УДК 631.31; 631.43

АНАЛИЗ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЧИЗЕЛЬНЫХ ПЛУГОВ

ЩИРОВ Владимир Владимирович, *Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ*

НЕСМИЯН Андрей Юрьевич, *Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ*

ОЛДЫРЕВ Сергей Михайлович, *Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция*

АСАТУРЯН Сергей Вартанович, *Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ*

ЧЕРЕМИСИН Юрий Михайлович, *Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ*

В исследовании проведен анализ тягового сопротивления чизельных плугов при работе на легкоглинистых черноземах, широко распространенных в южной засушливой части России. На основании проведенного исследования предложены уточненная зависимость для определения тягового сопротивления чизельных плугов и значения входящих в нее эмпирических коэффициентов. В среднем расчетные значения приведенного тягового сопротивления чизельных плугов, полученные с использованием предложенного выражения, отличаются от опытных данных не более чем на 2,5 %.

Введение. Значительная часть сельскохозяйственных территорий Российской Федерации, более 70 млн га [12], находится в регионах с той или иной степенью проявления аридности. В таких условиях рациональным приемом, позволяющим эффективно использовать влагу позднеосенних, зимних и ранневесенних осадков, является глубокое безотвальное рыхление почвы чизельными плугами [12, 16], которое сочетает достоинства как нулевых, так и интенсивных (по способу обработки почвы) технологий. Однако при этом чизелеванию присущ и ряд характерных недостатков, один из которых заключается в том, что глубокое безотвальное рыхление почвы – одна из наиболее энергоемких операций растениеводческого процесса, существенным образом влияющая на себестоимость получаемой продукции [12, 16, 19]. В связи с этим разработка и внедрение в сельскохозяйственное производство чизельных орудий, обеспечивающих снижение энергетических показателей работы машинно-тракторного агрегата в сочетании с высоким качеством обработки почвы, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить эффективность управления продукционной функцией почвы в условиях недостатка влаги.

Необходимость достоверной энергетической оценки процессов основной обработки почвы стала очевидной еще в начале XX века в связи с широким внедрением тракторов в сельскохозяйственное производство и необходимостью их рациональной загрузки, а также при поиске путей энергосбережения в растениеводстве [2, 8, 11, 14]. При этом, как на Западе, так и в России, основным критерием, характеризующим энергетику процесса глубокой обработки почвы, считалось удельное тяговое сопротивление ($k_{уд}$, Н/м^2) – отношение экспериментально определенного тягового сопротивления плуга ($P_т$, Н) к площади поперечного сечения обрабатываемого пласта [8]. Однако некоторые исследователи, в том числе В.П. Горячкин отмечали, что такой подход к решению проблемы крайне примитивен, не позволяет проводить анализ влияния отдельных факторов на энергетику процесса и приемлем только в первичной фазе исследований [2]. При оптимизации конструкции плугов он предложил использовать зависимость, позволяющую отдельно оценивать не только сопротивление разрушению почвы, но и другие силы, возникающие в процессе работы плуга. Так возникла рациональная формула В.П. Горячкина для определения общего сопротивления плуга, ставшая на сегодняшний день канонической. Во второй половине XX века эта зависимость была применена для описания работы и чизельных плугов после коррекции входящих в нее эмпирических коэффициентов [14]. Однако, с учетом совершенствования почвообрабатывающей техники [13], многообразия типов почв и их технологических свойств [17], изменения скоростных режимов работы агрегатов классические зависимости, полученные ранее, могут оказаться не вполне корректными применительно к конкретным современным условиям производства.

Целью исследования является анализ составляющих тягового сопротивления чизельных плугов при работе на легкоглинистых черноземах, широко распространенных в южной засушливой части Российской Федерации и, при необходимости, коррекция эмпирико-теоретической зависимости, применяемой для их оценки.

Методика исследований. Работу выполняли в три этапа.

