



УДК 631.316.022 Н.Н. Устинов, А.А. Маратканов, А.С. Мартыненко, А.Н. Верещагин  
N.N. Ustinov, A.A. Maratkanov, A.S. Martynenko, A.N. Vereshchagin

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ АКТИВНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА КУЛЬТИВАТОРА СО СТОЙКОЙ В ВИДЕ ГИБКОГО ТРУБЧАТОГО ЭЛЕМЕНТА

### THE RESULTS OF LABORATORY AND FIELD TRIALS OF ACTIVE GROUND TOOL OF CULTIVATOR WITH A LEG IN THE FORM OF A FLEXIBLE TUBULAR ELEMENT

**Ключевые слова:** культиватор, активный рабочий орган, стойка, рыхлительная лапа, гибкий трубчатый элемент, мехатронная система управления, гидравлический привод, тяговое сопротивление, вибрация, крошение почвы.

Представлены результаты лабораторно-полевых испытаний по определению энергетических и качественных показателей работы активного рабочего органа культиватора с С-образной стойкой в виде гибкого трубчатого элемента, представляющую собой герметичную полую трубу некруглого поперечного сечения. При подаче импульсного давления в полость стойки свободный конец с рыхлительной лапой совершает вынужденные колебания, что позволяет снизить тяговое сопротивление и обеспечить оптимальные режимы колебаний рабочего органа на разных по физико-механическим свойствам почвах. Для проведения разработана и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая исследовать влияние на функцию отклика тягового сопротивления следующих факторов: глубина обработки, частота колебаний рабочего органа, скорость движения агрегата. Установка имеет мехатронную систему управления режимом вынужденных колебаний рабочего органа. Планирование эксперимента основывалось на использовании D-оптимальных планов, обеспечивающих получение минимальной обобщенной дисперсии коэффициентов уравнения. В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, позволяющее определять тяговое сопротивление в зависимости от глубины обработки, частоты колебаний рабочего органа, скорости движения агрегата. Установлено, что при культивации почвы новым рабочим органом на глубину до 15 см тяговое сопротивление при повышении частоты вынужденных колебаний уменьшается. Так, при скоростях до 15 км/ч и частоте вибрации 31,5 Гц тяговое сопротивление рабочего органа ниже на 30% по сравнению с базовым. Степень крошения при обработке новым рабочим органом при частоте колебаний 31,5 Гц в 2,2 раза выше по

сравнению с базовым. При культивации на скоростях до 15 км/ч новый рабочий орган обеспечивает более высокую устойчивость работы при глубине обработки до 15 см.

**Keywords:** cultivator, active ground tool, leg, ripper point, flexible tubular element, mechatronic control system, hydraulic drive, land resistance, vibration, soil crumbling.

The results of laboratory and field tests to determine the energy and quality indicators of the active ground tool cultivator with C-shaped counter in the form of a flexible tubular member are presented; the tool is a sealed hollow tube of non-circular cross-section. When a pulse pressure in the cavity of the free end of the leg with ripper claw performs forced oscillations, thereby reducing the land resistance and provide optimal modes of ground tool vibrations on different physico-mechanical properties of soils. The developed and manufactured experimental setup allows exploring the effect on the land resistance of the following factors response function: operating depth, the frequency of the ground tool vibration, operating speed. The unit has a mechatronic mode control system of forced ground tool vibrations. The experimental design is based on the use of D-optimal design, provides a minimum of the generalized dispersion coefficients of the equation. As a result, the experimental data obtained regression equation enabling to determine the land resistance depending on the operating depth, the frequency of oscillations of the ground tool, the operating speed. It is found that when the new cultivation soil ground tool to a depth of 15 cm with increasing traction resistance forced oscillation frequency decreases because at speeds up to 15 km h, and the vibration frequency of 31.5 Hz of the ground tool tractive resistance lower by 30% compared to baseline. The degree of crumbling when operating a new ground tool at an oscillation frequency of 31.5 Hz to 2.2 times higher compared to the baseline. When cultivating at speeds up to 15 km h, the new actuator provides a higher stability of the processing at a depth of 15 cm.

**Устинов Николай Николаевич**, к.т.н., доцент, каф. лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики, Государственный аграрный университет Северного Зауралья. E-mail: UstinovNikNik@mail.ru.

**Маратканов Артем Анатольевич**, аспирант, каф. лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики, Государственный аграрный университет Северного Зауралья. E-mail: notgsha@mail.ru.

