

УДК 631.312.024

UDC 631. 312.024

05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
РАБОТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
РАБОЧЕГО ОРГАНА**

**STATISTICAL PROCESSING OF  
EXPERIMENTAL DATA ON THE WORK OF  
AN AGRICULTURAL WORKING BODY**

Белоусов Сергей Витальевич  
старший преподаватель  
SPIN – код: 6847-7933  
[sergey\\_belousov\\_87@mail.ru](mailto:sergey_belousov_87@mail.ru)

Belousov Sergey Vitalievich  
Senior lecturer  
RSCI SPIN-code:6847-7933  
[sergey\\_belousov\\_87@mail.ru](mailto:sergey_belousov_87@mail.ru)

Трубиллин Евгений Иванович  
докт. техн. наук, профессор  
SPIN-код автора: 6414-8130  
[trubilinei@mail.ru](mailto:trubilinei@mail.ru)  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,  
Краснодар, Россия*

Trubilin Evgeny Ivanovich  
Dr.Sci.Tech., professor  
RSCI SPIN-code: 6414-8130  
[trubilinei@mail.ru](mailto:trubilinei@mail.ru)  
*FSBEI HE Kuban State Agrarian University,  
Krasnodar, Russia*

Работа посвящена экспериментальным исследованиям, а именно, получение сравнительной оценки показателей качества выполнения технологического процесса послойной обработки почвы, в сравнении с серийными и предлагаемыми рабочими органами. Статья имеет аналитический характер, выражающийся в том, что приведен анализ экспериментальных и энергетических показателей пахотного агрегата с различными рабочими органами. Определено качество технологического процесса послойной обработки почвы с дополнительными рабочими органами. Целью экспериментальных исследований являлось получение сравнительной оценки показателей качества выполнения технологического процесса обработки почвы, а также экспериментальных и энергетических показателей пахотного агрегата с различными рабочими органами. В выводах приводятся основные результаты, достигнутые к настоящему времени

The work is devoted to experimental research, namely, obtaining a comparative assessment of the quality indicators of the technological process of layer-by-layer tillage, in comparison with serial and proposed working bodies. The article has an analytical character, expressed in the fact that we give an analysis of the experimental and energy indicators of a plowing unit with various working bodies. The work has determined the quality of the technological process of layer-by-layer tillage with additional working bodies. The purpose of the experimental studies was to obtain a comparative assessment of the quality indicators of the technological process of soil cultivation, as well as experimental and energy indicators of the plowing unit with various working bodies. The conclusions summarize the main results achieved to date

Ключевые слова: РАЗВИТИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ШИРИНА ЗАХВАТА, РАБОЧИЙ ОРГАН, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, РАБОЧАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО

Keywords: DEVELOPMENT, OPTIMIZATION, WORKING WIDTH, WORKING BODY, ENERGY SAVING, WORKING SURFACE, ENERGY MEANS

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-167-002>

В настоящее время основная обработка почвы – отвальная пахота – повсеместно производится лемешными плугами, которые, несмотря на ряд усовершенствований, остались по своему принципу работы без изменений с момента появления.

По энергетическим затратам вспашка с оборотом пласта в открытую борозду является наиболее рациональной. Однако одним из основных недостатков отвальных плугов как орудий пассивного действия является то, что вся необходимая для обработки почвы с их помощью энергия реализуется через прицепной крюк трактора, т. е. для перемещения орудия требуется значительная по величине сила тяги трактора.

Увеличение производительности труда пахотного агрегата путём увеличения скорости его движения или ширины захвата плуга ограничивается проблемой повышения сцепных свойств трактора. Указанный недостаток можно устранить, если снизить тяговое сопротивление плуга, а необходимую мощность для обработки почвы передавать на привод других рабочих органов ротационного типа, либо производить совершенствование существующих рабочих органов для увеличения количественных и качественных показателей. По энергетическим затратам вспашка с оборотом пласта в открытую борозду является наиболее рациональной. Однако одним из основных недостатков отвальных плугов как орудий пассивного действия является то, что вся необходимая для обработки почвы с их помощью энергия реализуется через прицепной крюк трактора, т. е. для перемещения орудия требуется значительная по величине сила тяги трактора.

