующих процесс деформации грунта перед рабочим органом и степень разрыхления, приведены в табл. 1. Наибольший подъем грунта между боковыми стойками отмечен в процессе рыхления U-образным рыхлителем ($h_1 = 17$ см), что равно глубине рыхления.

Таблица 1

Параметры, характеризующие процесс рыхления почвы

Тип рабочего органа	h_1 , см	h_2 , см	$K_p = V_p/V_n$	$L_{\text{деф}}$, см	$L_{\text{перем}}$, см
V-образный	13	4,3	1,38	18,0	21,5
U-образный	17	4,8	1,42	18,5	28,5
Параболический	15	4,6	1,4	22,0	23,0

Это можно объяснить вертикальным положением боковых стоек, которые ограничивают зону выпирания грунта по ширине, что приводит к более интенсивному сжатию пласта грунта. Подъем грунта между боковыми стойками у параболического рабочего органа в 1, 16 раз больше, чем у V-образного, но при этом в 1, 13 раз меньше, чем у U-образного.

Длина распространения деформации перед рабочим органом $L_{\text{деф}}$ примерно одинакова для U-образного и V-образного рабочих органов. Для рыхлителя с параболической формой боковых стоек $L_{\text{деф}}$ распространяется на большую величину, примерно в 1,22 раза больше.

Наибольший коэффициент разрыхления K_p был получен для рыхлителя с U-образным режущим профилем, величина которого составила 1,42. Для параболического рыхлителя значение K_p имело промежуточное значение ($K_p = 1,4$), для

V-образного наименьшее значение ($K_p = 1,38$).

Перемещение частиц верхнего слоя грунта $L_{\text{перем}}$ было наибольшим у U-образного рабочего органа ($L_{\text{перем}} = 28,5$ см), меньше у V-образного рабочего органа ($L_{\text{перем}} = 21,5$ см), промежуточные значения, близкие к V-образному рабочему органу, у параболического ($L_{\text{перем}} = 23$ см).

Анализ показал, что наибольшие значения h_1 , $L_{\text{деф}}$, $L_{\text{перем}}$, K_p – величин, характеризующих процесс рыхления, были получены для рабочего органа с полукруглой формой боковых стоек, средние значения – для рыхлителя с параболическими боковыми стойками, наименьшие значения – для рыхлителя с прямыми боковыми стойками. Эти результаты дают основание предположить, что рыхление U-образным рабочим органом требует больших затрат энергии.

Значения тяговых усилий для моделей были пересчитаны на натуре.

Результаты статистической обработки значений тяговых усилий показали, что наибольшим тяговым сопротивлением обладает U-образный рабочий орган, $F_T = 36,7$ кН, что можно объяснить повышенной степенью сжатия на обрабатываемый пласт грунта со стороны полукруглой части стоек и лемеха, а также трением грунта по вертикальным стойкам. Тяговые усилия V-образного и параболического рабочих органов соизмеримы, $F_T = 23,5$ и $22,9$ кН, но

у рыхлителя с параболическими боковыми стойками оно меньше примерно в 0,87 раза по сравнению с V-образным. Коэффициент удельного сопротивления рыхлению $K_{уд}$ рабочих органов изменялся аналогично тяговому усилию, величина которого составляла: 37,9; 25,8; 24,3 кН/м². В результате обработки записей тягового усилия были получены такие статистические характеристики, как математическое ожидание, дисперсия и коэффициент вариации (табл. 2).

Таблица 2

Энергетические параметры процесса разрыхления

Конструкция рабочего органа	$F_{\text{тяг}}$, кН	D дисперсия	v вариация	$K_{\text{уд с}} = F_{\text{тяг}}/S$, кН/м ²
V-образный	23,5	1,3	0,049	25,8
U-образный	36,7	10,13	0,089	37,9
С криволинейными параболическими стойками	21,8	1,32	0,053	24,3

С целью оценки однородности комьев грунта, образующихся в верхнем слое, были построены гистограммы распределения по фракциям (рис. 3). Анализ гистограмм показал, что наиболее неоднородная структура с коэффициентом

неоднородности $b = 8,7$ ($b = a_{\text{max}}/a_{\text{min}}$), при средних значениях размеров агрегатов $a_{\text{cp}} = 5,5$ см, наблюдалась у U-образного рабочего органа.

