

УДК 631.316.22

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЯГОВО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧИЗЕЛЬНЫХ И ЛЕМЕШНЫХ ОРУДИЙ НА ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТЫХ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВАХ

В.В. Бородычев<sup>1</sup>, ак. РАН, В.А. Шевченко<sup>1</sup>, д.с.-х.н., А.Е. Новиков<sup>2,3</sup>,  
д.т.н., М.И. Ламскова<sup>3</sup>, М.И. Филимонов<sup>2,3</sup>,

<sup>1</sup>ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова,

<sup>2</sup>ВНИИ орошаемого земледелия,

<sup>3</sup>Волгоградский ГТУ Т. (8442)60-23-22 E-mail: [novikov-ae@mail.ru](mailto:novikov-ae@mail.ru)

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации МД-1125.2017.8.

Определено тяговое сопротивление серийных чизельных и лемешных орудий. Показано, что расхождение между экспериментальными и теоретическими данными не превышает 2-8% для лемешных плугов и 6-12% для чизельных орудий. Получено, что при увеличении скорости МТА с 4 до 7 км/ч R возрастает на 3-9%. Чизельное рыхление, несмотря на увеличение глубины обработки почвы  $\approx$  в 1,5 раза, менее энергоёмко по сравнению с лемешной вспашкой – на 8-20% при  $V = 4$  км/ч и на 9-14% при  $V = 7$  км/ч.

Ключевые слова: чизельное орудие, лемешно-отвальный плуг, тяговое сопротивление, энергетическая оценка, орошаемые почвы.

Основная обработка почвы относится к важнейшим технологическим операциям по созданию оптимальных условий для выращивания сельскохозяйственных культур. На нее приходится не менее 25% трудовых и примерно до 50% энергетических ресурсов, что обусловлено тяговым сопротивлением почвообрабатывающих орудий и, как следствие, расходом топлива. С использованием современных почвообрабатывающих орудий решаются проблемы ирригационной эрозии, дефляции, засухи. К таким орудиям относятся многофункциональные чизели, обеспечивающие дифференцированное по слоям рыхление почвы на глубину более 0,4 м с возможностью оборота пласта, сохранение и рациональное использование почвенной влаги [1-4].

Цель работы – исследование на тяжёлосуглинистых орошаемых почвах тягово-эксплуатационных показателей

чизельных орудий в сравнении с серийными лемешно-отвальными плугами и их оценка.

Опытный участок расположен в подзоне светлокаштановых тяжёлосуглинистых почв Волгоградской области (УНПЦ «Горная поляна»). Количество гумуса в пахотном слое (0,22-0,24 м) 1,65-1,75%. Почва слабо обеспечена доступными формами азота (35-45 мг/кг почвы), средне обеспечена фосфором (75-85 мг/кг почвы), и характеризуется повышенным содержанием калия (280-300 мг/кг, иногда до 450 мг/кг). Реакция почвенного раствора слабощелочная (рН от 6,5 до 7,2). Плотность сложения пахотного слоя 1,35-1,40 т/м<sup>3</sup>, плотность твёрдой фазы  $\approx$  2,54 т/м<sup>3</sup>; порозность  $\approx$  43 %, наименьшая влагоёмкость – 22-24 %. Уровень залегания грунтовых вод – более 5 м. Водоудерживающая способность почв довольно высокая, в метровом слое может удерживаться до 2850 м<sup>3</sup>/га.

В сравнительных полевых исследованиях, в процессе которых определяли тягово-эксплуатационные показатели, использовали серийный пятикорпусный лемешно-отвальный плуг (рис. 1, а) и современное чизельное орудие (рис. 1, б) со съёмным отвалом и плоскорезными лапками [5]. Ширина их захвата конструктивно составляла, соответственно, 1,75 м и 2,0 м. Скорость движения (V) в обоих вариантах была принята 4 и 7 км/ч. Глубина обработки почвы варьировала: при лемешной вспашке она составляла – 0,20; 0,24; 0,27 м, при чизельной обработке – 0,30; 0,35; 0,40 м. Полевые опыты проводили на орошаемых почвах.



