

EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR THE STUDY OF A CHISEL UNIT EQUIPPED WITH WORKING BODIES WITH IMPROVED GEOMETRIC CHARACTERISTICS

Shvabauer Yu. A., Subbotin S. I., Gapich D. S., Fomin S. D.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author or E-mail: fsd_58@mail.ru

Received 12.02.2024

Submitted 05.04.2024

Summary

Research on improving the working bodies of the chisel plow is of great importance in terms of improving the energy efficiency of tillage and improving the environmental performance of agriculture

Abstract

Introduction. The development of modernized working bodies for the chisel plow is aimed at optimizing the process of chiseling the soil in order to reduce energy consumption. Research shows that the use of such working bodies helps to improve the tillage process, reduce energy consumption and increase the efficiency of the plow. **Object.** The object of the study is the working body of a chisel plow, made in the form of a chisel. **Materials and methods.** Experimental identification of the properties of the object under study, verification of the validity of accepted hypotheses. Then, on this basis, a comprehensive and in-depth study of the topic of scientific research. **Results and conclusions.** An experimental installation has been prepared for production testing of a chisel plow with upgraded working bodies in real conditions, which will allow assessing its operability and economic feasibility. The results of such an inspection can be used to determine the effectiveness of modernized working bodies and make a decision on their introduction into production. The improvement of working bodies for agricultural machinery plays an important role in improving production efficiency. This makes it possible to improve the quality of tillage, reduce fuel consumption and increase the productivity of agricultural machinery. Through the development of innovations and experimental research, we can create more advanced and efficient working bodies, which will ultimately lead to improved working conditions for agricultural workers and increased agricultural productivity.

Keywords: *chisel units, chisel plough chisel, experimental working bodies of chisel plough.*

Citation. Shvabauer Yu. A., Subbotin S. I., Gapich D. S., Fomin S. D. Experimental installation for the study of a chisel unit equipped with working bodies with improved geometric characteristics. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 2(74). 394-406 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-02-46.

Author's contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read the final version presented and approved it.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.316.22

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧИЗЕЛЬНОГО АГРЕГАТА, ОБОРУДОВАННОГО РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ С УЛУЧШЕННЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Швабауэр Ю. А., аспирант

Субботин С. И., аспирант

Гапич Д. С., доктор технических наук, профессор

Фомин С. Д., доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Разработка модернизированных рабочих органов для чизельного плуга направлена на оптимизацию процесса чизелевания почвы с целью снижения энергозатрат. Исследования показывают, что использование таких рабочих органов способствует улучшению процесса обработки почвы, снижению энергопотребления и повышению эффективности работы плуга. **Объект.** Объектом исследования является рабочий орган чизельного плуга, выполненный в виде долота. **Материалы и методы.** Экспериментальное выявление свойств исследуемого объекта, проверка справедливости принятых гипотез. Затем, на этой основе, всестороннее и глубокое изучение темы научного исследования. **Результаты и выводы.** Подготовлена экспериментальная установка для производственной проверки чизельного плуга с модернизированными рабочими органами в реальных условиях, что позволит оценить его работоспособность и экономическую целесообразность. Результаты такой проверки могут быть использованы для определения эффективности модернизированных рабочих органов.

ванных рабочих органов и принятия решения о их внедрении в производство. Совершенствование рабочих органов для сельскохозяйственной техники играет важную роль в повышении эффективности производства. Это позволяет улучшить качество обработки почвы, снизить расход топлива и повысить производительность работы сельскохозяйственной техники. Благодаря развитию инноваций и проведению экспериментальных исследований, мы можем создавать более совершенные и эффективные рабочие органы, что в конечном итоге приведет к улучшению условий труда сельскохозяйственных работников и увеличению производительности сельского хозяйства.

Ключевые слова: чизельные агрегаты, долото чизельного плуга, экспериментальные рабочие органы чизельного плуга.

Цитирование. Швабауэр Ю. А., Субботин С. И., Гапич Д. С., Фомин С. Д. Экспериментальная установка для исследования чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками. *Известия НВ АУК*. 2024. 2(74). 394-406. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-46.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Среди агротехнических приемов почвообработки, с точки зрения экологических факторов (развитие ветровой и водной эрозии), можно выделить безотвальное рыхление чизельными плугами [1-6]. Данный агротехнический прием применяют, как правило, на «тяжелых» почвах: значение коэффициента удельного сопротивления $6,5-11 \text{ кг/см}^2$; содержание гумуса менее 2%; пониженное значение влажности почвы на момент проведения чизельной обработки (до 12%). К достоинствам чизельной обработки следует отнести: предотвращение развития ветровой и водной эрозии почвы; улучшение их биомеханических и физико-механических показателей; сохранение влаги в почвенных горизонтах; повышение плодородия почвы [7-11].

Из основных недостатков чизельной обработки следует выделить: значительная энергоемкость процесса; сложность применения чизельных орудий на засорённых почвах и почвах пониженной влажностью в виду возникновения процесса глыбообразования и «порозности» пахотного слоя; возникновение эффекта резания почвенного фона без его крошения (на почвах с повышенной влажностью) [12-16].

Стремление ученых уменьшить суммарные затраты на сплошную обработку почвы, заставляет их обращать внимание на физические процессы взаимодействия почвообрабатывающего орудия с почвой, что дает основание для совершенствования геометрии рабочих органов существующих орудий по критериям энергоэффективности [17-23].

