

УДК 631.316.22

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

В.В. Бородычев¹, ак. РАН, В.А. Шевченко¹, д.с.-х.н., А.Е. Новиков^{2,3},
д.т.н., М.И. Ламскова³, М.И. Филимонов^{2,3},

¹ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова,

²ВНИИ орошаемого земледелия,

³Волгоградский ГТУ Т. (8442)60-23-22 E-mail: 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-отвалный 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 светлосерых каштановых 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/м³, плотность твёрдой фазы \approx 2,54 т/м³; 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 м³/га.

В сравнительных полевых исследованиях, в процессе которых определяли тягово-эксплуатационные показатели, использовали серийный пятикорпусный лемешно-отвалный плуг (рис. 1, а) и современное чизельное орудие (рис. 1, б) со съёмным отвалом и плоскорежущими 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-отвалный корпус; б – чизельный рабочий орган

В исследованиях для снятия тягово-эксплуатационных показателей использовали тензосенсоры 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/м² (для тяжело-суглинистых почв); ξ – коэффициент, зависящий от формы рабочей поверхности отвала, свойств почвы и размеров почвенного пласта, равный 1,5-2 (кН·с²)/м⁴; V – скорость движения МТА 4-7 км/ч, или 1,11-1,94 м/с.

Значения коэффициентов f , K , ξ 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 $F_{om} = 0,425$ м².

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/м²; $\xi = 16$ (кН·с²)/м⁴; $K' = 190-250$ кН/м²; $\xi' = 15,8$ (кН·с²)/м⁴ – 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 ξ 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:

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

$$F_1 = F_k - F_2,$$

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 внутрипочвенных гребней высотой h_c .

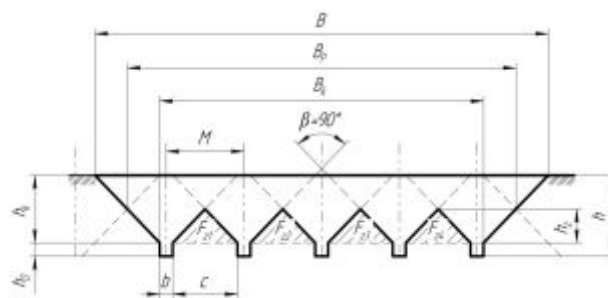


Рис. 2. Схема к расчету общей площади поперечного сечения взрыхленной части пласта при чизелевании почвы (см. обозначения в тексте)

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 пяти-корпусного 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 внутрипочвенных гребней в слое до h_k (рис. 1) определяют по формуле [1]:

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

где $c = M - b$ – ширина внутрипочвенного гребня у основания; h_c – 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, $F_q = 0,47$ м², 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 взрыхленного 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 $h \approx$ в 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 , ξ , 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.

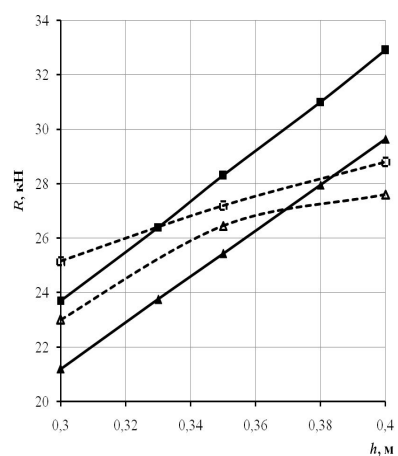
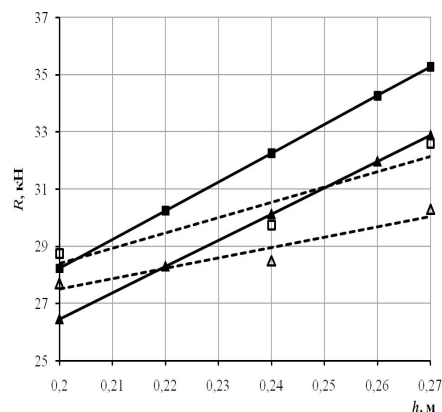


Рис. 3. Теоретические и экспериментальные значения тягового сопротивления (R) лемешно-отвального плуга (а) и чизельного орудия (б) в зависимости от глубины (h) и скорости обработки (V) почвы

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.

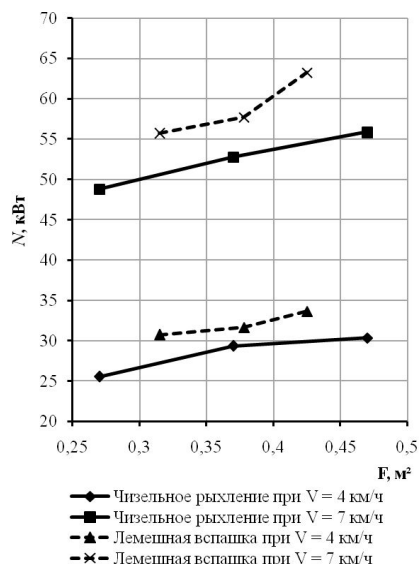


Рис. 4. Зависимость потребной тяговой мощности от площади сечения пласта чизельными и лемешными орудиями в зависимости от скорости движения МТА

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. Borodychev¹, V.A. Shevchenko¹, A.E. Novikov^{2,3}, M.I. Lamskova³, M.I. Filimonov^{2,3}

¹All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation ul. B. Akademicheskaya 44a, Moscow, 127550 Russia, ²All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, ul Timiryazeva 9, Volgograd, 400002 Russia ³Volgograd 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 распахивания 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 распахивания и орошения происходят подкисление почвенного раствора и увеличение гидролитической кислотности вследствие более интенсивной миграции карбонатов, а также увеличения интенсивности разложения растительных остатков. Отмечается

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-

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 широкояровых пропашных культур // Аграрный научный журнал. - 2015. - № 7. - С. 41-45.
5. Патент на полезную модель Российской Федерации № 148330, МПК A01B 13/14. Рабочий орган почвообрабатывающего орудия / И.Б. Борисенко, С.Ю. Кондаков, А.Е. Новиков; заявитель и патентообладатель ООО «АгроПромтехмаш». Оpubл. 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.