а



б

Рис. 1. Объекты теоретических и экспериментальных исследований:  
а – лемешно-отвальный корпус; б – чизельный рабочий орган

В исследованиях для снятия тягово-эксплуатационных показателей использовали тензозвено с выводом информации на персональный компьютер и программное обеспечение *Power Graph*. Во всех вариантах тяговое сопротивление характеризуется колебательным процессом, но период колебаний нагрузки в чизельных орудиях несколько меньше – колебания носят высокочастотный характер.

Известно, что наиболее адекватно описывает тяговое сопротивление лемешного плуга рациональная формула В.П. Горячкина [6]:

$$R = fG + F_{om} \cdot (K + \xi V^2), \quad (1)$$

где  $f$  коэффициент сопротивления передвижению плуга в борозде, равный  $f = 0,5-0,9$ ;  $G$  – масса серийного лемешного плуга – 9 кН;  $F_{om} = hB = hnM$  – площадь обработанного пласта при сплошной лемешной вспашке;  $h = 0,20-0,27$  м – глубина вспашки;  $B$  – ширина захвата плуга;  $n = 5$  – количество рабочих органов;  $M$  – ширина междуследия, равная 0,35 м;  $K$  – коэффициент, характеризующий способность почвенного пласта сопротивляться деформации, равный 40-50 кН/м<sup>2</sup> (для тяжелосуглинистых почв);  $\xi$  – коэффициент, зависящий от формы рабочей поверхности отвала, свойств почвы и размеров почвенного пласта, равный 1,5-2 (кН·с<sup>2</sup>)/м<sup>4</sup>;  $V$  – скорость движения МТА 4-7 км/ч, или 1,11-1,94 м/с.

Значения коэффициентов  $f$ ,  $K$ ,  $\xi$  приняты по В.П. Горячкину [6].

При оценке качества вспашки допускаются отклонения: по глубине обработки почвы лемешным плугом на 5-10%; от средней глубины вспашки – 10%. Этот показатель учитывается коэффициентом  $\delta = 0,9$ . Таким образом, при максимальной глубине обработки  $F_{om} = 0,425$  м<sup>2</sup>.

Лемешная вспашка и чизельное рыхление имеют разную физическую основу. В работе [1] предложено вспашку и рыхление приводить к общему показателю – площади поперечного (фронтального) сечения обрушенной почвы, так учитывается специфический профиль борозды при чизелевании.

При чизельном почвообрабатывающем орудии формула (1) в классической интерпретации неприменима и требует дополнения. Так с учетом разработок [1] модель тягового сопротивления чизельного орудия при блокированном резании почвы без отделения почвенной стружки ( $h > h_k$ ) примет вид:

$$R = fG + (K + \xi V^2) \cdot F_k + (K' + \xi' V^2) \cdot F_0, \quad (2)$$

где  $f = 0,4$ ;  $K = 35-43$  кН/м<sup>2</sup>;  $\xi = 16$  (кН·с<sup>2</sup>)/м<sup>4</sup>;  $K' = 190-250$  кН/м<sup>2</sup>;  $\xi' = 15,8$  (кН·с<sup>2</sup>)/м<sup>4</sup> – значения коэффициентов при работе чизельных орудий [1];  $G$  – масса серийного чизельного плуга с отвалами, равная 5,6 кН;  $F_k$  – площадь сечения взрыхленной части пласта в слое до критической глубины  $h_k$  чизелевания;  $F_0$  – площадь прорезей глубиной  $h_0$  – ниже  $h_k$ .

При определении теоретического тягового сопротивления чизельного орудия без отвалов коэффициент  $\xi$  можно не учитывать, а значения коэффициентов  $K$  и  $K'$  принять минимальными.

В формуле (2) основными неизвестными являются  $F_k$  и  $F_0$ , которые можно определить геометрически с учетом площади поперечного сечения обрушенной площади (рис. 2).