Увеличение производительности труда пахотного агрегата путём увеличения скорости его движения или ширины захвата плуга ограничивается проблемой повышения сцепных свойств трактора. Указанный недостаток можно устранить, если снизить тяговое сопротивление плуга, а необходимую мощность для обработки почвы

передавать на привод различных рабочих органов, либо производить совершенствование существующих рабочих органов для увеличения количественных и качественных показателей.

Одним из элементов теоретической базы процесса создания и усовершенствования орудий может быть связь формы и конструкции со свойствами почвы, динамикой состояния почвы в процессе обработки и, соответственно, систематизация рабочих органов по критерию различию в течение технологического процесса разнотипных орудий. Реально производимые и работающие орудия можно рассматривать как конечный результат физического эксперимента. Систематизация рабочих органов на основе физики процесса позволит более обоснованно и целенаправленно подходить к вопросу создания и усовершенствования почвообрабатывающих орудий. Почвообрабатывающие машины с дополнительными рабочими органами начали применять со времени появления механического двигателя в сельском хозяйстве. Рабочие органы создавали двух типов: с пассивными (без привода) и ротационные (вращающиеся). К настоящему времени работа над ними не прекращена так как является достаточно рентабельной, но в то же время и очень трудоёмкой с точки зрения металлоемкости и затрат человеческого труда.

Целью наших исследований являются дополнительные рабочие органы ДРО, которые могут внести значительный вклад в производство продукции растениеводства и могут быть изготовлены непосредственно в ЦРМ в хозяйстве.

Почвообрабатывающие машины с дополнительными рабочими органами начали применять со времени появления механического двигателя в сельском хозяйстве. Рабочие органы создавали двух типов: с пассивными (без привода) и ротационные (вращающиеся). Орудия первого типа имитировали работу рабочих орудий наполняющих действие лопаты, мотыги и т. п. Первые такие машины появились достаточно давно и

широко исследованы такими учеными как В.П. Горячкин и Г.Н. Синеоков, а вторые появлялись достаточно недавно, в 30 – х годах прошлого века [1,2]. К настоящему времени работа над ними не прекращена так как является достаточно рентабельной, но в то же время и очень трудоёмкой с точки зрения металлоемкости и затрат человеческого труда. Ротационные орудия начали изготавливать в середине 19 века [2,3] и сегодня они получили широкое распространения, ввиду своего применяя в составе пахотного агрегата, а также агрономической эффективности. Совмещение технологических операций также снижает затраты и ведет к увеличению производительности по сравнению с серийными плугами.

За последние годы в России и за рубежом уделяется большое внимание различного рода ротационным рабочим органам, дополняющим работу лемешных плугов, уменьшающих крошение пласта и заделку растительных остатков. [4,5]. Однако целью наших исследований являются дополнительные рабочие органы ДРО, которые могут внести значительный вклад в производство продукции растениеводства и могут быть изготовлены непосредственно в ЦРМ в хозяйстве [5].

В результате выполнения экспериментальных исследований нами определялись физико-механические свойства агрофона, тяговое сопротивление предлагаемых рабочих органов в сравнении с серийным отвальным плугом, а также эксплуатационные и энергетические показатели с дополнительными рабочими органами далее ДРО [4,6].

Качество и энергоёмкость процесса обработки почвы определяются с одной стороны свойствами и состоянием почвы, с другой стороны - формой и параметрами рабочих органов, а также режимом работы орудия. Наибольшее влияние на процесс взаимодействия рабочего органа с почвой оказывают следующие параметры: состояние почвы, рабочего органа, и расположение рабочего органа на раме пахотного агрегата.

Параметры состояния почвы: состав (в т.ч. содержание влаги, гумуса, насыщенность растительными и каменными включениями), соотношение прочности почвы на растяжение и сжатие, соотношение углов внутреннего и внешнего трения, плотность, твердость.

Конструктивные особенности: относительная ширина (по отношению к глубине обработки и ширине захвата основного рабочего органа), ножа (лапы, лемеха) или отвала, начальный угол постановки рабочей поверхности, изменение угла постановки рабочей поверхности к направлению движения пласта или орудия, изменение угла захвата пласта почвы по ходу движения рабочего агрегата. Значительная разница в прочности почвы на сжатие и растяжение. По результатам исследований ведущих ученых это свойство почвы определяет картину деформации и крошения почвы клином [1,2,3].