На первом этапе был проведен анализ эмпирических данных, полученных при исследовании в условиях ФГБУ «Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция» следующих чизельных плугов: ПРБ-4А (производитель – ООО «Югжелдормаш», год начала испытаний – 2007) [4], ПРБ-3 (ООО «Югжелдормаш», 2009) [6]; ПЧМ-4 (ЗАО «КОМЗ-Экспорт», 2014) [3]; ПЧП-7,0КМ (ОАО «Светлоградагромаш», 2009) [5] и ГЧН-4,5Б (ЗАО «Апшеронский завод «Лессельмаш», 2009) [7].

Включенные в исследование орудия имеют стреловидную компоновку рабочих органов (в отдельных случаях – обратную), в качестве которых используются классические рыхлители типа «Параплау» [9]. Во всех рассмотренных случаях испытания проводили на легкоглинистых слабогумусных черноземах, характерных для южных, засушливых регионов страны, что предполагает достаточную идентичность органического и гранулометрического состава исследуемых почв по вариантам.

Определенную сложность сравнительного анализа полученных результатов создавало то, что современные чизельные плуги – комбинированные орудия. Так, например, в конструкции плугов ПРБ-3 и ПРБ-4А разработчики использовали трубчатые катки, в конструкции плугов ПЧМ-4 и ПЧП-7,0КМ – игольчатые катки (мотыжного типа), а испытания плуга ГЧН-4,5Б проводили без катков. Соответственно, в исследовании необходимо было учесть, что доля наблюдаемого тягового сопротивления и массы орудия зачастую приходится на каток и в расчетах непосредственно чизельного орудия учитываться не должна.

Массу трубчатых катков принимали с учетом данных предприятия-разработчика, их удельное сопротивление определяли согласно рекомендациям [9, 15]. Масса и удельное сопротивление игольчатых катков в расчетах выбирали согласно данным [1, 10]. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Рис. 1. Исследуемые чизельные плуги (плуги-рыхлители): а – ПРБ-4А; б – ПРБ-3; в – ПЧП-7,0КМ; г – ПЧМ-4; д – ГЧН-4,5Б

После обработки данных протоколов испытаний чиельных плугов с учетом значений табл. 1 в исследовании были получены исходные данные для анализа их тягового сопротивления (табл. 2).

В табл. 2 приняты следующие обозначения: $B_р$ – рабочая ширина орудия, м; a – средняя глубина обработки почвы, м; m – масса орудия (без учета массы катка), кг; $V_р$ – рабочая скорость пахотного агрегата, м/с; $P_т$ – тяговое сопротивление орудия, кН (без учета тягового сопротивления катка); $X_{ср}$ – среднее значение рассматриваемого показателя; σ_X – среднеквадратичное отклонение значений рассматриваемого показателя от среднего; X_{min} – минимальное значение рассматриваемого показателя; X_{max} – максимальное значение показателя.

Для повышения однородности получаемых данных с учетом примерно одинаковой глубины обработки почвы исследуемыми чизельными плугами (коэффициент вариации менее 6 %) в дальнейшей работе использовали удельные показатели, приведенные к 1 м ширины захвата орудия (рис. 2). При этом примем допущение, что все орудия работают на «докритическую» глубину.

На втором этапе исследования при тех же начальных условиях, при которых проводили испытания орудий, был проведен анализ их приведенного тягового сопротивления с использованием аналитической зависимости [14]

$$P_{тр.пр} = f_ч g m \frac{B_{ед}}{B_р} + k_ч F_{ед} + \varepsilon_ч F_{ед} V_р^2, \qquad (1)$$

где $P_{тр.пр}$ – приведенное (к 1 м ширины захвата орудия) расчетное значение тягового сопротивления чизельного плуга, кН; $f_ч$ – коэффициент «непроизводительного» сопротивления чизельного плуга, обусловленный его протаскиванием, трением рабочих органов о почву, сопротивлением перекатыванию колес и т.д., $f_ч$≈0,4 [14]; $B_{ед}$ – единичная ширина захвата чизельного плуга, $B_{ед}$ = 1 м; $k_ч$ – удельное сопротивление почвы разрушению рыхлителями чизельного плуга, $k_{чш}$≈ 35...40 кН/м² [14]; $F_{ед}$ – средняя площадь почвенного пласта, обрабатываемого 1 м (по ширине захвата) чизельного плуга, м² [14]; $\varepsilon_ч$ – коэффициент «скоростного» сопротивления, $\varepsilon_ч$≈1600 Н·с²/м⁴ [14].