**Мартыненко Александр Сергеевич**, аспирант, каф. лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики, Государственный аграрный университет Северного Зауралья. E-mail: martynenko\_91@inbox.ru.

**Верещагин Андрей Николаевич**, преп., каф. лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики, Государственный аграрный университет Северного Зауралья. E-mail: UstinovNikNik@mail.ru.

**Ustinov Nikolay Nikolayevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Forestry, Timber Processing and Applied Mechanics, State Agricultural University of Northern Trans-Urals. E-mail: UstinovNikNik@mail.ru.

**Maratkanov Artem Anatolyevich**, post-graduate student, Chair of Forestry, Timber Processing and Applied Mechanics, State Agricultural University of Northern Trans-Urals. E-mail: notgsha@mail.ru.

**Martynenko Aleksandr Sergeevich**, post-graduate student, Chair of Forestry, Timber Processing and Applied Mechanics, State Agricultural University of Northern Trans-Urals. E-mail: martynenko\_91@inbox.ru.

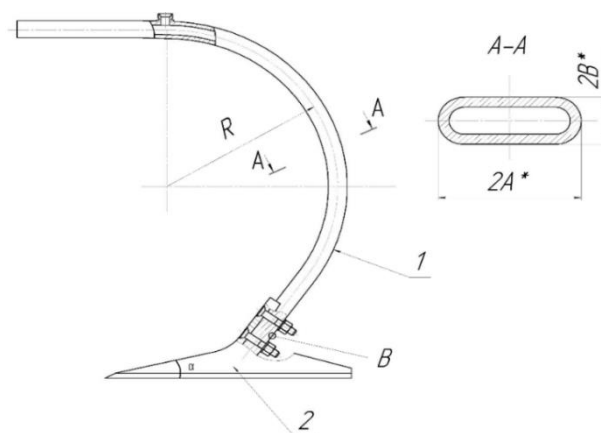
**Vereshchagin Andrey Nikolayevich**, Asst., Chair of Forestry, Timber Processing and Applied Mechanics, State Agricultural University of Northern Trans-Urals. E-mail: UstinovNikNik@mail.ru.

### Введение

Обработка почвы – одна из самых энергоемких операций сельскохозяйственного производства. Одним из направлений, позволяющих снизить энергоемкость при обработке почвы, является применение конструкций почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами [1]. Вместе с тем существующие конструкции виброприводов не получили широкого применения ввиду значительной металлоемкости, невысокой надежности. Применение гидравлических импульсных приводов ограничивается отсутствием рабочих органов, позволяющих работать в условиях значительного загрязнения и абразивной среды, поэтому разработка рабочих органов, позволяющих передавать импульсное воздействие на почву, и не имеющих узлов, работающих в условиях внешнего трения, является актуальной задачей.

Для решения данной проблемы предложена конструкция рабочего органа культиватора [2-5], С-образная стойка которого выполнена в виде гибкого трубчатого элемента, представляющего собой герметичную трубу некруглого поперечного сечения (рис. 1). При подаче давления в полость стойки 2 через штуцер рабочей жидкости её свободный конец с рыхлительной лапой 1 совершают перемещение. При подаче пульсирующего давления рыхлительная лапа совершает колебательные движения с определенной амплитудой и частотой, которые зависят от параметров подаваемого давления. Изменяя параметры давления, можно задать различные режимы колебания, что позволит снизить тяговое сопротивление.

**Цель** экспериментальных исследований заключается в определении энергетических и качественных показателей работы нового рабочего органа.



**Рис. 1. Рабочий орган культиватора со стойкой в виде гибкого трубчатого элемента:**  
1 – гибкий трубчатый элемент;  
2 – рыхлительная лапа

### Условия, материалы и методы

Для проведения лабораторно-полевых испытаний разработана и изготовлена установка (рис. 2), позволяющая исследовать влияние на функцию отклика тягового сопротивления следующих факторов: «Глубина обработки», «Частота колебаний рабочего органа», «Амплитудное значение давления в полости стойки» и «Скорость движения агрегата».