Механизм крошения почвы и энергоёмкость этого процесса в значительной мере определяются соотношением прочности на сжатие и растяжение, а не абсолютным значением этих величин. Общая энергоёмкость процесса зависит от соотношения количества деформаций растяжения и сжатия в процессе деформации пласта. Исследованиями зависимости крошения почвы от скорости движения и ширины захвата дополнительных рабочих органов задавались по результатам статистического анализа результатов опыта по оценке крошения стандартными и модернизированными рабочими органами отвального плуга крошение исследуемой фракции от 0-50 мм. табл. 1, от 50-100 мм. табл. 2, от 50-100 мм. табл. 3. Обработку данных проводили по разработанной программе в среде MathCAD.

Таблица 1-Параметры работы при обработке серийным отвальным плугом

Передача трактора	3	4	5
Фактическая скорость поступательного движения, км/ч.	5,34	6,16	7,15
Крошение почвы, %, размеры фракций, мм.	85,9	91,80	92,90

Согласно полученным данным в результате проведения полевых исследований, определили закономерность изменения крошения в почвенном горизонте рисунок 1 в зависимости от скорости движения пахотного агрегата на заданной передаче трактора, данные табл. 1 получено уравнение регрессии 1 и ее графическое изображение рисунок 1, кривая 1, также получено уравнение регрессии данные табл. 2 и ее графическое изображение рисунок 1 кривая 2, и получено уравнение регрессии данные табл. 3 формула 3 ее графическое изображение рисунок 1 кривая 3.

$$y = \frac{1000}{47,930 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 572,50 \cdot 10^{-6} + \frac{54,229}{x}} \quad (1)$$

Таблица 2 - Параметры работы при обработке ДРО 1

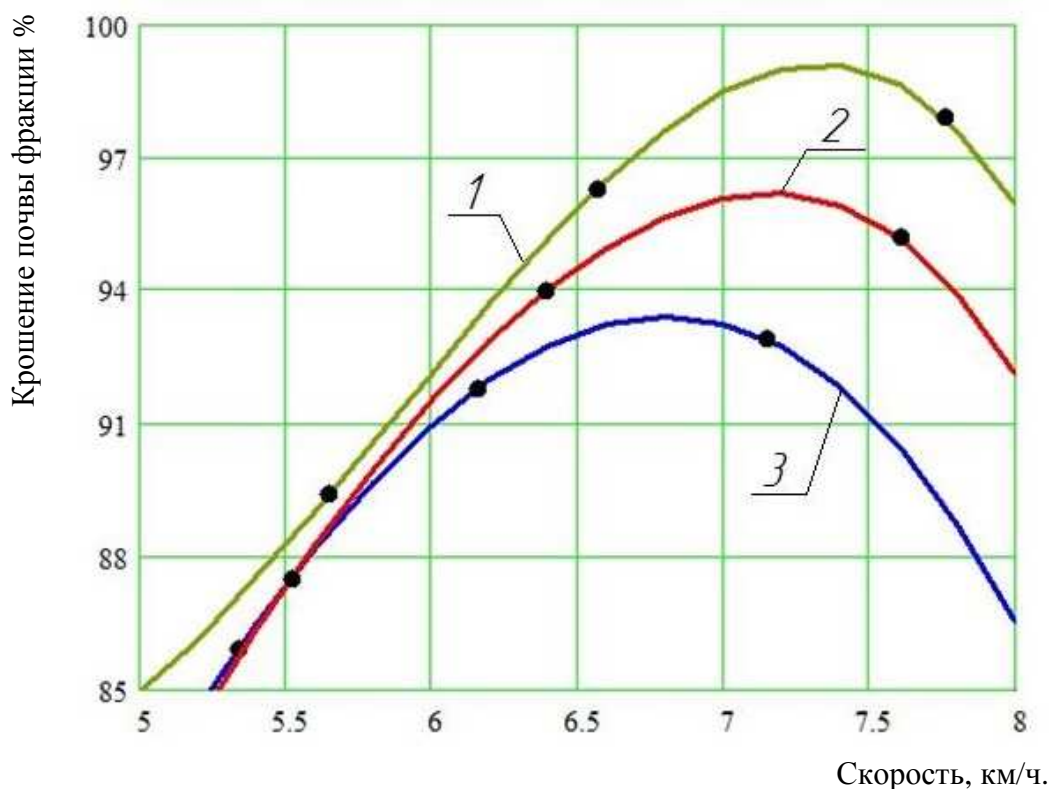
Передача трактора	3	4	5
Фактическая скорость поступательного движения, км/ч.	5,52	6,39	7,61
Крошение почвы, %, размеры фракций, мм.	87,50	94,00	95,20

$$y = \frac{+2,7099 \cdot 10^3}{e^x} - \frac{69,952}{X} + 1,7422 \cdot x \quad (2)$$