При вычислении средней площади $F_{ед}$ обрабатываемого почвенного пласта принимали следующие допущения: фронтальный шаг расстановки рабочих органов – 0,5 м; ширина долота – 0,07 м; угол скола почвы – 45°.

Таблица 1

Расчетные значения массы и тягового сопротивления катков исследуемых чизельных плугов

Показатель	Плуг			
	ПРБ-4А	ПРБ-3	ПЧМ-4	ПЧП-7,0 КМ
Масса, кг	460	400	400	700
Тяговое сопротивление, кН	4,54	4,25	3,60	6,30

Таблица 2

Исходные данные для анализа тягового сопротивления исследуемых чизельных плугов

Плуг	$B_р$, м	a, м	m, кг	$V_р$, м/с			$P_т$, кН		
				1	2	3	1	2	3
ПРБ-4А	4,0	0,395	1480	1,86	1,94	2,08	50,96	51,76	52,26
ПРБ-4А	4,1	0,389	1480	1,78	1,86	2,03	48,46	49,36	50,66
ПЧМ-4	4,1	0,434	1890	2,11	2,28	2,64	55,3	55,6	56,1
ПЧП-7,0 КМ	6,9	0,393	3255	1,50	1,83	2,17	66,9	72,4	78,1
ГЧН-4,5Б	3,8	0,449	2120	1,89	1,97	2,17	53,3	54,6	56.0
ПРБ-3	3.0	0,399	1105	1,78	2,14	2,47	33,25	39,45	42,75
$X_{ср}$	4,11	0,400	1759,8	2,04			51,08		
σ_X	1,21	0,024	684,6	0,28			11,27		
X_{min}	2,92	0,389	1105	1,50			30,65		
X_{max}	6,9	0,449	3255	2,64			78,1		

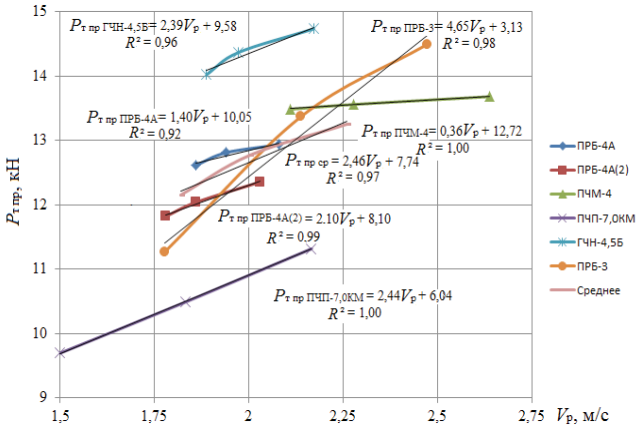

Рис. 2. Эмпирические зависимости влияния скорости движения чизельных агрегатов на приведенное тяговое сопротивление испытываемых орудий

На третьем этапе исследования был проведен сравнительный анализ практических и теоретических результатов, сделаны выводы и предложен ряд рекомендаций по коррекции применяемых зависимостей.

Результаты исследований. На рис. 2 в графическом виде представлены полученные эмпирические закономерности влияния скорости движения чизельного агрегата на приведенное тяговое сопротивление испытываемых орудий, а также кривая, отражающая усредненную закономерность взаимосвязи этих факторов.

Из данных рис. 2 видно, что для большинства рассматриваемых орудий приведенное сопротивление обработке в заданных диапазонах рабочих скоростей возрастает с примерно равной интенсивностью. Нетипичная интенсивность роста приведенного тягового сопротивления чизельного плуга ПРБ-3 тяжело поддается объяснению, особенно с учетом того, что конструкция его рабочих органов и их расстановка подобны применяемым на плуге ПРБ-4А, причем испытания этих орудий проводили в примерно равных условиях.