Поэтому изучение и разработка методов совершенствования поверхностей рабочих органов орудий для безотвальной обработки почвы, направленных на снижение энергетических затрат на обработку почвы, является актуальной задачей [24-28].

Целью исследования является проведение производственной проверки чизельного плуга с модернизированными рабочими органами в производственных условиях, снижение энергоемкости процесса чизелевания почвы за счет оптимизации геометрических параметров поверхности рабочего органа чизельного плуга.

Материалы и методы. Программа экспериментальных исследований чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками, включала в себя несколько основных разделов:

1. Изготовление опытной партии экспериментальных долот с улучшенной формой поверхности;
2. Создание экспериментальной установки, позволяющей выполнить тяговые испытания рабочей секции чизельного орудия, оборудованной экспериментальными рабочими органами;
3. Создание натурного объекта исследования, в виде чизельного машинно-тракторного агрегата, позволяющего оценить эффективность применения экспериментальных рабочих органов в реальных условиях эксплуатации;
4. Проведение сравнительных полевых испытаний экспериментальных объектов, получение значений регистрируемых параметров в виде осциллограмм, их математическая обработка, построение графических зависимостей исследуемых параметров.

Результаты и обсуждения. Технологический процесс изготовления экспериментальной партии допот с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности включал в себя следующие технологические операции:

- получение отливок рабочего органа с заданными геометрическими характеристиками рабочей поверхности;
- механическая обработка полученных отливок: удаление наплывов, шлифовка поверхности, сверление крепёжных отверстий, нарезание резьбы;
- термическая обработка основных функциональных зон экспериментальных отливок.

Экспериментальные долота было принято изготавливать литьем в песчано-глинистые формы. Для этой цели была изготовлена модель рабочего органа посредством 3D печати, согласно рабочим чертежам, рисунки 1, 2.

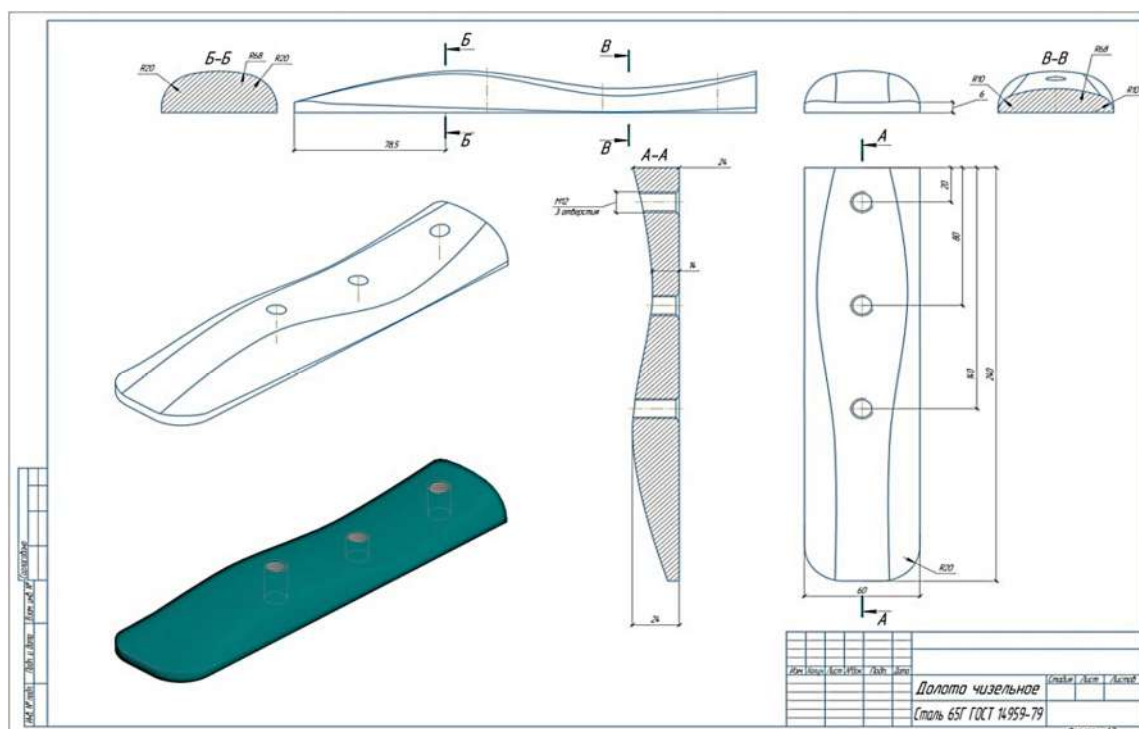


Рисунок 1 – Фрагменты рабочих чертежей экспериментального долота с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности

Figure 1 – Fragments of working drawings of an experimental bit with improved geometric characteristics of the working surface



Рисунок 2 – Модель экспериментального рабочего органа, полученная по средствам 3D – печати

Figure 2 – Model of the experimental working body obtained by means of 3D printing

По полученной 3Д модели рабочего органа в литейной лаборатории ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» была отлита партия экспериментальных долот (Патент на изобретение № 2792117 С1).