Таблица 3 - Параметры работы при обработке ДРО 2

Передача трактора	3	4	5
Фактическая скорость поступательного движения, км/ч.	5,65	6,57	7,76
Крошение почвы, %, размеры фракций, мм.	89,4	96,30	97,90

$$y = \frac{1000}{\frac{-269.1}{e^x} + 699,68 \cdot 10^{-6} \cdot e^x + \frac{67,423}{x}} \quad (3)$$



- 1- при обработке серийными рабочими органами;
- 2 - при обработке ДРО 1; 3 - при обработке ДРО 2

Рисунок 1 – Зависимости крошения почвы от скорости движения и длины ДРО

Как видно (Рисунок 1) сравнительная характеристика крошения почвы при фракционном составе 0 – 50 мм показывает, что крошение почвы лучше при применении ДРО более эффективно при параметрах близких к скорости движения  $V=7,76$  км/ч., Крошение почвы такой фракции составляет 97.90%

Нами были проведены исследования зависимости крошения почвы от скорости движения и ширины захвата дополнительных плоскорежущих рабочих органов в своих исследованиях мы задавались по результатам статистического анализа результатов опыта крошения стандартными и дополнительными плоскорежущими рабочими органами отвального плуга крошение исследуемой фракции от 50-100 мм. таблицы 4-6.

Таблица 4 -Параметры работы при обработке серийным отвальным плугом

Передача трактора	3	4	5
Фактическая скорость поступательного движения, км/ч.	5,34	6,16	7,15
Крошение почвы, %, размеры фракций, мм	9,20	5,10	4,80

Согласно полученным данным в результате проведения полевых исследований, определили закономерность изменения крошения в почвенном горизонте в зависимости от скорости движения пахотного агрегата на заданной передаче трактора, было получено уравнение регрессии по данным табл. 4, формула 4 и ее графическое представление рисунок 2, кривая 1, также по данным табл. 6 получено уравнение регрессии формула 5 ее графическое изображение рисунок 2, кривая 2, и по данным табл. 6 получено уравнение регрессии формула 6 и ее графическое представление рисунок 2, кривая 3.

$$y = \frac{2.7099 \cdot 10^3}{e^x} - \frac{69.952}{x} + 1.7422 \cdot x \quad (4)$$

Таблица 5 - Параметры работы при обработке ДРО 1

Передача трактора	3	4	5
Фактическая скорость поступательного движения, км/ч.	5,52	6,39	7,61
Крошение почвы, %, размеры фракций, мм	9,00	3,20	3,30

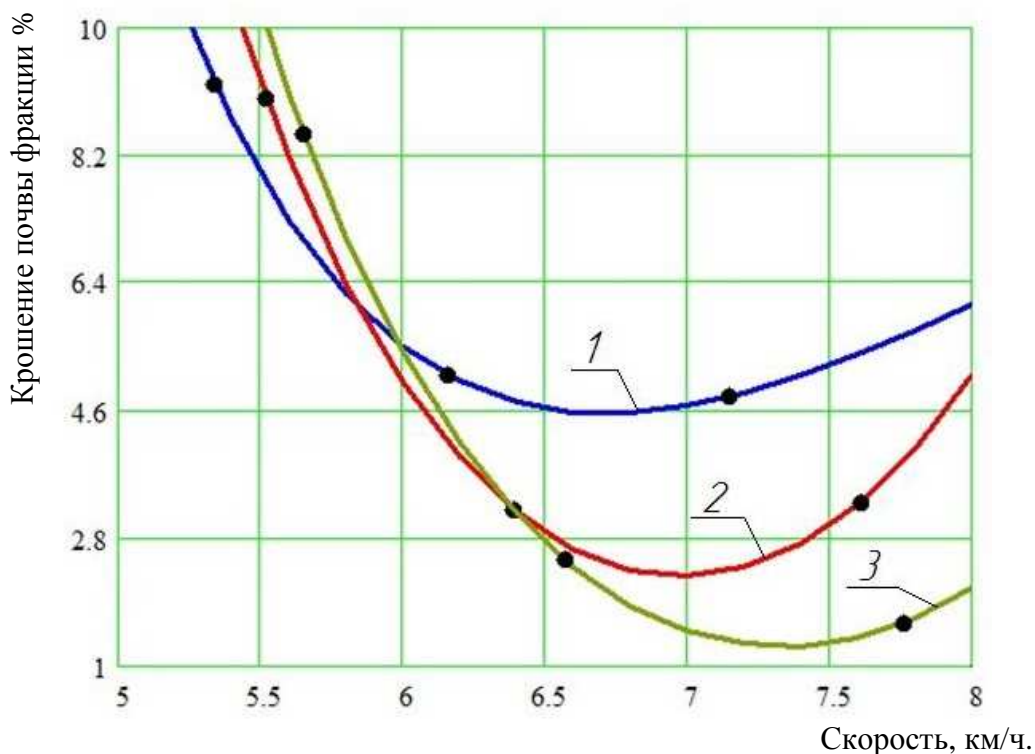
$$y = + \frac{3,0439 \cdot 10^3}{e^x} + 2,2361 \cdot 10^{-3} \cdot e^x - \frac{20,709}{x} \quad (5)$$