Аппроксимация усредненных показателей работы рассматриваемых агрегатов позволила получить зависимость

$$P_{т.\ пр}(V_р)=2,46V_р+7,74, \qquad (2)$$

обеспечивающую прогноз значений среднего тягового сопротивления чизельных плугов при изменении скорости их движения с достоверностью более 95 %.

На рис. 3 представлены зависимости приведенного тягового сопротивления исследуемых орудий от скорости их движения, полученные расчетным путем, с использованием зависимости (1).

Совместный анализ данных рис. 2 и 3 позволяет сделать ряд заключений и предположений.

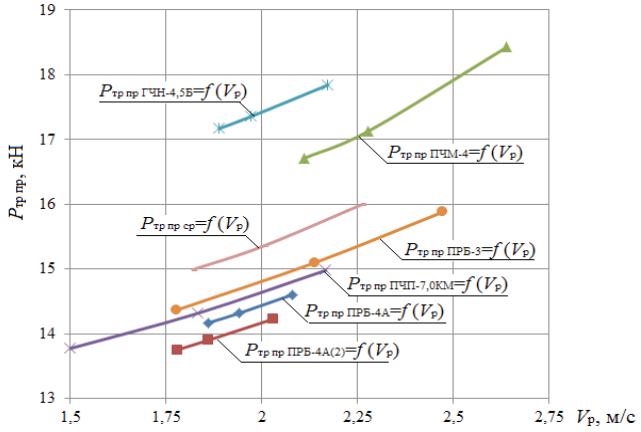

Рис. 3. Теоретические зависимости влияния скорости движения чизельных агрегатов на приведенное тяговое сопротивление орудий

1. В целом теоретически полученные результаты отражают обобщенный характер изменения тягового сопротивления при увеличении скорости движения агрегата, однако при этом расчетные значения приведенного тягового сопротивления чизельных плугов в среднем на 20–23 % выше значений этого показателя, полученных в результате испытаний.

2. Коэффициенты $f_ч$, $k_ч$, $\varepsilon_ч$ аналитического выражения, применяемого для расчета тягового сопротивление чизельного плуга, требуют коррекции с целью уменьшения разрыва между расчетными и эмпирическими значениями.

3. Характер кривизны графиков, полученных экспериментальным и расчетным путем показывает их неполное соответствие друг другу. Для подавляющего большинства испытанных орудий закон изменения приведенного тягового сопротивления (см. рис. 2) с достоверностью более 95 % может быть выражен линейной функцией.

При аналитической оценке тягового сопротивления чизельных плугов влиянием квадрата скорости движения пахотного агрегата можно пренебречь, используя зависимость вида

$$P_{тр\,пр} = f_ч g m \frac{B_{ед}}{B_р} + k_ч a B_{ед} + \varepsilon_ч a B_{ед} V_р. \quad (3)$$

Это позволит приблизить характер изменения расчетных значений приведенного тягового сопротивления чизельных плугов при возрастании скорости к эмпирическим данным, а также упростит анализ как эмпирических, так и теоретических данных.

Следует отметить, что в выражении (3), в отличие от (1), рассматривается не реальная, а условная площадь обрабатываемого пласта, не учитывающая гребнистый характер дна борозды. С одной стороны, это несколько огрубляет получаемый результат, с другой –применяемый в выражении (1) коэффициент $k_ч$ в любом случае носит обобщенно-усредненный характер, так как очевидно, что в реальных условиях сопротивление почвы разрушению будет значительно варьировать по глубине обрабатываемого пласта [8, 17]. При этом отказ от вычисления значения площади пласта $F_{ед}$ позволит упростить расчеты, «увязать» их с практически получаемыми результатами.