В качестве основного материала для изготовления экспериментальных долот, согласно рекомендациям, был выбран высокоуглеродистый сплав ВЧ-50. Экспериментальные долота, после операций механической обработки, были подвергнуты термической обработке, состоящей из изотермической закалки, и низкого отпуска (Ветохин В. И. Системные и физико-механические основы проектирования рыхлителей почвы. 2010).

Создание экспериментальной установки по определению тягового сопротивления рабочей секции чизельного орудия, оборудованной экспериментальными рабочими органами.

Следующий этап программы экспериментальных исследований включал в себя создание экспериментальной установки, способной оценить значение отдельно взятой секции чизельного орудия, оборудованной экспериментальными долотами различной геометрической формы. Основной целью создания такой установки являлось обоснование конечной формы экспериментальных долот как по энергетическим параметрам, так и по технологическим параметрам, предъявляемым к процессу чизелевания почвы.

В качестве основного элемента экспериментальной установки выступала рама садового культиватора с ходовой системой. На раму при помощи переходных звеньев крепилась рабочая секция чизельного агрегата ОЧО-5.

С целью отслеживания влияния исключительно формы рабочих органов на тяговое сопротивление секции с секции были демонтированы дополнительные элементы: отвал, крылья, дополнительные деформаторы, элементы крепления, рисунки 3, 4.



Рисунок 3 – Общий вид экспериментальной установки по определению тягового сопротивления рабочей секции чизельного орудия

Figure 3 – General view of the experimental setup for determining the traction resistance of the working section of a chisel implement



Рисунок 4 – Общий вид экспериментальных рабочих органов чизельного плуга
Figure 4 – General view of the experimental working tools of the chisel plow

В процессе выполнения экспериментальных работ непрерывно фиксировались следующие параметры: горизонтальная составляющая тягового сопротивления секции; крюковое усилие трактора; действительная скорость движения. Эксперименты выполнялись на почвенном фоне стерня озимой пшеницы. Влажность почвенного фона в процессе выполнения экспериментальных работ варьировалась от 8 до 16 %.

Устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор.

Предложено устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор, которое включает промежуточную раму, навешиваемую на нижние и верхнюю тяги трехточечной гидронавесной системы трактора, несущую двуплечие рычаги, шарнирно закрепленные соосно на промежуточной раме и измерительное средство. Свободные концы двуплечих рычагов, оси поворота которых расположены вертикально, соединены с нижними тягами гидронавесной системы и снабжены сопряженными между собой зубчатыми секторами. На валу вращения одного из соединенных с нижними тягами рычагов установлено зубчатое колесо, сопряженное с шестерней, смонтированной на вертикально расположенной оси вращения кривошипа, соединенного с верхней тягой гидронавесной системы. Один конец упомянутого вала двуплечего рычага жестко закреплен на основании. Измерительное средство выполнено в виде датчика крутящего момента, размещенного между зубчатым колесом и концом вала, жестко закрепленным на промежуточной раме. Обеспечивается повышение точности измерения горизонтального усилия от навесной сельскохозяйственной машины или орудия, рисунки 5, 6.

Задача, решаемая изобретением, – упрощение конструкции за счет использования единого измерительного элемента в виде датчика крутящего момента.

Технический результат – повышение точности измерения горизонтального усилия от навесной сельскохозяйственной машины или орудия.

Повышение точности измерения горизонтального усилия от навесной сельскохозяйственной машины или орудия достигается устройством для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор, включающим промежуточную раму, навешиваемую на нижние и верхнюю тяги трехточечной гидронавесной системы трактора, несущую двуплечие рычаги, соосно закреплен-

ные на промежуточной раме, и измерительное средство, отличающимся тем, что оси поворота рычагов расположены вертикально, свободные концы двуплечих рычагов, соединенных с нижними тягами гидронавесной системы, снабжены сопряженными между собой зубчатыми секторами, на валу вращения одного из соединенных с нижними тягами рычагов установлено зубчатое колесо, сопряженное с шестерней, смонтированной на вертикально расположенной оси вращения кривошипа, соединенного с верхней тягой гидронавесной системы, при этом один конец вала упомянутого двуплечего рычага жестко закреплен на основании, а измерительное средство выполнено в виде датчика крутящего момента, размещенного между зубчатым колесом и концом вала, жестко закрепленным на промежуточной раме.

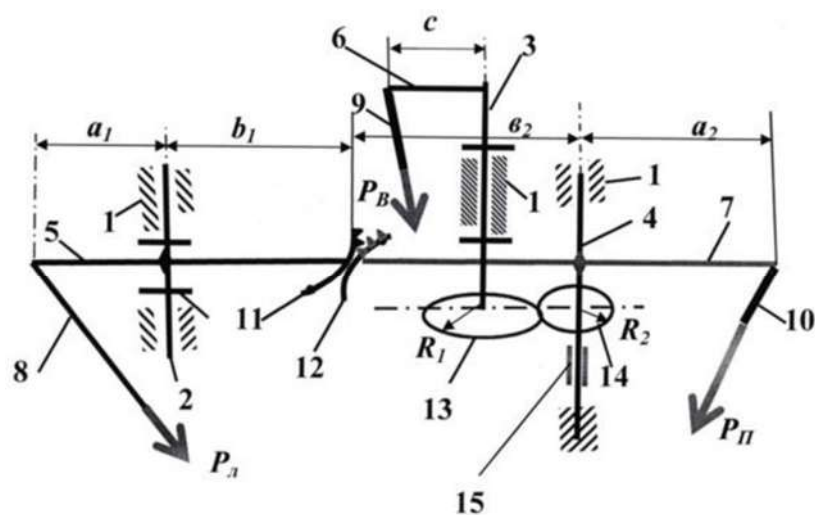


Рисунок 5 – Кинематическая схема устройства для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор
Figure 5 – Kinematic diagram of a device for measuring the horizontal force from an agricultural machine mounted on a tractor