Установка имеет мехатронную систему управления рабочим органом [6]. В данном случае осуществляется управление режимом вынужденных колебаний рабочего органа. Интеллектуальные устройства представлены бортовым компьютером и программируемым контроллером, GPS-навигатором, S-образным тензометрическим датчиком для оценки тягового сопротивления в процессе работы. Посредством программируемого контроллера осуществляется управление импульсным гидроприводом с электрическим пропорциональным управлением, в результате чего происходит дискретное изменение частоты вынужденных колебаний рабочего

органа 8, 12, 16, 31,5 Гц. Время работы на определённой частоте и значения частот могут быть изменены оператором. Траектория движения и скорость движения агрегата фиксируются посредством GPS-приемника и бортового компьютера. Программируемый контроллер обеспечивает запись значений тягового сопротивления и обработку полученных данных.

Для проведения экспериментов изготовлен образец рабочего органа культиватора со стойкой в виде гибкого трубчатого элемента из стали 12Х18Н10Т с геометрическими параметрами (рис. 2): радиус центральной оси  $R = 500$  мм, размер большой полуоси сечения трубчатого элемента  $2A^* = 70$  мм, размер малой полуоси трубчатого элемента  $2B^* = 30$  мм; толщина стенки трубы  $h = 4$  мм; масса рыхлительной лапы 8,05 кг.

Методика определения тягового сопротивления заключается в следующем: производилась регулировка заданной глубины обработки 5, 10, 15 см путем установки ограничителей на рабочий гидроцилиндр 2; контроль параметров колебаний осуществлялся при помощи прибора Вибран 2; длина загонки составляла не менее 30 м; скоростной режим движения агрегата контролировался при помощи GPS-датчика; эксперименты проводились на скоростях 5, 10, 15 км/ч; запись значений тягового сопротивления осуществлялась при помощи S-образного тензодатчика и специального программного обеспечения.

Планирование эксперимента основывалось на использовании D-оптимальных планов, обеспечивающих получение минимальной обобщенной дисперсии коэффициентов уравнения.

Составлен план эксперимента для определения функциональной зависимости тягового сопротивления  $P$  от скорости движения агре-

гата  $V$  и глубины обработки почвы  $h$  при культивации с базовой стойкой. Составлен план эксперимента для определения силы сопротивления  $P$  от трех факторов: скорости движения агрегата  $V$ , глубины обработки почвы  $h$ , частоты вынужденных колебаний рабочего органа при культивации со стойкой, предлагаемой конструкции.

Качественные показатели работы, глубина обработки, крошение почвы, подрезание сорных растений определялись по стандартным методикам.

Лабораторно-полевые испытания стойки производились на агрегате с трактором МТЗ-80 на культивации стерневого фона на глубину 5-15 см. Участки испытаний характеризовались слабо выраженным микрорельефом (менее 3 см). По влажности почва в исследуемых слоях не выходила за пределы агротехнических требований (относительная влажность 12,28-19,98%). Твердость почвы на культивации соответствовала рыхлому слою (0,25-0,81 МПа) и укладывалась в нормы агротехнических требований (не более 1,6 МПа).

### Результаты и обсуждение

Для оценки тягового сопротивления рабочего органа базовой машины в зависимости от глубины и скорости движения агрегата получено уравнение регрессии [7]:

$$P = 183,076h + 3,77v^2 + 250,53$$

$$P = 183,076h + 3,77v^2 + 250,53. \dots (1)$$

Уравнение регрессии по глубине обработки  $h$ , скорости  $v$  и частоте вибрации  $n$  при давлении жидкости в стойке 5 Мпа имеет вид:

$$P = 882,4 + 125,47h + 3,16v^2 + 27,288n$$

$$P = 882,4 + 125,47h + 3,16v^2 + 27,288n. \dots (2)$$

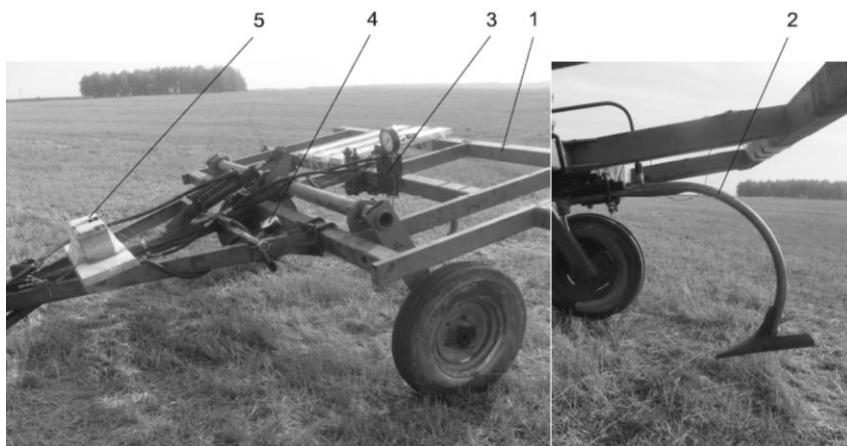


Рис. 2. Установка лабораторно-полевая:  
1 – рама; 2 – рабочий орган; 3 – распределитель с электромагнитным клапаном;  
4 – рама; 5 – аккумуляторная батарея