Совместный анализ уравнений (2) и (3) позволяет получить для легкоглинистых почв следующие усредненные закономерности:

$$f_ч g m \frac{B_{ед}}{B_р} + k_ч a B_{ед} = 7{,}74\ кН; \quad (4)$$

$$\varepsilon_ч a B_{ед} V_р = 2{,}46\ V_р. \quad (5)$$

Задаваясь усредненными значениями m, $B_р$ и a (см. табл. 2), а также предположив, что коэффициент $f_ч$ = 0,4 (в соответствии с [14]) решение уравнений (4) и (5) позволит получить расчетные значения эмпирических коэффициентов: $k_ч$=15,15 кН/м^2 и $\varepsilon_ч$=6,15 кН·с/м^3.

С учетом полученных средних значений эмпирических коэффициентов и зависимости (3) в работе был проведен расчет значений приведенных тяговых сопротивлений чизельных плугов (табл. 3). Проверку сходимости результатов испытаний и теоретических данных проводили путем определения критерия Пирсона (см. табл. 3) [18] для всех рассматриваемых вариантов.

С учетом того, что при заданной точности 95 % табличное значение $\chi^2_{табл}$ =0,71 [19], можно утверждать, что для всех рассматриваемых вариантов (за исключением плуга ПЧП-7,0КМ, исследуемый параметр которого изначально сильно отклонялся от аналогичного усредненного параметра) полученные расчетным путем данные не противоречат эмпирическим результатам, а следовательно, применяемые расчетные зависимости адекватны.

Вероятность достоверности полученной зависимости для орудия ПЧП-7,0КМ – около 93 %. В среднем расчетные значения приведенного тягового сопротивления чизельных плугов, полученные с использованием выражения (3) и уточненных эмпирических коэффициентов, отличаются от опытных данных примерно на 2,5 %.

Заключение. Необходимость энергетической оценки процессов основной обработки почвы не вызывает сомнений как с точки зрения поиска решений в области энергосбережения, так и при планировании рациональной загрузки тракторов. Для описания работы чизельных плугов используют рациональную формулу В.П. Горячкина с учетом скорректированных во второй половине XX века входящих в нее эмпирических коэффициентов. Однако сравнительный анализ практических и теоретических результатов показал, что применяемая зави-

Таблица 3

Расчет сходимости эмпирических и расчетных значений приведенного тягового сопротивления тяговых орудий

Плуг	ПРБ-4А			ПРБ-4А			ПЧМ-4		
$P_{т.пр}$, кН	12,61	12,81	12,94	11,82	12,04	12,36	13,49	13,56	13,68
$P_{тр.пр}$, кН	11,94	12,13	12,47	11,57	11,76	12,17	14,07	14,53	15,49
$P_{т.пр\,э}$-$P_{т.пр\,о}$, кН	0,674	0,682	0,466	0,250	0,279	0,186	-0,582	-0,969	-1,807
$(P_{т.пр\,э}-P_{т.пр\,о})^2$, кН^2	0,454	0,465	0,217	0,062	0,078	0,035	0,339	0,939	3,266
χ^2	0,094			0,015			0,300		
Плуг	ПЧП-7,0 КМ			ГЧН-4,5Б			ПРБ-3		
$P_{т.пр}$, кН	9,70	10,49	11,32	14,03	14,37	14,74	11,27	13,37	14,49
$P_{тр.пр}$, кН	11,49	12,28	13,11	14,21	14,43	14,98	11,88	12,77	13,58
$P_{т.пр\,э}$-$P_{т.пр\,о}$, кН	-1,794	-1,787	-1,791	-0,184	-0,062	-0,243	-0,609	0,603	0,912
$(P_{т.пр\,э}-P_{т.пр\,о})^2$, кН^2	3,220	3,194	3,208	0,034	0,004	0,059	0,371	0,363	0,831
χ^2	0,785			0,007			0,121		
Среднее									
$P_{т.пр}$, кН	12,15			12,77			13,25		
$P_{тр.пр}$, кН	12,53			12,98			13,63		
$P_{т.пр\,э}$-$P_{т.пр\,о}$, кН	-0,374			-0,209			-0,380		
$(P_{т.пр\,э}-P_{т.пр\,о})^2$, кН^2	0,140			0,044			0,144		
χ^2	0,025								

симость и используемые в ней коэффициенты нуждаются в уточнении, поскольку полученные с ее использованием расчетные значения приведенного тягового сопротивления чизельных плугов в среднем на 20–23 % выше значений, полученных на практике. Это может быть объяснено изменением конструкции применяемой почвообрабатывающей техники и особенностями технологических свойств почв в зоне проведения исследований. Кроме того, было установлено, что при аналитической оценке тягового сопротивления чизельных плугов с достоверностью более 95 % влиянием квадрата скорости движения пахотного агрегата можно пренебречь, используя зависимость вида

$$P_{тр.пр} = f_ч g m \frac{B_{ед}}{B_р} + k_ч a B_{ед} + \varepsilon_ч a B_{ед} V_р,$$

где $f_ч$=0,4; $k_ч$=15,15 кН/м^2 и $\varepsilon_ч$=6,15 кН·с/м^3. Адекватность предложенной модели подтверждена проверкой по критерию Пирсона, при этом в среднем расчетные значения приведенного тягового сопротивления чизельных плугов, полученные с использованием предложенного выражения и уточненных эмпирических коэффициентов, отличаются от опытных данных примерно на 2,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. База протоколов результатов испытаний сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sistemamis.ru/protocols. Дата обращения: 11.10.2018 г.

2. *Горячкин В.П.* Земледельческая механика. Ч. 1: Основы теории земледельческих машин и орудий. – М., 1919. – 200 с.

3. *Жидков Г.А., Калюжный А.В., Белый И.Ф.* Протокол № 11-41-14 (4010082) от 15 декабря 2014 года приемочных испытаний плуга чизельного ПЧМ-4. Федеральное государственное учреждение «Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция». – Зерноград, 2014. – 46 с.

4. *Жидков Г.А., Калюжный А.В., Бобряшов А.П.* Протокол № 11-13-08 (1010092) от 21 октября 2008 года приемочных испытаний плуга-рыхлителя блочно-модульного ПРБ-4А. Федеральное государственное учреждение «Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция». – Зерноград, 2008. – 48 с.

5. *Жидков Г.А., Калюжный А.В., Бобряшов А.П.* Протокол № 11-45-09 (4010272) от 09 декабря 2009 года приемочных испытаний плуга ПЧП-7,0 КМ. Федеральное государственное учреждение «Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция». – Зерноград, 2009. – 49 с.

6. *Жидков Г.А., Калюжный А.В., Бобряшов А.П.* Протокол № 11-33-09 (1010022) от 23 ноября 2009 года приемочных испытаний плуга-рыхлителя блочно-модульного ПРБ-3. Федеральное государственное учреждение «Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция». – Зерноград, 2009. – 47 с.

7. *Жидков Г.А., Калюжный А.В., Бородачев С.Г., Угорчук В.В.* Протокол № 11-48-09 (4010322) от 20 декабря 2009 года приемочных испытаний глубокорыхлителя чизельного навесного ГЧН-4,5Б. Федеральное государственное учреждение «Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция». – Зерноград, 2009. – 45 с.

8. *Зеленин А.Н.* Основы разрушения грунтов меха-

ническими способами. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.

9. *Кленин Н.И., Сакун В.А.* Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Колос, 1994. – 751 с.

10. *Конищев А.А.* Обоснование параметров рабочих органов игольчатой бороны для обработки почвы на стерневых фонах: дис. ... канд. техн. наук. – Шортанды, 1983. – 188 с.

11. *Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н.* Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 5. – С. 10–13.

12. *Несмиян А.Ю.* Машинно-технологическое обоснование процессов обработки почвы и посева пропашных культур в условиях дефицита влаги: дис. ... д-ра техн. наук. – Зерноград, 2017. – 424 с.

13. *Новиков А.Е., Борисенко И.Б., Фомин С.Д.* Тяговые характеристики современных чизельных орудий для почвообработки // Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия. – Волгоград, 2017. – С. 406–413.

14. *Труфанов В.В.* Тяговое сопротивление орудий чизельного типа // Теория и расчет почвообрабатывающих машин: сборник научных трудов. Т. 120. – М.: ВИМ, 1989. – С. 60–69.

15. *Турбин Б.Г., Лурье А.Б., Григорьев С.М.* Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет. – Л.: Машиностроение, 1967. – 583 с.

16. *Хижняк В.И., Несмиян А.Ю., Щиров В.В.* Совершенствование безотвальной обработки почвы чизельным плугом-глубокорыхлителем // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 11. – С. 14–16.

17. *Kapov S.N., Aduov M.A., Nukusheva S.A.* Model of soil environment as object of mechanical tillage // Life Sci. J. 2014. 11(12s). P. 156–161. – URL: http://www.lifesciencesite.com. 30.

18. Mathematical statistics. Encyclopedia of mathematics. – URL: http://www. encyclopediaofmath.org/index.php/ Mathematical_statistic. Дата обращения: 09.10.2018 г.

19. *Nesmiyan, A.Yu., Chernovolov V.A., Semenihin A.M., Zabrodin V.P., Nikitchenko S.L.* A review of assessment of the machinery tillage tools' performance for higher crop production efficiencies // Research on crops journal. 2018. Vol. 19. No. 3 (September). pp. 567–575.

Щиров Владимир Владимирович, *главный конструктор, Центр инжиниринга и трансфера, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ. Россия.*

Несмиян Андрей Юрьевич, *д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологии и средства механизации агропромышленного комплекса», Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ. Россия.*

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, 21. Тел.: (86360) 3-61-50.

Олдырев Сергей Михайлович, *канд. техн. наук, Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция. Россия.*

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, 32. Тел.: (86359) 4-16-57.

Асатурян Сергей Вартанович, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии и средства механизации агропромышленного комплекса», Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ. Россия.*

Черемисин Юрий Михайлович, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии и средства механизации агропромышленного комплекса», Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ. Россия.*

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, 21. Тел.: (86360) 3-61-50.

Ключевые слова: *чизельный плуг; энергетическая оценка; удельное сопротивление почвы; эмпирические коэффициенты; скорость движения агрегата; аналитическая оценка; тяговое сопротивление; сходимость результатов.*

THE ANALYSIS OF THE TRACTION RESISTANCE OF THE CHISEL PLOWS

Shchirov Vladimir Vladimirovich, *Chief Designer, Center for engineering and transfer, Azov-Black Sea Engineering Institute of the FSBEI HE «Don State Agrarian University». Russia.*

Nesmiyan Andrey Yuryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Technologies and Means of Mechanization of the Agro-industrial Complex", Azov-Black Sea Engineering Institute of the FSBEI HE «Don State Agrarian University». Russia.*

Oldyrev Sergey Mikhaylovich, *Candidate of Technical Sciences, North-Caucasus State Zonal Machine Testing Station. Russia.*

Asaturyan Sergey Vartanovich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technologies and Means of Mechanization of the Agro-industrial Complex", Azov-Black Sea Engineering Institute of the FSBEI HE «Don State Agrarian University». Russia.*

Cheremisin Yuriy Mikhaylovich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technologies and Means of Mechanization of the Agro-industrial Complex", Azov-Black Sea Engineering Institute of the FSBEI HE «Don State Agrarian University». Russia.*

Keywords: *chisel plow; energy evaluation; soil resistance; empirical coefficients; speed of the unit; analytical evaluation; traction resistance; convergence of results.*

The study analyzed the traction resistance of chisel plows when working on light clayey chernozem that is widespread in the southern arid part of Russia. On the basis of the research, the refined relationship was proposed to determine the traction resistance of chisel plows and the values of the empirical coefficients included in it with reference to light clayey soils. Calculated values of reduced traction resistance of chisel plows, obtained using the proposed expression and refined empirical coefficients, differ from experimental data by about 2.5 %.