Рисунок 6 – Общий вид устройства для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор
Figure 6 – General view of a device for measuring the horizontal force from an agricultural machine mounted on a tractor

Изобретение поясняется чертежами, где на рисунке 5 схематически представлена кинематическая схема заявленного устройства.

На промежуточной плите, несущей опоры с радиально упорными подшипниками 1 вертикально установлены валы 2, 3, 4, к которым жестко прикреплены двуплечие рычаги 5, 6, 7. К одним концам рычагов 5, 6, 7 подсоединяются три тяги гидронавесной системы трактора 8, 9, 10. На вторых концах двуплечих рычагов 5 и 7 закреплены зубчатые секторы 11 и 12. На валу 3 установлено зубчатое колесо 13, а на валу 4 – зубчатая шестерня 14. Вал 4 снизу жестко соединен с переходной плитой. На валу 4 ниже колеса 14 установлен датчик 15 крутящего момента, показания которого зависят от величины крутящего момента в валу под ним. Вертикальное расположение осей 2 и 4 поворота двуплечих рычагов и оси 3 вращения кривошипа, закрепленных в радиально упорных подшипниках 1, обеспечивает передачу на датчик 15 крутящего момента только суммарного горизонтального усилия

При работе устройства усилия от тяг 8, 9, 10 гидронавесной системы трактора приводят к перекачиванию зубчатых секторов 11 и 12, суммируя на валу 4 усилия от нижних тяг, а шестерни 13 и 14 также добавляют усилие от верхней тяги 9.

Крутящий момент от горизонтальной составляющей $P_{\text{л}}$ составляет $M_{\text{л}} = P_{\text{лг}} a_1 v_2 / v_1$. Крутящий момент от правой горизонтальной $P_{\text{п}}$ составляющей – $M_{\text{п}} = P_{\text{пг}} a_2$. Крутящий момент от верхней горизонтальной $P_{\text{в}}$ составляющей $M_{\text{в}} = P_{\text{вг}} a_1 R_2 / R_1$.

Для того чтобы при одинаковых значениях усилий $P_{\text{лг}}$, $P_{\text{пг}}$, $P_{\text{в}}$, например, 10 кН, показания датчика крутящего момента были одинаковыми, необходимо выполнение соотношения:

$$100a_2 = 100a_1 \frac{v_2}{v_1} = 100c \frac{R_2}{R_1},$$

или

$$\frac{a_1 v_2}{a_2 v_1} = \frac{c R_2}{a_2 R_1} = 1$$

где a_1 и a_2 – длины внешних рычагов 5 и 7, мм;

b_1 и b_2 – радиусы делительных окружностей зубчатых секторов 11 и 12, мм;

c – радиус кривошипа 6, мм.

За счет заявленной совокупности признаков, включающей зубчатые секторы, шестерню и колесо, а также вертикальное расположение осей поворота двуплечих рычагов и вращения кривошипа, обеспечивающих передачу на датчик крутящего момента только суммарного горизонтального усилия, достигается описанный технический результат, (патент RU 2 776191 C1)

Способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины

Способ и устройство определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины, включает закрепление на рабочем органе силоизмерительных элементов и определение величины равнодействующей продольных сил, действующих на рабочий орган, посредством тензодатчиков. Одновременно измеряют величину изгибающего момента от упомянутой равнодействующей относительно фиксированной точки, а мгновенное расстояние от фиксированной точки до точки приложения равнодействующей определяется по зависимости:

$$H = \frac{M}{P}$$

где H – мгновенное расстояние от фиксированной точки до точки приложения равнодействующей продольных сил, м; M – значение изгибающего момента в фиксированной точке, Н·м; P – значение равнодействующей продольных сил, Н.

Технический результат – определение точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины, рисунок 7.

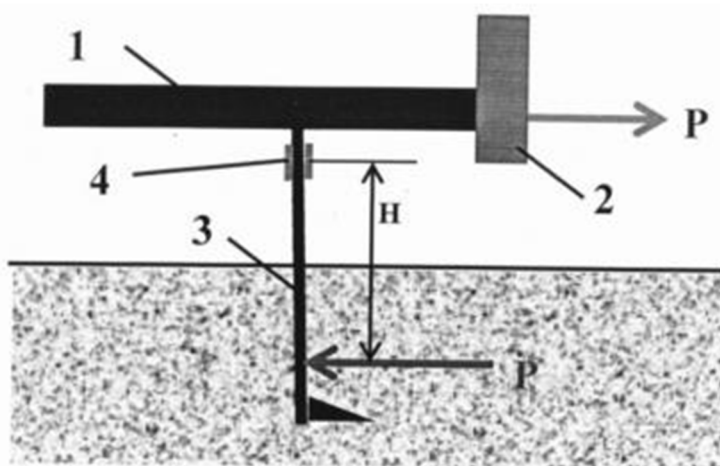


Рисунок 7 – Общий вид устройства для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины
Figure 7 – General view of the device for determining the point of application of the resultant longitudinal force acting on the working body of a tillage machine

Задача, решаемая изобретением – расширение функциональных возможностей известных технических решений для определения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины.