Таблица 6 - Параметры работы при обработке ДРО 1

Передача трактора	3	4	5
Фактическая скорость поступательного движения, км/ч.	5,65	6,57	7,76
Крошение почвы, %, размеры фракций, мм	8,50	2,50	1,60

$$y = + \frac{3,2929 \cdot 10^3}{e^x} + 1,1415 \cdot 10^{-3} \cdot e^x - \frac{19,252 \cdot 10}{x} \quad (6)$$





- 1- при обработке серийными рабочими органами;
- 2 - при обработке ДРО 1; 3 - при обработке ДРО 2

Рисунок 2 - Зависимости крошения почвы от скорости движения и длины ДРО

Как видно (Рисунок 2) сравнительная характеристика крошения почвы при фракционном составе от 50-100 мм показывает, что крошение почвы лучше при применении дополнительных рабочих органов более эффективно при скоростях близких к скорости движения  $V=7,76$  км/ч., Крошение почвы такой фракции составляет 1.60 %.

Программой эксперимента были заложены исследования зависимости крошения почвы от скорости движения и ширины захвата дополнительных плоскорежущих рабочих органов задавались по результатам статистического анализа результатов опыта крошения стандартными и модернизированными рабочими органами отвального плуга крошение исследуемой фракции от 100 - 150 мм. таблицы 7-9.

Таблица 7 -Параметры работы при обработке серийным отвальным плугом

Передача трактора	3	4	5
Фактическая скорость поступательного движения, км/ч.	5,34	6,16	7,15
Крошение почвы, %, размеры фракций, мм	3,90	3,10	2,30

Согласно полученным данным в результате проведения полевых исследований, определили закономерность изменения крошения в почвенном горизонте в зависимости от скорости движения пахотного агрегата на заданной передаче трактора, нами получено уравнение регрессии по данным табл. 7 формула 7 и ее графическое представление рисунок 3, кривая 1., также получено уравнение регрессии формула 8 по данным табл. 8 и ее графическое изображение рисунок 3, кривая 2, и получено уравнение регрессии формула 9 по данным табл. 9 и ее графическое изображение рисунок 3, кривая 3.

$$y = \frac{340.33}{e^x} - 1.0088 \cdot 10^{-3} \cdot e^x + 464.08 \cdot 10^{-3} \cdot x \quad (7)$$