На рисунке 3 изображена зависимость тягового сопротивления от глубины обработки  $h$  и частоты вибрации  $n$  для скорости движения 10 км/ч.

Из рассмотрения графика и анализа уравнений регрессии можно сделать вывод, что тяговое сопротивление уменьшается с ростом частоты колебаний рабочего органа, увеличение давления приводит к росту скорости и амплитуды колебаний и увеличению тягового сопротивления.

Для количественной оценки снижения тягового сопротивления приведен график (рис. 4) зависимости тягового сопротивления от глубины обработки при частоте вибрации 31,5 Гц и давлении 5 МПа, для скорости 10 км/ч по уравнениям регрессии (1) для базовой стойки и (2) для предлагаемой стойки. Из графика видно, что наблюдается снижение тягового сопротивления при скорости 10 км/ч и частоте 31,5 Гц. Таким образом, в диапазоне скоростей до 15 км/ч и глубине обработки до 15 см снижение тягового сопротивления составляет в среднем от 25 до 35%.

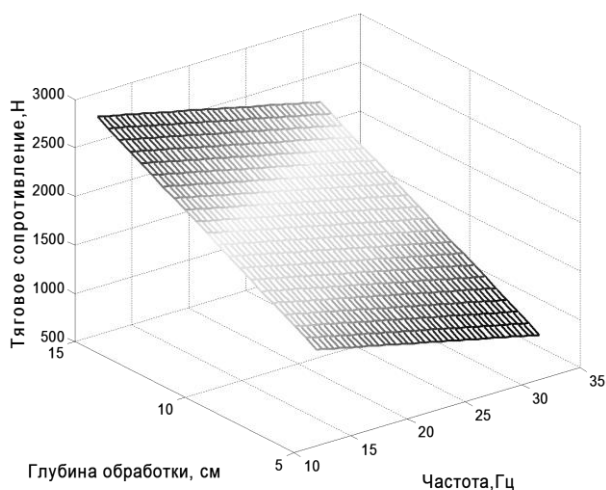


Рис. 3. Зависимость тягового сопротивления от глубины обработки и частоты вибрации для скорости движения 10 км/ч при давлении жидкости в стойке 5 МПа

Результаты анализа качественных показателей работы позволяют судить об улучшении крошения почвы при вибрационном воздействии: при воздействии рабочего органа с частотой колебаний 31,5 Гц количество комков с диаметром 10 мм уменьшается в 2,2 раза.

Результаты профилирования дна борозды показывают, что предлагаемый рабочий орган при частоте колебаний более 16 Гц работает в пределах агротехнических требований – отклонение глубины обработки от заданной находится в пределах  $\pm 1$  см.

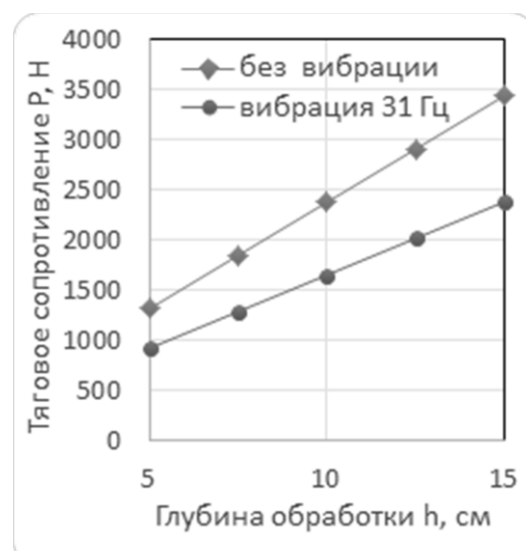


Рис. 4. Сравнительная оценка величины тягового сопротивления при скорости 10 км/ч

### Выводы

Таким образом, лабораторно-полевыми испытаниями установлено, что при культивации почвы новым рабочим органом на глубину до 15 см тяговое сопротивление при повышении частоты вынужденных колебаний уменьшается. Так, при скоростях до 15 км/ч и частоте вибрации 31,5 Гц тяговое сопротивление рабочего органа ниже на 30% по сравнению с базовым. Степень крошения при обработке новым рабочим органом при частоте колебаний 31,5 Гц в 2,2 раза выше по сравнению с базовым. При культивации на скоростях до 15 км/ч новый рабочий орган обеспечивает более высокую устойчивость работы при глубине обработки до 15 см.