Технический результат – определение дополнительно точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины.

Изобретение поясняется чертежом, где на рисунке 7 схематично изображен общий вид заявленного устройства.

Устройство содержит раму 1 с датчиком 2 значения равнодействующей продольных сил, действующих на рабочий орган 3, перемещаемый присоединенным трактором (на чертеже не показан). Устройство снабжено датчиком 4, например, тензометрического типа, измеряющим изгибающий момент от упомянутой равнодействующей относительно фиксированной точки. Датчики 2 и 4 связаны со входами устройства для вычисления (на чертеже не показано).

Заявленный способ реализуют следующим образом.

На рабочем органе 3 предварительно закрепляют силоизмерительные элементы 2 для определения величины равнодействующей продольных сил, действующих на рабочий орган 3, и 4. Выходы силоизмерительных элементов 2 и 4 подключают ко входам вычислительного устройства. В процессе перемещения рабочего органа 3 на него действуют усилия со стороны почвы, при этом одновременно измеряют равнодействующую P горизонтальных усилий и величину изгибающего момента M от упомянутой равнодействующей относительно фиксированной точки. Мгновенное расстояние H от фиксированной точки до точки приложения равнодействующей определяется вычислительным устройством по математической зависимости, приведенной в формуле изобретения.

За счет одновременного измерения равнодействующей продольных усилий, действующих на рабочий орган почвообрабатывающего агрегата, и момента от этой равнодействующей относительно фиксированной точки, и вычисления мгновенного значения положения равнодействующей продольных усилий, согласно приведенной математической зависимости, реализуемого посредством вычислительного устройства, достигается заявленный технический результат (патент RU 2801775 С1).



Рисунок 8 – Измерение горизонтальной составляющей тягового сопротивления чизельной стойки

Figure 8 – Measurement of the horizontal component of the traction resistance of the chisel strut

Объект исследования и регистрируемые параметры

В качестве объекта исследования был выбран чизельный машинно-тракторный агрегат, состоящий из трактора ДТ – 75М и чизельного плуга ОЧО-5. В процессе проведения натурных испытаний регистрировались следующие параметры: крюковая нагрузка трактора; действительная скорость движения агрегата. Крюковая нагрузка трактора замерялась при помощи тензометрических пальцев, установленных в верхней и нижних тягах навесной системы трактора. Действительная скорость движения агрегата методом «пятого колеса»

Технические средства регистрации и обработки измеряемых величин

Для регистрации и обработки силовых и кинематических величин, в процессе выполнения технологического процесса чизелевания, применялась измерительная система, состоящая из переносного компьютера; аналого-цифрового преобразователя Е 14-440М; многоканального усилителя сигнала ТОПАЗ -3-01 (рисунок 10).

Аналого-цифровой преобразователь Е 14-440М предназначен для регистрации аналоговых сигналов на переносных компьютерных устройствах. Его основной особенностью является использование цифрового процессора ADSP-2185, позволяющий производить различные трансформации входного сигнала до передачи их в компьютер. Назначение модуля заключается в трансформации входного аналогового сигнала в цифровую форму.

Поддержку модуля Е-440 осуществляет программный продукт L-Graph, который является многоканальным осциллографом-спектроанализатором-регистратором с достаточно простым интерфейсом.

Программное обеспечение «PowerGraph» предназначено для записи, обработки и хранения аналоговых сигналов, регистрируемых с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП). ПО «PowerGraph» позволяет использовать персональный компьютер в качестве стандартных измерительных и регистрирующих приборов (вольтметры, самописцы, осциллографы, спектроанализаторы и т.д.).



Рисунок 10 – Система регистрации измеряемых параметров
Figure 10 – System for recording measured parameters

Назначение ПО «PowerGraph»:

- сбор данных с различных измерительных устройств и приборов;
- регистрация и визуализация данных в режиме реального времени;
- редактирование, математическая обработка и анализ данных;
- хранение, импорт и экспорт данных.

Рабочее окно программного продукта «PowerGraph» представлено на рисунке 11, там же показаны осциллограммы измеряемых величин.