Таблица 8 - Исходные параметры работы при обработке ДРО 1

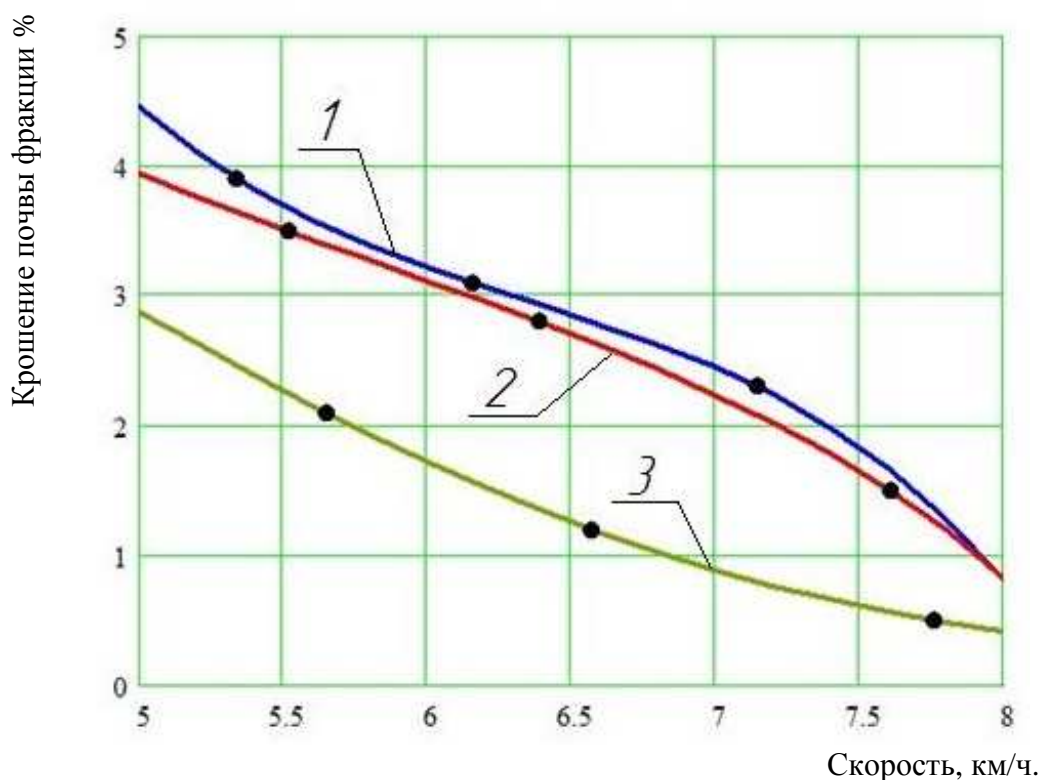
Передача трактора	3	4	5
Фактическая скорость поступательного движения, км/ч.	5,52	6,39	7,61
Крошение почвы, %, размеры фракций, мм	3,50	2,80	1,50

$$y = -546.34 \cdot 10^{-6} \cdot e^x + \frac{20.369}{x} - 9.7129 \cdot 10^{-3} \cdot x \quad (8)$$

Таблица 9 - Исходные параметры работы при обработке ДРО 2

Передача трактора	3	4	5
Фактическая скорость поступательного движения, км/ч.	5,65	6,57	7,76
Крошение почвы, %, размеры фракций, мм	2,10	1,20	0,50

$$y = e^{(+5,1950 \cdot \ln(x) - 1,4609 \cdot x)} \quad (9)$$



- 1- при обработке серийными рабочими органами;
- 2 - при обработке ДРО 1; 3 - при обработке ДРО 2

Рисунок 3 – Зависимости крошения почвы от скорости движения и длины ДРО

Как видно (Рисунок 3) сравнительная характеристика крошения почвы при фракционном составе почвы 100-150 мм показывает, что ее крошение лучше при применении ДРО более эффективно при параметрах близких к скорости движения  $V=7,76$  км/ч., Крошение почвы такой фракции составляет 0.50 %.

Как видно из представленного материала применение дополнительных рабочих органов при возделывании сельскохозяйственных культур имеет перспективное направление [7,8]. Данные рабочие органы положительно влияют на качество протекания технологического процесса основной послойной обработки почвы. При чем, исследуя полученные зависимости можно сделать вывод, что ширина захвата ДРО и скорость движения одинаково значимы для качества

отвальной обработки почвы, а, следовательно, их необходимо учитывать за ранее планируя проведение данной технологической операции [9].