Площадь поперечного сечения взрыхленной части пласта при чизелевании в общем виде выражается зависимостью:

$$F_k = F_1 + F_0, \quad (3)$$

$$F_1 = F_k - F_2,$$

где  $F_0$  – площадь прорезей глубиной  $h_0$  – ниже  $h_k$ ;  $F_k$  – площадь сечения взрыхленной части пласта в слое до критической глубины  $h_k$  чизелевания;  $F_2$  – площадь сечения внутривспашечных гребней высотой  $h_2$ .

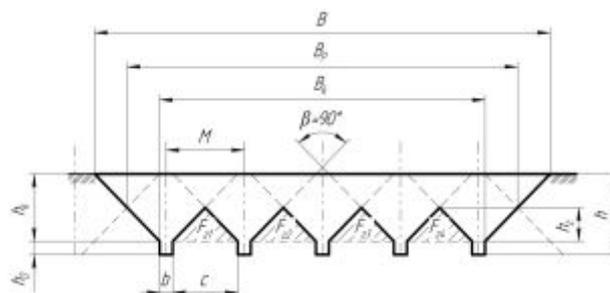


Рис. 2. Схема к расчету общей площади поперечного сечения взрыхленной части пласта при чизелевании почвы (см. обозначения в тексте)

В свою очередь,

$$F_k = h_k B_p, \quad (4)$$

где  $B_p$  – ширина захвата орудия, определяемая зависимостью:

$$B_p = B_k + M - b, \quad (5)$$

где  $B_k$  – конструктивная ширина захвата;  $M$  – ширина междуследия рабочих органов, для исследуемого пятикорпусного чизеля  $M = 0,4$  м;  $b$  – ширина углубления дна борозды, формируемая долотом ( $b = 0,06$  м).

Конструктивную ширину захвата орудия можно записать в виде:

$$B_k = (n - 1) \cdot M + b, \quad (6)$$

где  $n$  – количество рабочих органов; тогда для  $n = 5$ ,  $B_k = 1,66$  м,  $B_p = 2,0$  м.

Критическая глубина чизелевания  $h_k$  в соответствии с рисунком 1 равна:

$$h_k = h - h_0, \quad (7)$$

где  $h_0$  – размер углубления, формируемого долотом при проходе орудия, м.

Величина  $h_0$  определяется из конструктивных размеров долота орудия и параметров его установки на стойке орудия:

1) долото состоит из двух рабочих плоскостей  $l_1 = 0,078$  м и  $l_2 = 0,171$  м, тогда общая длина долота равна:  $l = 0,249$  м;

2) угол установки долота (угол резания)  $\alpha = 25^\circ$ ;

3) высота долота  $d$  равна 0,02 м.

Таким образом,  $h_0$  или проекцию долота на вертикальную плоскость можно определить из тригонометрических свойств прямоугольного треугольника:  $h_0 = \sin \alpha l + d = 0,4226 \cdot 0,249 + 0,02 = 0,12523$ .

Тогда,  $h_k$  принимаем равным  $h_k = h - 0,125$  м.

Суммарную площадь сечения внутривспашечных гребней в слое до  $h_k$  (рис. 1) определяют по формуле [1]:

$$F_2 = (n - 1) \cdot \frac{ch_2}{2}, \quad (8)$$

где  $c = M - b$  – ширина внутривспашечного гребня у основания;  $h_2$  – высота гребня;  $n$  – количество рабочих органов.

$$\text{При } \beta = 90^\circ \quad h_z = \frac{M-b}{2}.$$

Подставив в (8) соответствующие данные, получим выражение для определения суммарной площади сечения внутрипочвенных гребней в слое до критической глубины  $h_k$  резания:

$$F_z = \frac{(n-1) \cdot (M-b)^2}{4}. \quad (9)$$

Площадь сечения прорезей в слое ниже  $h_k$ , согласно рисунку 1, будет равна:

$$F_0 = nbh_0. \quad (10)$$

Итоговая зависимость для определения фронтальной площади чизелевания будет иметь вид:

$$F_q = F_k - F_z + F_0 = h_k B_p - \frac{(n-1) \cdot (M-b)^2}{4} + nbh_0. \quad (11)$$

Подставив в (11) соответствующие численные значения, после преобразований получим аналитическую зависимость между площадью рыхления пласта и глубиной чизелевания (при  $M = 0,4$  м;  $b = 0,06$  м;  $n = 5$ ):

$$F_q = 2h - 0,33. \quad (12)$$

Таким образом, при максимальной глубине обработки  $h = 0,40$  м,  $F_q = 0,47$  м<sup>2</sup>, формула (2) предстанет в следующем виде:

$$R = fG + (K + \xi V^2) \cdot (h_k B_p) + (K' + \xi' V^2) \cdot (nbh_0). \quad (13)$$

Результаты расчетов площадей сечения взрыхленно-го пласта при чизельном рыхлении ( $F_q$ ) и лемешной вспашке ( $F_{om}$ ) показывают, что соотношение площадей  $F_q/F_{om}$  при максимальной глубине обработки соответствующими орудиями составляет  $0,47 / 0,425 \approx 1,11$ , т.е. при чизельной обработке взрыхленная площадь больше на 11%, чем при лемешной вспашке.

Результаты полевых и теоретических экспериментов по определению тягового сопротивления ( $R$ ) изучаемых почвообрабатывающих орудий представлены на рисунке 3, из которого следует:

1. Минимальные значения  $R$  фиксируются при обработке почвы посредством чизельного орудия, а максимум  $R$  - при лемешной вспашке.

2. Повышение скорости  $V$  почвообработки с 4 до 7 км/ч хотя и приводит к возрастанию  $R$  на 3-9%, но не оказывает решающего влияния на тяговые характеристики МТА.

3. Чизельное рыхление почвы характеризуется снижением энергоемкости почвообработки по сравнению с лемешной вспашкой - на 8-20% при  $V = 4$  км/ч (23,0-27,6 кН против 27,7-30,3 кН) и на 9-14% при  $V = 7$  км/ч (25,15-28,8 кН против 28,75-32,6 кН), несмотря на увеличение глубины обработки  $h \approx 1,5$  раза.

4. Расхождение между экспериментальными и теоретическими значениями  $R$  лемешного плуга при скорости вспашки  $V = 4-7$  км/ч составляет 2-8%, причем расхождение при постоянных значениях коэффициентов  $f$ ,  $K$ ,  $\xi$ , возрастает с увеличением глубины вспашки. На наш взгляд, это связано с физико-механическими свойствами и гранулометрическим составом обрабатываемых слоев почвы. Так, например, на орошаемых землях при регулярных поливах происходит вымывание фракций физической глины в нижние слои. С увеличением содержания физической глины линейно возрастает удельное сопротивление почвы.

5. Расхождение между экспериментальными и теоретическими значениями  $R$  чизельного орудия при скорости вспашки  $V = 4-7$  км/ч составляет 6-12%. Наиболь-

шую разницу фиксируют в горизонте почвы 0,4 м, что также свидетельствует о неоднородности состава и свойств орошаемых суглинистых почв по горизонтам.

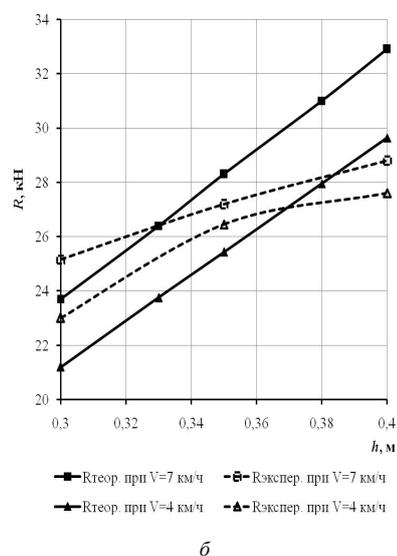
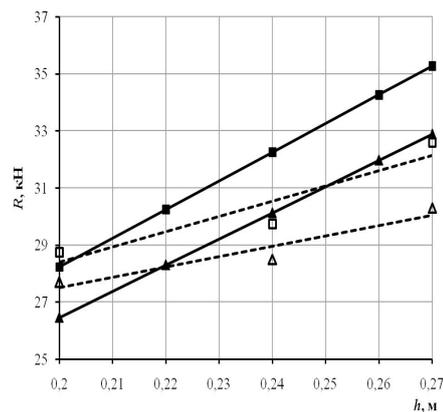


Рис. 3. Теоретические и экспериментальные значения тягового сопротивления ( $R$ ) лемешно-отвального плуга (а) и чизельного орудия (б) в зависимости от глубины ( $h$ ) и скорости обработки ( $V$ ) почвы

К числу главнейших энергетических показателей почвообработки относится также потребная тяговая мощность (кВт) почвообрабатывающего орудия, которую определяют по формуле:

$$N = RV, \quad (14)$$

где  $R$  - среднее тяговое сопротивление орудия, кН;

$V$  - скорость движения МТА, м/с;

Графики изменения потребной тяговой мощности от скорости МТА  $V$  и площади сечения  $F$  взрыхленного слоя почвы (рис. 4) показывают:

1) минимум потребной тяговой мощности ( $N = 25,5-30,4$  кВт) необходим для чизелевания без отвала при  $V = 4$  км/ч;

2) максимум потребной тяговой мощности ( $N = 55,8-63,2$  кВт) в 2,75-2,90 раза больше от названного минимума - фиксируется при обработке почвы лемешным плугом при  $V = 7$  км/ч;

3) площадь  $F$  взрыхленного слоя опосредованно влияет на величину потребной тяговой мощности, но при увеличении  $F$  несколько возрастает  $N$ , наиболее существенно - при обработке почвы лемешным плугом и  $V = 7$  км/ч;

4) несмотря на возрастание площади  $F$ , чизелевание - это энергосберегающий способ обработки почвы.

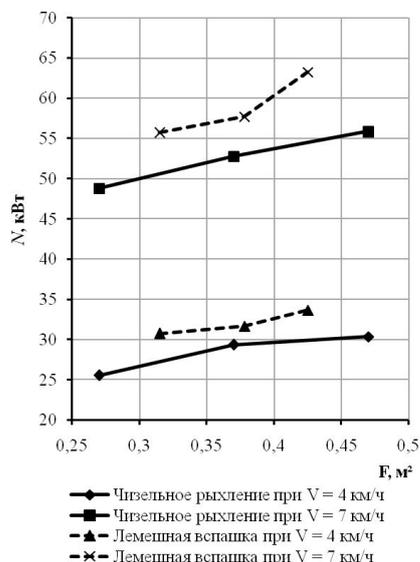


Рис. 4. Зависимость потребной тяговой мощности от площади сечения пласта чизельными и лемешными орудиями в зависимости от скорости движения МТА

Графики на рисунке 4 косвенно указывают на необоснованный рост потребной тяговой мощности  $N$  по мере практикуемого увеличения скоростей  $V$  МТА.

#### MODELING AND ENERGY ASSESSMENT OF TRACTION-EXPLOITATION INDICATORS OF SERIAL CHISEL IMPLEMENT AND PLOWS

V.V. Borodychev<sup>1</sup>, V.A. Shevchenko<sup>1</sup>, A.E. Novikov<sup>2,3</sup>, M.I. Lamskova<sup>3</sup>, M.I. Filimonov<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation ul. B. Akademicheskaya 44a, Moscow, 127550

Russia, <sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, ul Timiryazeva 9, Volgograd, 400002 Russia

<sup>3</sup>Volgograd State Technical University, pr. Lenina 28, Volgograd, 400131 Russia E-mail: novikov-ae@mail.ru

The work was supported in part by the grant of the President of Russian Federation, project MD-1125.2017.8

The traction resistance of serial chisels and plows is determined. The discrepancy between the experimental and theoretical data does not exceed 2–8% for plowshares and 6–12% for chisel tools. It is found that with an increase in the MTA velocity from 4 to 7 km/h,  $R$  increases by 3–9%. Chisel loosening of the soil, despite an increase in the depth of soil cultivation in ~1.5 times, is less energy-intensive compared to plowing by 8–20% at  $V = 4$  km/h and by 9–14% at  $V = 7$  km/h.

Keywords: chisel implement, moldboard plow, tractive resistance, energy assessment

УДК 631.425.4:631.4

### ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ И ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИНКА В ЧЕРНОЗЕМАХ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ХЛЕВЕНСКОГО РАЙОНА ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Н.С. Горбунова, к.б.н., Воронежский ГУ, Е.В. Куликова, к.б.н., Воронежский ГАУ,

Ю.А. Куликов, Центр компетенций агротехнологий

394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, ВГУ, медико-биологический факультет, vilian@list.ru

394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, факультет землеустройства и кадастров,

melior-agronomy@inbox.ru, 115114, г. Москва, Дербеневская наб., дом 7, стр. 8, juriy.kulikov@yandex.ru

Рассматривается влияние распашки и орошения на основные химические, физико-химические свойства черноземов выщелоченных, а также на валовое содержание и подвижные соединения Zn. Длительное орошение приводит к увеличению мощности гумусового горизонта и снижению содержания гумуса. Под действием распашки и орошения происходят подкисление почвенного раствора и увеличение гидролитической кислотности вследствие более интенсивной миграции карбонатов, а также увеличения интенсивности разложения растительных остатков. Отмечается

На наш взгляд, по крайней мере для основной обработки почвы, (и прежде всего для лемешно-отвальной пахоты) скорость  $V$  целесообразно не увеличивать. Это будет способствовать и экономии моторного топлива [7].

#### Литература

1. Труфанов В.В. Глубокое чизелевание почвы. - М.: Агропромиздат, 1989. - 142 с.
2. Pyndak V.I., Novikov A.E. Energy Efficiency of Mechanisms and Instruments for Deep Cultivation of Soil // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2014. Vol. 43, No. 6. P. 532-536.
3. Pyndak V.I., Novikov A.E. Tribotechnical and Energy Assessment of Parts of Working Members of Cultivating Machines After Carburizing and Laser Hardening // Metal Science and Heat Treatment. 2016. Vol. 58, No. 3-4. P. 226-230.
4. Борисенко И.Б., Доценко А.Е., Борисенко П.И., Новиков А.Е. Чизелевание почвы: перспективные орудия и способы возделывания широкорядных пропашных культур // Аграрный научный журнал. - 2015. - № 7. - С. 41-45.
5. Патент на полезную модель Российской Федерации № 148330, МПК А01В 13/14. Рабочий орган почвообрабатывающего орудия / И.Б. Борисенко, С.Ю. Кондаков, А.Е. Новиков; заявитель и патентообладатель ООО «АгроПромтехмаш». Опубл. 10.12.2014. Бюл. № 34.
6. Горячкин В.П. Рациональная формула силы тяги плугов конных и транспортных. Собр. соч. в 3 т. Т.3. - М.: Колос, 1965. - С. 68-114.
7. Буряков А.Т. Экономия дизельного топлива – насущная задача земледельца // Земледелие. - 2005. - № 5. - С. 32-33.

уменьшение валового содержания Zn в почвах, подверженных сельскохозяйственному использованию, причем в большей степени на орошаемых черноземах. Данное явление связано с усиленной минерализацией органического вещества, профильным его перераспределением и безвозвратным выносом Zn сельскохозяйственными культурами.

Ключевые слова: мелиорация, орошение, чернозем выщелоченный, цинк.

В настоящее время происходит все большая интенсификация земледелия и часто без надлежащего науч-