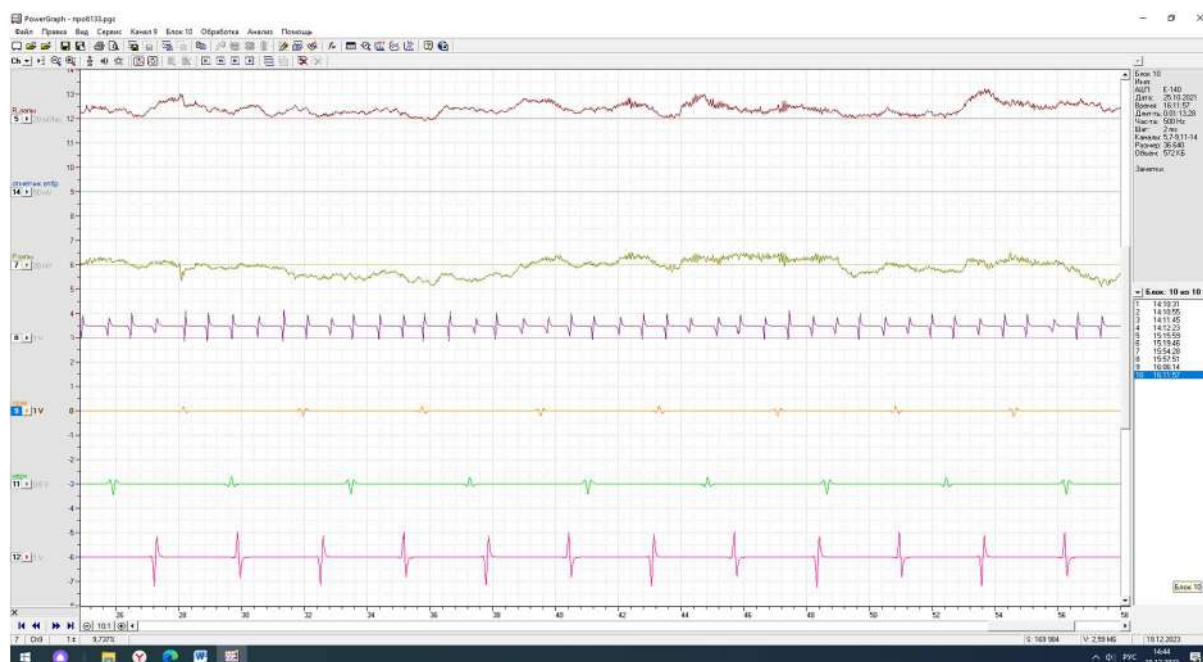


Рисунок 11 – Фрагмент регистрируемых параметров
Figure 11 – Fragment of registered parameters

Заключение. 1. Разработана программа экспериментальных исследований чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками, позволяющая оценить эффективность их применения.

2. В качестве основного материала для изготовления экспериментальных долот, был выбран высокоуглеродистый сплав ВЧ-50. Экспериментальные долота, после операций механической обработки, были подвергнуты термической обработке, состоящей из изотермической закалки, и низкого отпуска.

3. Предложено устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор, а также способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины, что позволяет расширить функциональные возможности известных технических решений для определения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины.

4. В качестве объекта исследования был выбран чизельный машинно-тракторный агрегат, состоящий из трактора ДТ – 75М и чизельного плуга ОЧО-5. В процессе проведения натурных испытаний регистрировались следующие параметры: крюковая нагрузка трактора; действительная скорость движения агрегата.

5. Для регистрации и обработки силовых и кинематических величин, в процессе выполнения технологического процесса чизелевания, применялась измерительная система, состоящая из переносного компьютера; аналого-цифрового преобразователя Е 14-440М; многоканального усилителя сигнала ТОПАЗ-3-01.

Conclusions. 1. A program of experimental studies of a chisel unit equipped with working bodies with improved geometric characteristics has been developed, which makes it possible to evaluate the effectiveness of their application.

2. High-carbon alloy HF-50 was chosen as the main material for the manufacture of experimental chisels. The experimental bits, after machining operations, were subjected to heat treatment consisting of isothermal quenching and low tempering.

3. A device is proposed for measuring the horizontal force from an agricultural machine mounted on a tractor, as well as a method and device for determining the point of application of the resultant longitudinal force acting on the working body of a tillage machine, which allows expanding the functionality of known technical solutions for determining the resultant longitudinal force acting on the working body of a tillage machine.

4. A chisel machine and tractor unit consisting of a tractor DT - 75M and a chisel plow OCHO–5 was chosen as the object of research. During the field tests, the following parameters were recorded: the hook load of the tractor; the actual speed of the unit.

5. For registration and processing of power and kinematic quantities, during the execution of the chiseling technological process, a measuring system consisting of a portable computer; an analog-to-digital converter E 14-440M; a multichannel signal amplifier TOPAZ-3-01 was used.

Библиографический список

1. Ветохин В. И. О динамике формы поверхности рабочих органов почворыхлителей. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2010. № 6. С. 30-35.
2. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И. Оптимальный профиль передней поверхности чизельного рабочего органа. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 2. С. 26-30.
3. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 5. С. 17-23.
4. Борисенко И. Б., Доценко А. Е. Технические и технологические особенности комбинированного рабочего органа. Нива Поволжья. 2015. № 3 (36). С. 89-96.
5. Борисенко И. Б., Соколова М. В. Технологическая схема рабочего органа для полосной глубокой обработки почвы. Нива Поволжья. 2014. № 3 (32). С. 44-48.
6. Izmailov A., Liskin I., Lobachevskii Ya., Sidorov S., Khoroshenkov V., Mironova A., Luzhnova E. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. Russian Agricultural Sciences. 2017. V. 43. N 1. Pp. 71-74.
7. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И. Физические аспекты суглинистой почвы. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2015. 92 с.
8. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И., Комогорцев В. Ф. Обоснование параметров почворежущих рабочих органов для условий эксплуатации на суглинистых почвах. Москва: Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2018. 304 с.
9. Лискин И. В., Лобачевский Я. П., Миронов Д. А. и др. Результаты лабораторных исследований почворежущих рабочих органов. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 41-47.
10. Лобачевский Я. П., Лачуга Ю. Ф., Измаилов А. Ю., Шогенов Ю. Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства. Техника и оборудование для села. 2023. № 3 (309). С. 2-12.

11. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов стернового культиватора. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 2. С. 183-191.
12. Доценко А. Е., Борисенко И. Б. Оптимизация конструктивных и технологических параметров отвально-чизельного рабочего органа. Знание. 2015. № 12-1. С. 82-88.
13. Борисенко И. Б., Сидоров А. Н., Мезникова М. В., Сытилин М. Н. Технологический процесс основной обработки как фактор ресурсосбережения при возделывании сельскохозяйственных культур. Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2020. С. 112-118.
14. Dzyuba O., Dzyuba A., Polyakov A., Volokh V., Antoshchenkov R., Mykhailov A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 3 (1-99). Pp. 55-65.
15. Бердышев В. Е., Цепляев А. Н., Шапоров М. Н., Харлашин А. В., Седов А. В., Цепляев В. А., Борисенко И. Б. Теория и расчет технологических параметров сельскохозяйственных машин. Волгоград, 2018.
16. Васьков А. А., Дорохов А. С., Романенко В. Н. Применение методов начертательной геометрии для графического построения развертывающихся рабочих поверхностей плугов. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2012. № 1 (52). С. 42-44.
17. Васьков А. А., Дорохов А. С., Трушина Л. Н. Графическое построение рабочих поверхностей корпусов плугов. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2012. № 2 (53). С. 51-53.
18. Борисенко И. Б., Иванцова Е. А., Плещачев Ю. Н., Сидоров А. Н. Новые технологии обработки почвы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1 (25). С. 14-16.
19. Путрин А. С., Терехов О. Н., Циклер В. В., Утенков Г. Л. Основные характеристики движения почвенных частиц по криволинейной поверхности рабочего органа. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2008. № 1 (17). С. 93-98.
20. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Обоснование оптимальных режимов работы культиваторных лап на виброударной подвеске. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 3 (58). С. 69-73.
21. Костылева Л. В., Гапич Д. С., Борисенко И. Б. Проблемные вопросы эксплуатации рабочих органов чизельных орудий и пути их решения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3 (39). С. 176-179.
22. Мазитов Н. К., Лобачевский Я. П., Рахимов Р. С. и др. Российская технология обработки почвы и посева на основе собственных конкурентоспособных инновационных машин. Достижения науки и техники АПК. 2014. № 7. С. 68-70.
23. Мазитов Н. К., Лобачевский Я. П., Дмитриев С. Ю. и др. Модернизированная технология и техника для обработки почвы и посева в экстремальных условиях. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 6. С. 63-67.
24. Лобачевский Я. П., Лискин И. В., Сидоров С. А. и др. Разработка и технология изготовления почвообрабатывающих рабочих органов. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 4. С. 3-8.
25. Измайлов А. Ю., Сидоров С. А., Лобачевский Я. П. и др. Новые материалы и технологии нанесения твердосплавных покрытий для деталей почвообрабатывающих машин. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2016. № 2. С. 66-69.
26. Лобачевский Я. П., Комогорцев В. Ф., Старовойтов С. И., Храмовских К. А. Анализ тягового сопротивления элементов цилиндрического плужного корпуса. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 2. С. 11-15.
27. Сидоров С. А., Лобачевский Я. П., Миронов Д. А., Золотарев А. С. Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 2. С. 10-16.
28. Измайлов А. Ю., Лискин И. В., Лобачевский Я. П. и др. Применение теории подобия для моделирования износа почворежущих лезвий в искусственной абразивной среде. Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 6. С. 48-51.

References

1. Vetokhin V. I. On the Dynamics of the Shape of the Surface of the Working Organs of Soil Cultivators. Tractors and agricultural machinery. 2010. № 6. Pp. 30-35.
2. Lobachevsky Y. P., Starovoitov S. I. Optimal Profile of the Front Surface of the Chisel Working Body. Agricultural Machinery and Technologies. 2018. V. 12. № 2. Pp. 26-30.
3. Lobachevsky Y. P., Starovoitov S. I. Theoretical and Technological Aspects of the Work of the Loosening Working Organ. Agricultural Machinery and Technologies. 2016. № 5. Pp. 17-23.
4. Borisenko I. B., Dotsenko A. E. Technical and Technological Features of the Combined Working Body. Niva of the Volga region. 2015. № 3 (36). Pp. 89-96.
5. Borisenko I. B., Sokolova M. V. Technological Scheme of the Working Body for Strip Deep Soil Cultivation. Niva of the Volga region. 2014. № 3 (32). Pp. 44-48.
6. Izmailov A., Liskin I., Lobachevskii Ya., Sidorov S., Khoroshenkov V., Mironova A., Luzhnova E. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. Russian Agricultural Sciences. 2017. V. 43. No 1. Pp. 71-74.
7. Lobachevsky Y. P., Starovoitov S. I. Physical Aspects of Loamy Soil. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2015. 92 p.
8. Lobachevsky Y. P., Starovoitov S. I., Komogortsev V. F. Substantiation of Parameters of Soil-Cutting Working Bodies for Operating Conditions on Loamy Soils. Moscow: Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 2018. 304 p.
9. Liskin I. V., Lobachevsky Y. P., Mironov D. A., et al. Results of Laboratory Studies of Soil-Cutting Working Bodies. Agricultural Machinery and Technologies. 2018. V. 12. № 4. Pp. 41-47.