#### Список использованных источников.

1. Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин Машиностроение М.: 1965г. 310 с.
2. Синеоков Г.Н. Полезные и вредные сопротивления плуга [Текст] / Усовершенствование орудий для основной обработки почвы / Материалы НТС ВИСХОМ, вып. 5, М.: 1959, С.343-355.
3. Горячкин В.П. Динамическая теория плуга [Текст] / В.П. Горячкин, Собр. соч. в 7 томах, Т.3, М.: Сельхозгиз, 1937, 164с., с.24-41. Белоусов С.В. Результаты экспериментальных исследований определение степени тягового сопротивления лемешного плуга при обработке тяжелых почв Трубилин Е.И., Белоусов С.В., Лепшина А.И. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 103. С. 673-686.
4. Белоусов С.В. Снижение энергоемкости процесса основной обработки почвы с оборотом пласта Белоусов С.В. В сборнике: Фундаментальные основы современных аграрных технологий и техники. Сборник трудов Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2015. С. 280-283.
5. Белоусов С.В. Лемешный плуг с дополнительными дисковыми рабочими органами Белоусов С.В. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 115. С. 783-797.
6. Белоусов С.В. Лемешный плуг для обработки почвы с оборотом пласта Белоусов С.В., Лепшина А.И., Трубилин М.Е. Сельский механизатор. 2015. № 3. С. 6-7.
7. Белоусов С.В. Обработка почвы комбинированным плугом Белоусов С.В., Трубилин Е.И. В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых. Ответственный за выпуск: А.Г. Кощаев. 2016. С. 317-318.
8. Белоусов С.В. Снижение энергоемкости лемешной вспашки Белоусов С.В. В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 71-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2015 год. Ответственный за выпуск А. Г. Кощаев. 2016. С. 192-193.
9. Белоусов С.В. Лемешный плуг для обработки почвы с оборотом пласта Белоусов С.В., Лепшина А.И., Трубилин М.Е. Сельский механизатор. 2015. № 3. С. 6-7.

#### References

1. Sineokov G.N. Proektirovanie pochvoobrabatyvayushhix mashin Mashinostroenie M.: 1965g. 310 s.
2. Sineokov G.N. Polezny`e i vredny`e soprotivleniya pluga [Tekst] / Usovershenstvovanie orudij dlya osnovnoj obrabotki pochvy` / Materialy` NTS VISXOM, vy`p. 5, M.: 1959, S.343-355.
3. Goryachkin V.P. Dinamicheskaya teoriya pluga [Tekst] / V.P. Goryachkin, Sobr. soch. v 7 tomah, T.3, M.: Sel`xozgiz, 1937, 164s., s.24-41. Belousov S.V. Rezul`taty` e`ksperimental`ny`x issledovaniy opredelenie stepeni tyagovogo soprotivleniya lemeshnogo pluga pri obrabotke tyazhely`x pochv Trubilin E.I., Belousov S.V., Lepshina A.I.

Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014. № 103. S. 673-686.

4. Belousov S.V. Snizhenie e`nergoemkosti processa osnovnoj obrabotki pochvy` s oborotom plasta Belousov S.V. V sbornike: Fundamental`ny`e osnovy` sovremenny`x agrarny`x texnologij i texniki. Sbornik trudov Vserossijskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Nacional`ny`j issledovatel`skij Tomskij politexnicheskij universitet. 2015. S. 280-283.

5. Belousov S.V. Lemeshny`j plug s dopolnitel`ny`mi diskovy`mi rabochimi organami Belousov S.V. Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 115. S. 783-797.

6. Belousov S.V. Lemeshny`j plug dlya obrabotki pochvy` s oborotom plasta Belousov S.V., Lepshina A.I., Trubilin M.E. Sel`skij mexanizator. 2015. № 3. S. 6-7.

7. Belousov S.V. Obrabotka pochvy` kombinirovanny`m plugom Belousov S.V., Trubilin E.I. V sbornike: Nauchnoe obespechenie agropromy`shlennogo kompleksa. Sbornik statej po materialam IX Vserossijskoj konferencii molody`x ucheny`x. Otvetstvenny`j za vy`pusk: A.G. Koshhaev. 2016. S. 317-318.

8. Belousov S.V. Snizhenie e`nergoemkosti lemeshnoj vspashki Belousov S.V. V sbornike: Nauchnoe obespechenie agropromy`shlennogo kompleksa. Sbornik statej po materialam 71-j nauchno-prakticheskoj konferencii prepodavatelej po itogam NIR za 2015 god. Otvetstvenny`j za vy`pusk A. G. Koshhaev. 2016. S. 192-193.

9. Belousov S.V. Lemeshny`j plug dlya obrabotki pochvy` s oborotom plasta Belousov S.V., Lepshina A.I., Trubilin M.E. Sel`skij mexanizator. 2015. № 3. S. 6-7.