### Библиографический список

1. AgritechnicaNeuheiten 2015 – Wegweiser der Agrarbranche! [Электронный ресурс] AGRITECHNICA //: [сайт]. [2015]. URL: <https://www.agritechnica.com/de/neuheiten/neuheiten-2015/> (дата обращения: 26.08.2015).
2. Устинов Н.Н., Маратканов А.А., Смолен Н.И. Математическая модель активного рабочего органа культиватора со стойкой в виде гибкого трубчатого элемента // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-17908> (дата обращения: 18.03.2015).
3. Маратканов А.А., Устинов Н.Н. Экспериментальное определение характеристик активного рабочего органа культиватора со стойкой в виде гибкого трубчатого элемента // Вестник Алтайского ГАУ. – 2015. – № 4(126). – С. 102-105.



4. Устинов Н.Н. Рабочий орган культиватора // Сельский механизатор. – 2015. – № 12. – С. 30-31.

5. Пат. 2009136304 А, Российская Федерация. МПК А01В 39/20, А01В 35/20. Рабочий орган культиватора / Устинов Н.Н., Кокошин С.Н., Смолин Н.И. Заявители и патентообладатели: ФГОУ ВПО «Тюменская государственная сельскохозяйственная академия» (RU). – 2009136304/21; заявл. 30.09.2009; опубл. 20.09.2011. Бюл. № 14. – 3 с.: ил.

6. Грабченко А.И., Клепиков В.Б., Доброскок В.Л. и др. Введение в мехатронику: учебное пособие. – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – 264 с.

7. Маратканов А.А. Обоснование параметров рабочего органа культиватора со стойкой в виде гибкого трубчатого элемента: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. – Барнаул, 2015. – 140 с.

#### References

1. Agritechnica Neuheiten 2015 – Wegweiser der Agrarbranche! [Elektronnyi resurs] AGRITECHNICA //: [sait]. [2015]. URL: <https://www.agritechnica.com/de/neuheiten/neuheiten-2015/> (data obrashcheniya: 26.08.2015).

2. Ustinov N.N., Maratkanov A.A., Smolin N.I. Matematicheskaya model' aktivnogo rabocheho organa kul'tivatora so stoikoi v vide gibkogo trubchatogo elementa // Sovremen-

nye problemy nauki i obrazovaniya. – 2015. – № 1. URL: <http://www.science-education.ru/121-17908> (data obrashcheniya: 18.03.2015).

3. Maratkanov A.A., Ustinov N.N. Eksperimental'noe opredelenie kharakteristik aktivnogo rabocheho organa kul'tivatora so stoikoi v vide gibkogo trubchatogo elementa // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 4 (126). – S. 102 -105.

4. Ustinov N.N. Rabochii organ kul'tivatora / Sel'skii mekhanizator. – 2015. – № 12. – S. 30-31.

5. Pat. 2009136304 А, Rossiiskaya Federatsiya. МПК А01В 39/20, А01В 35/20. Рабочий орган культиватора [Tekst] / Ustinov N.N., Kokoshin S.N., Smolin N.I. Заявители и патентообладатели: FGOU VPO «Tyumenskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya» (RU). – 2009136304/21; заявл. 30.09.2009; opubl. 20.09.2011. Byul. № 14. – 3 с.: ил.

6. Grabchenko A.I., Klepikov V.B., Dobroskok V.L. i dr. Vvedenie v mekhatroniku: uchebnoe posobie. – Kh.: NTU «KhPI», 2014. – 264 s.

7. Maratkanov A.A. Obosnovanie parametrov rabocheho organa kul'tivatora so stoikoi v vide gibkogo trubchatogo elementa: dis. ... kand. tekh. nauk: 05.20.01. – Barnaul, 2015. – 140 s.