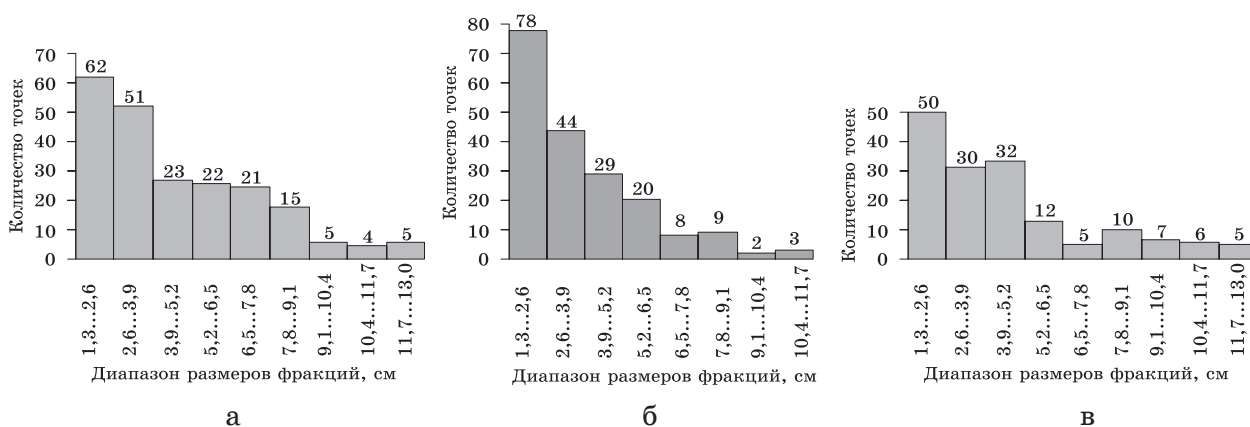


Рис. 3. Характерные гистограммы распределения фракций грунта по размерам для модели рабочего органа: а – V-образный; б – параболический; в – U-образный

При рыхлении, в результате интенсивного воздействия полукруглой части боковых стоек на пласт, грунт распадался на мелкие фракции, но вертикальные стойки создавали дополнительное сильное сжатие и уплотнение этих фракций в сплошные глыбы в верхнем слое. Дополнительное сжатие явилось причиной повышенных затрат энергии.

Наилучшим по степени однородности в верхнем слое и по глубине обработки, с коэффициентом $b = 4,9$, а также наименьшим значением средних размеров агрегатов, $a_{\text{cp}} = 5,1$ см, был рабочий орган с параболическими стойками.

Выводы

Экспериментальные исследования позволили получить сравнительные данные по тяговому сопротивлению и качественным показателям процесса рыхления для трех моделей рабочих органов с разной формой боковых стоек.

Наименьшие значения тяговых усилий и однородности агрегатов в верхнем слое были получены для рабочего органа с параболической формой боковых стоек.

Коэффициент разрыхления для U-образной модели был наибольшим и составлял 1,42, для V-образной модели – 1,38, для параболической 1,4.

Наиболее однородные размеры агрегатов были получены для модели с параболической формой боковых стоек.

Тяговое усилие для U-образного рабочего получилось больше, чем для V-образного, в 1,5 раза, параболического по сравнению с V-образным – меньше в 0,95 раза.

На основании полученных результатов параболическую форму боковых стоек рабочего органа при проектировании рыхлителей можно рекомендовать как наиболее рациональную.

1. **Русанов В. А.** Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.

2. Депрессия урожая сельскохозяйственных культур при уплотнении почвы и приемы ее снижения / А. И. Пупонин [и др.]; Сб. науч. трудов ВИМ. – Т. 118. – С. 75–86.

3. Деформация дерново-подзолистой почвы ходовыми системами тракторов и урожаи / А. И. Пупонин [и др.] // Земледелие. – 1981. – № 6. – С. 22–24.

4. **Алексеева Ю. С., Снигирева А. В.** Глубокая обработка почвы и урожай. – Л.: Лениздат, 1984. – 69 с.

5. **Пупонин А. И.** Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. – Колос, 1984. – С. 70–76.

6. **Лиманский Е. Н.** Мелиоративные рыхлители и орудия для безотвальной обработки почвы // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 12. – С. 28–32.

7. **Вериго Л. А., Разумова Л. А.** Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. – Л.: Гидрометеоздат, 1963. – 289 с.

8. **Леонтьев Ю. П., Макаров А. А.** Оценка состояния поверхности и плотности грунта необрабатываемого поля // Природообустройство. – 2009. – № 4. – С. 89–95.

9. **Казаков В. С.** Глубокие объемные рыхлители почв // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 9. – С. 40–44.

10. Рыхлитель почвы: авт. свид. № 704448 / Б. В. Дзюбенко [и др.]; заявл. 16.06.1978; опубл. 25.12.1979. – Бюл. № 47. – 1979. – 3 с.

11. Рабочий орган рыхлителя почвы: авт. свид. № 1724036. В. С. Казаков [и др.]; заявл. 15.01.1990; опубл. 07.04.1992. – Бюл. № 13. – 1992. – 4 с.

12. Орудие для глубокой обработки почвы: патент РФ № 2116011 / А. В. Колганов [и др.]; заявл. 29.05.1997; опубл. 27.07.1998. – Бюл. № 21. – 1998. – 4 с.

13. **Леонтьев Ю. П., Макаров А. А.** Влияние параметров мелиоративного рыхлителя на рабочий процесс // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 97–101.

Материал поступил в редакцию 20.05.13.

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

УДК 502/504:631.311.5

Ю. П. ЛЕОНТЬЕВ, С. Ю. НАСОНОВ

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОПАНИЯ ГРУНТА КОСО ПОСТАВЛЕННЫМ ОТВАЛЬНЫМ И ДВУХОТВАЛЬНЫМ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

В статье рассмотрены косо поставленный отвальный и двухотвальный рабочие органы при копании грунта. Даны результаты проведенных экспериментальных исследований.

Косо поставленный отвальный рабочий орган, двухотвальный рабочий орган, тяговые сопротивления.

The article considers skewed moldboard and double-moldboard operating parts under soil digging. There are given results of the carried out experimental researches.

Skewed moldboard operating part, double-moldboard operating part, traction resistances.