10. Lobachevsky Y. P., Lachuga Y. F., Izmailov A. Yu., Shogenov Y. Kh. Scientific and Technical Achievements of Agroengineering Scientific Organizations in the Context of Digital Transformation of Agriculture. Machinery and equipment for the village. 2023. № 3 (309). Pp. 2-12.
11. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Theoretical prerequisites for bionic justification of the parameters of the working bodies of a stubble cultivator. Agrarian Science of the Euro-North-East. 2019. V. 20. № 2. Pp. 183-191.
12. Dotsenko A. E., Borisenko I. B. Optimization of Structural and Technological Parameters of the Moldboard-Chisel Working Body. Knowledge. 2015. № 12-1. Pp. 82-88.
13. Borisenko I. B., Sidorov A. N., Meznikova M. V., Sytilin M. N. Technological Process of Basic Processing as a Factor of Resource Saving in the Cultivation of Agricultural Crops. Optimization of Agricultural Land Use and Strengthening of the Export Potential of the Agro-Industrial Complex of the Russian Federation on the Basis of Convergent Technologies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2020. Pp. 112-118.
14. Dzyuba O., Dzyuba A., Polyakov A., Volokh V., Antoshchenkov R., Mykhailov A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 3 (1-99). Pp. 55-65.
15. Berdyshev V. E., Tseplyaev A. N., Shaprov M. N., Kharlashin A. V., Sedov A. V., Tseplyaev V. A., Borisenko I. B. Theory and Calculation of Technological Parameters of Agricultural Machines. Volgograd, 2018.
16. Vaskov A. A., Dorokhov A. S., Romanenko V. N. Application of Descriptive Geometry Methods for Graphic Construction of Unfolding Plough Working Surfaces. Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin". 2012. № 1 (52). Pp. 42-44.
17. Vaskov A. A., Dorokhov A. S., Trushina L. N. Graphic construction of working surfaces of plough bodies. Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin". 2012. № 2 (53). Pp. 51-53.
18. Borisenko I. B., Ivantsova E. A., Pleskachev Yu. New technologies of tillage. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2012. № 1 (25). Pp. 14-16.
19. Putrin A. S., Terekhov O. N., Tsikler V. V., Utenkov G. L. Main Characteristics of Soil Particle Motion on the Curved Surface of the Working Body. Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2008. № 1 (17). Pp. 93-98.
20. Babitskii L. F., Sobolevskii I. V., Kuklin V. A. Substantiation of Optimal Operating Modes of Cultivator Tines on Vibration Impact Suspension. Agrarian Science of the Euro-North-East. 2017. № 3 (58). Pp. 69-73.
21. Kostyleva L. V., Gapich D. S., Borisenko I. B. Problematic Issues of Operation of Working Organs of Chisel Guns and Ways to Solve Them. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2015. № 3 (39). Pp. 176-179.
22. Mazitov N. K., Lobachevsky Y. P., Rakhimov R. S., et al. Russian Technology of Soil Cultivation and Sowing Based on Own Competitive Innovative Machines. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2014. № 7. Pp. 68-70.
23. Mazitov N. K., Lobachevsky Y. P., Dmitriev S. Yu., et al. Modernized Technology and Technique for Soil Treatment and Sowing in Extreme Conditions. Proceedings of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2014. № 6. Pp. 63-67.
24. Lobachevsky Y. P., Liskin I. V., Sidorov S. A., et al. Development and Technology of Production of Soil Cultivating Working Bodies. Agricultural Machinery and Technologies. 2016. № 4. Pp. 3-8.
25. Izmailov A. Yu., Sidorov S. A., Lobachevsky Y. P., et al. New Materials and Technologies for Carbide Coating for Tillage Machine Parts. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2016. № 2. Pp. 66-69.
26. Lobachevsky Y. P., Komogortsev V. F., Starovoitov S. I., Khramovskikh K. A. Analysis of Traction Resistance of Cylindroidal Plough Body Elements. Agricultural Machinery and Technologies. 2016. № 2. Pp. 11-15.
27. Sidorov S. A., Lobachevsky Y. P., Mironov D. A., Zolotarev A. S. Influence of Geometric and Installation Parameters of Plough Working Bodies on Agrotechnical and Power Characteristics. Agricultural Machinery and Technologies. 2020. V. 14. № 2. Pp. 10-16.
28. Izmailov A. Yu., Liskin I. V., Lobachevsky Y. P., et al. Application of similarity theory for modeling the wear of soil-cutting blades in an artificial abrasive environment. Russian Agricultural Science. 2016. № 6. Pp. 48-51.

Информация об авторах

Швабауэр Юрий Александрович, аспирант кафедры "Электроснабжение и энергетические системы" ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Субботин Станислав Игоревич, аспирант кафедры "Электроснабжение и энергетические системы" ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Гапич Дмитрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Электроснабжение и энергетические системы" ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика», заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Author's Information

Shvabauer Yuriy Aleksandrovich, PhD student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Subbotin Stanislav Igorevich, PhD student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Gapich Dmitry Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Energy Systems Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru