

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ РОТАЦИОННОГО ПЛУГА С МЕХАНИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Табakov Петр Алексеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Транспортно-технологические машины»

Федоров Денис Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-технологические машины»

Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета
428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 54; тел.: 8(8352) 62-05-60;
e-mail: diniosii@mail.ru

Ключевые слова: вспашка почвы, рабочий орган, параметры, конструкция, полевые эксперименты.

Основная обработка почвы – одна из энергоемких операций сельскохозяйственного производства. Поэтому поиск энергосберегающих технологий и почвообрабатывающих агрегатов – весьма важная и актуальная задача. Проведенные теоретические исследования по определению силовых и мощностных характеристик рабочего органа в зависимости от угла поворота эллиптической лопасти позволили сформулировать задачи, для решения которых были проведены лабораторные исследования влияния режимов работы и угла наклона эллиптической лопасти ротационного рабочего органа на силовые и энергетические параметры. На основе полученных результатов нами предложена запатентованная конструкция рабочего органа почвообрабатывающего орудия и ротационного рыхлителя (плуга) для обработки почвы. Использование в качестве рабочих органов ротационного плуга эллиптических лопастей снижает возможность образования плужной подошвы. При этом возможно проведение операций различного функционального назначения (основная и предпосевная обработка почвы). При изменении взаимного расположения ступиц крепления эллиптических лопастей на валу возможно использование ротационного плуга на междурядной обработке технических культур. При вхождении режущей кромки эллиптической лопасти в почву интенсивно разрушаются связи между частичками почвы, дробятся комки, в результате полученная шероховатая поверхность значительно увеличивает влагоемкость и фильтрационные свойства почвы. Высокая степень крошения позволяет получить оптимальную плотность почвы, повышая ее биологическую и биохимическую активность, при одновременном улучшении физических свойств почвы, что приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Проведенные исследования позволили получить результаты по эксплуатационной производительности, расходу топлива и крошению почвы. Доказано, что при использовании предлагаемого технического решения эксплуатационная производительность повышается, а себестоимость механизированных работ на единицу выработки снижается.

Работа выполнена в рамках договоров № 12043р/22883, №311ГС2/22883 с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям).

Введение

В исследованиях отечественных и зарубежных ученых отражено, что по эффективности обработки почв, особенно тяжелых по механическому составу, ротационные фрезы и плуги не имеют равных. При этом ширина захвата такого рода орудий варьируется в пределах 0,2...9 м, а мощность – 0,38...217,4 кВт (0,5-300 л.с.). Процесс фрезерования почв является одним из самых энергоемких. Возникающие при этом динамические нагрузки снижают технологическую и техническую надежность элементов привода механизмов и трактора в целом, что ограничивает широкое применение этого процесса.

Почвообрабатывающие орудия с ротационными рабочими органами (РРО) в виде эллиптических лопастей эффективно применять на мелкоконтурных участках, имеющих границы в виде деревьев, изгородей, что особенно актуально для приусадебных участков и мелких фермерских хозяйств, так как зачастую недооб-

работанные участки приходится обрабатывать вручную.

Поэтому разработка энергосберегающих почвообрабатывающих орудий и агрегатов, их рабочих органов является актуальной научно-технической задачей.

Объекты и методы исследований

Для решения поставленной задачи нами предложена новая конструкция ротационного плуга, предназначенного для основной обработки почвы на приусадебных участках, ограниченных деревьями и изгородями (рис.1) [1], снабженного РРО с эллиптическими лопастями [2].

При изменении взаимного расположения ступиц крепления эллиптических лопастей на валу ротационный плуг помимо основной обработки почвы можно использовать и на предпосевной или междурядной обработке почвы.

Помимо технологических операций РРО с эллиптическими лопастями выполняют еще и

функции движителей, повышая технико-экономические показатели на обработке почвы. Это связано с тем, что при взаимодействии режущей кромки и боковой поверхности лопасти с почвой реакции почвы направлены в сторону движения почвообрабатывающего агрегата.

Результаты исследований

В опубликованных работах [3, 4, 5, 6, 7, 8] предложены математические модели взаимодействия РРО с почвой для определения различных его характеристик. Проанализировав работы, посвященные изучению ротационных почвообрабатывающих машин, орудий и их рабочих органов [9, 10, 11, 12, 13, 14], можно сделать вывод о том, что практически отсутствуют исследования силовых и мощностных характеристик РРО при изменении конструкционного параметра (угол наклона эллиптической лопасти β) и режимов работы (λ - кинематический параметр, ξ - относительное заглубление) в зависимости от угла положения α эллиптической лопасти.

Изучение функционирования РРО с эллиптическими лопастями имеет не только теоретическое, но и важное практическое значение.

Рациональные конструкционные параметры и режимы работы РРО с эллиптическими лопастями определены по критериям минимальных энергозатрат в лабораторных исследованиях (рис. 2).

В результате получены следующие значения: угол наклона эллиптической лопасти $\beta=20^{\circ}-30^{\circ}$; диаметр $D = 0,54...0,58$ м; режим работы для основной обработки почвы: относительное заглубление

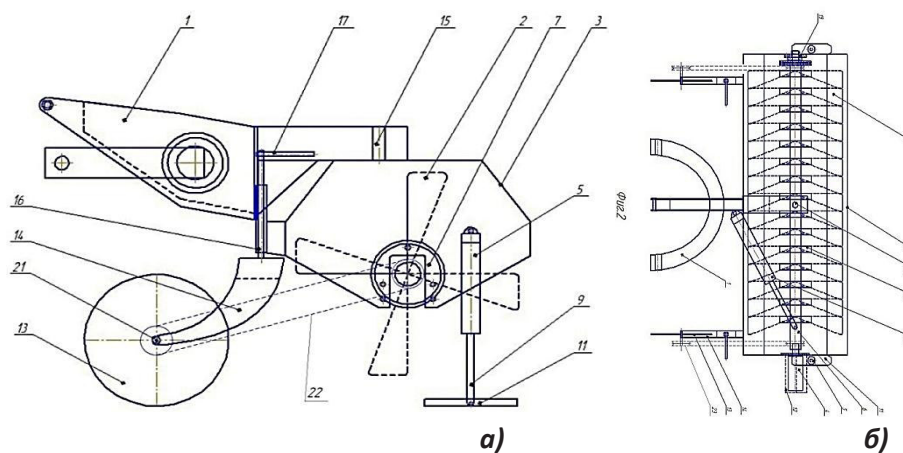


Рис. 1 – Ротационный плуг (рыхлитель): а) вид сбоку; б) вид сверху

1 – навеска; 2 – эллиптические рабочие органы; 3 – корпус; 4 – гитара шестерен; 5, 20 – гидроцилиндры; 6, 10 – валы; 7 – ступица; 8 – пазы; 9 – шток; 11 – лыжи; 12 – защитный кожух; 13 – плоский диск; 14 – опора крепления; 15 – болт; 16 – регулировочный винт; 17 – рукоятка; 18 – фланец; 19 – корпусной подшипник; 21 – монтажное отверстие; 22 – цепь; 23 – звездочка

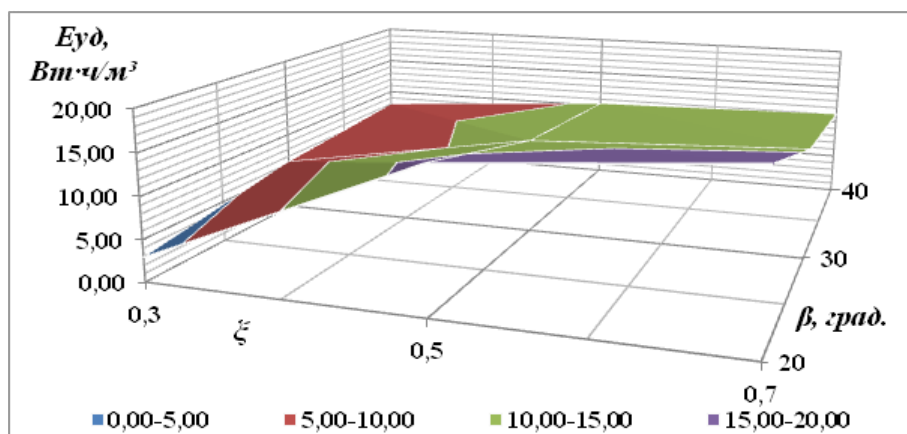


Рис. 2 - Зависимость удельной энергоёмкости $E_{уд}$ обработки почвы РРО от β и ξ при кинематическом параметре $\lambda = 2$



Рис. 3 – Опытный образец ротационного плуга (рыхлителя) РР-2



Рис. 4 - Батарея РРО с эллиптическими лопастями



Рис. 5 – Плоские диски на опытном образце ротационного плуга

$\xi = 0,5 - 0,6$ ($\xi = \frac{h}{r}$, где h - глубина обработки почвы, r - радиус рабочего органа с эллиптическими лопастями); кинематический параметр

$\lambda = 2,0 - 2,5$ ($\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v_f}$, где ω - угловая скорость вращения рабочего органа с эллиптическими лопастями, v_f - поступательная скорость движения агрегата) [15].

На основании результатов лабораторных исследований нами разработан опытный образец ротационного плуга (рыхлителя) РР-2 на базе РРО с эллиптическими лопастями (рис. 3).

На приводном валу, установленном в подшипниках, смонтированных в корпусе орудия, закреплена батарея РРО с эллиптическими ло-

пастями, приводящаяся во вращение от вала отбора мощности трактора (рис. 4).

Режим работы, определяемый кинематическим параметром λ , в зависимости от функционального назначения ротационного плуга (рыхлителя) РР-2 изменяется с помощью гитары сменных шестерен.

На опытном образце ротационного плуга (рыхлителя) РР-2 эллиптические лопасти РРО крепят к ступице с помощью трех болтовых соединений под углом наклона $\beta = 25^\circ$. В свою очередь ступицы сдвинуты относительно друг друга по винтовой линии на угол $\approx 30^\circ$ для снижения боковых нагрузок реакций почвы.

Для гашения боковых усилий, возникающих при работе РРО с эллиптическими лопастями, установлены плоские диски-стабилизаторы. Они обеспечивают хорошую курсовую устойчивость (рис. 5). При этом ротационный плуг оснащают 9 блоками РРО.

Производственно-полевые испытания ротационного плуга (рыхлителя) РР-2 на базе РРО с эллиптическими лопастями проводили в агрегате с трактором тягового класса 1,4 при ширине захвата $B = 1,4$ м на обработке почвы в сельскохозяйственном производственном кооперативе на территории Порецкого района Чувашской Республики (рис. 6).

Сравнительные технико-экономические показатели работы ротационного плуга РР-2 на базе РРО с эллиптическими лопастями с плугом ПЛН-3-35 приведены в таблице.

Агротехническая оценка качества работы ротационного плуга показала, что после основной обработки почвы объем ценных фракций размером от 1 мм до 5 мм в среднем составляет 94,6 % при среднем расходе топлива 22,6 кг/га. Это превышает минимально допустимое содержание наиболее ценной фракции в почве, установленное агротехническими требованиями на



Рис. 6 – Производственно-полевые испытания ротационного плуга (рыхлителя) РР-2
а) плуг в работе; б) поверхность поля после обработки

44,6 %, что подтверждает высокое качество обработки.

Выводы

Проверка опытного образца ротационного плуга РР-2 с ротационными рабочими органами, оснащенными эллиптическими лопастями, проведенная в условиях фермерского хозяйства Порецкого района Чувашской Республики, показала полное соответствие плуга эксплуатационным, технологическим и агротехническим требованиям.

При оценке качества обработки почвы ротационным плугом (рыхлителем) РР-2 установлено, что объем ценных фракций размером от 1 мм до 5 мм в среднем составляет 94,6 %. Данные значения подчеркивает высокое качество обработки почвы, значительно превышающее минимально допустимое содержание указанной выше фракции, ограниченное 50 %. При этом средний эксплуатационный расход топлива составил 22,6 кг/га.

Библиографический список

1. Патент №2495552 Российская Федерация, МПК А01В 33/02, А01В 33/10. Рабочий орган почвообрабатывающего орудия / Акимов А.П., Федоров Д.И., Павлов И.А., Чегулов В.В., Никифоров И.В.; заявители и патентообладатели Акимов А.П., Павлов И.А. – 2012107544/13: заявл. 10.04.2012; опубл. 20.10.2013, Бюл. №29. – 4 с.
2. Патент №2569977 Российская Федерация, МПК А01В 33/02. Ротационный рыхлитель / Федоров Д. И., Акимов А. П., Чегулов В. В., Федорова И. В.; заявитель и патентообладатель ООО «Эллипс-ЧПИ». – 2014132531/13: заявл. 06.08.2014; опубл. 10.12.2015, Бюл. №34. – 8 с.
3. Федоров, Д.И. Методика расчета сопротивления и момента сопротивления резанию почвы / Д.И. Федоров, А. П. Акимов, Ю.В. Константинов // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – №3. – С. 32- 35.
4. Федоров, Д. И. Силовые характеристики прямого ножа почвообрабатывающего ротационного рабочего органа / Д. И. Федоров, А. П. Акимов, Ю. В. Константинов // Инновации в образовательном процессе: сб. тр. науч.-практ. конф. - Чебоксары: Чебоксарский политехнический институт, 2014. – Вып. 12. – С. 82-84.
5. Выбор рациональных параметров лопастного ротационного рабочего органа на основе его кинематического анализа / Д.И. Федоров, А.П. Акимов, Ю.В. Константинов, И.Н. Акви-

Таблица
Сравнительные технико-экономические показатели почвообрабатывающих орудий

Показатель	Почвообрабатывающее орудие	
	ПЛН-3-35	РР-2
Тип почвы	дерново-подзолистая, средний суглинок	
Глубина обработки (установочная), см	17	25
Глубина обработки (фактическая):		
- средняя, см	16,2	24,3
- отклонение стандартное, ± см	1,1	0,9
- коэффициент вариации, %	6,8	8,4
Крошение почвы, %		
- фракции до 5 см включительно	86,6	95,2
Заделка растительных и пожнивных остатков, %	97,0	96,5
Глубина заделки растительных и пожнивных остатков (средняя), см	14,9	16,2
Гребнистость поверхности почвы (высота гребней), см	5,6	5,1
Производительность эксплуатационная, га/ч	0,21	0,26
Расход топлива, кг/га	28,2	22,6

льянова // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – Вып.1. – С. 36-39.

6. Федоров, Д.И. Расчет мощности привода ротационного лопастного рабочего органа почвообрабатывающей машины / Д.И. Федоров, А.П. Акимов, Ю.В. Константинов // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – Вып. 5. – С. 27-32.

7. Федоров, Д.И. Методика расчета сопротивления и момента сопротивления резанию почвы / Д.И. Федоров, А.П. Акимов, Ю.В. Константинов // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – Вып. 3. – С. 32-35.

8. Акимов, А.П. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих машин и агрегатов / Акимов А.П., Константинов Ю.В., Медведев В.И. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. – 248 с.

9. Чаткин, М.Н. Снижение энергоемкости фрезерования почвы путем применения ножей с рациональным профилем рабочей поверхности / С.Б. Драняев, М.Н. Чаткин, В.А. Овчинников, С.М. Корявин // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции Материалы XIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора С.А. Лапшина. - 2017. С. 412-416.

10. Warboys, J.B. The development of the Wye double digger / J.B. Warboys // Agric. Eng. - 1988. - V.43. - № 1.

11. Павлушин, А.В. Снижение энергозатрат основной обработки почвы использованием комбинированного рабочего органа плуга: автореф. дисс. канд. техн. наук / А.В. Павлушин. – Пенза, 2010. – 20 с.

12. Мухаметшин, И.С. К анализу кинематики ротационного рабочего органа конусной формы / И.С. Мухаметшин, А.Р. Валиев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2016. - № 2 (34). - С. 179-182.

13. Курдюмов, В.И. Теоретическое обоснование диаметра плоского диска рабочего органа про-

пашного культиватора / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, А.В. Ерошкин, Л.Н. Хайбуллина // Вестник НГИЭИ. - 2017. - № 2 (69) - С. 54-60.

14. Казаков, Ю.Ф. Обоснование параметров винтовых рабочих элементов почвенных фрез / Ю.Ф. Казаков // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. - 2017. - № 2 (2). - С. 68-74.

15. Федоров, Д.И. К вопросу об использовании программного обеспечения при проведении исследований почвообрабатывающих рабочих органов / Д.И. Федоров // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы материалы Международной научно-практической конференции. - М: ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», 2017. - С. 305-310.

PRODUCTION-FIELD TESTS OF ROTARY PLOW WITH MECHANICAL ACTUATOR

Tabakov P.A., Fedorov D.I.

**Cheboksary Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University
428000, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx st., 54; Tel. 8 (8352) 62-05-60, E-mail: diniosii@mail.ru**

Key words: soil plowing, working tool, parameters, construction, field experiments.

Primary soil tillage is one of the energy-intensive operations of agricultural production. Therefore, the search for energy-saving technologies and soil-cultivating units is a very important and urgent task. The conducted theoretical studies to determine strength and power characteristics of the working tool depending on the angle of rotation of the elliptical blade made it possible to formulate problems. To solve those problems, a laboratory study was conducted on the influence of operating modes and the inclination angle of the elliptical blade of the rotation working element on the power and energy parameters. Based on the results obtained, we proposed a patent design of a working tool of a tillage device and a rotary ripper (plow) for soil cultivation on their basis. The use of elliptical blades as a rotary plow reduces the possibility of plow pan. It is also possible to carry out operations of various functional purposes (primary and pre-sowing soil tillage). When changing the mutual position of the hubs of elliptical blade fixing on the shaft, it is possible to use a rotary plow for inter-row tillage of industrial crops. When the cutting edge of the elliptical blade enters the soil, the linking between the soil particles are severely destroyed, the clumps are crushed, as a result, the rough surface significantly increases the moisture capacity and filtration properties of the soil. A high degree of shattering makes it possible to obtain the appropriate soil density, increasing its biological and biochemical activity, as well as improving the soil physical properties, which leads to an increase of crop yields. The conducted research allowed to receive results on operational productivity, fuel consumption and soil shattering. It is proved that in case of use of the proposed technical solution, the operating capacity is increased, and the cost of mechanical work per unit of output is reduced.

Bibliography

1. Pat. No. 2495552 Russian Federation, IPC A01B 33/02, A01B 33/10. Working organ of the tillage machine / A.P. Akimov, D.I. Fedorov, I.A. Pavlov, V.V. Chegulov, I.V. Nikiforov; patent owner A.P. Akimov, I.A. Pavlov - № 2012107544/13; appl. 10.04.12; publ. 20.10.13, Bul. №29. – 4p.
2. Pat. No. 2569977 Russian Federation, IPC A01B 33/02. Rotary ripper / D.I. Fedorov, A.P. Akimov, V.V. Chegulov, I.V. Fedorova; patent owner ООО "Ellips-ChPI". - No. 2014132531/13; appl. 06.08.14; publ. 10.12.15, Bul. №34. – 8p.
3. Fedorov, D.I. The method of calculating the resistance and the moment of resistance to soil cutting / D.I. Fedorov, A.P. Akimov, Yu.V. Konstantinov // Tractors and agricultural machinery. - 2013. - No. 3. - P. 32-35.
4. Fedorov, D.I. Power characteristics of a direct blade of a tillage rotary working organ / D.I. Fedorov, A.P. Akimov, Yu.V. Konstantinov // Innovations in the educational process: a collection of works of the scientific-practical conference. - Cheboksary: Cheboksary Polytechnic Institute, 2014. - Issue 12. - P. 82-84.
5. Appropriate parameters of the blade rotary working body on the basis of its kinematic analysis / D.I. Fedorov, A.P. Akimov, Yu.V. Konstantinov, I.N. Akvilyanova // Tractors and agricultural machinery. - 2015. - Issue 1. - P. 36-39.
6. Fedorov, D.I. Calculation of power of a rotary blade working tool drive of a tiller / D.I. Fedorov, A.P. Akimov, Yu.V. Konstantinov // Tractors and agricultural machinery. - 2012. - Issue 5. - P. 27-32.
7. Fedorov, D.I. The method of calculating the resistance and the moment of resistance to soil cutting / D.I. Fedorov, A.P. Akimov, Yu.V. Konstantinov // Tractors and agricultural machinery. - 2013. - No. 3. - P. 32-35.
8. Akimov, A.P. Kinematics and dynamics of rotary tillers and tools / A.P. Akimov, Yu.V. Konstantinov, V.I. Medvedev. - Cheboksary: Chuvash State Agricultural Academy, 2017. - 248 p.
9. Reduction of energy costs of soil cutting by means of blades with an appropriate profile of the working surface / S.B. Dranyayev, M.N. Chatkin, V.A. Ovchinnikov, S.M. Koryavin // Resource-saving environmentally safe technologies of production and processing of agricultural products. Materials of the 13th International scientific and practical conference, dedicated to the memory of Professor S.A. Lapshin. - 2017. - P. 412-416.
10. Warboys, J.B. The development of the Wye double digger / J.B. Warboys // Agric. Eng. - 1988. - V.43, No. 1. - P. 126-131
11. Pavlushin, A.V. Reduction of energy consumption of primary tillage by means of a combined working organ of a plow: author's abstract of dissertation of Candidate of Technical Sciences / A.V. Pavlushin. - Penza, 2010. - 20 p.

12. Mukhametshin, I.S. To the analysis of kinematics of a rotational working organ of a cone shape / I.S. Mukhametshin, A.R. Valiev // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2016. - No. 2 (34). - P. 179-182.
13. Theoretical justification of the diameter of the flat disk of cultivator working organ / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, A.V. Eroshkin, L.N. Khaibullina // Vestnik of Nizhny Novgorod University of Engineering and Economics. - 2017. - No. 2 (69). - P. 54-60.
14. Kazakov, Yu.F. Justification of the parameters of screw working elements of soil cutters / Yu.F. Kazakov // Vestnik of Chuvash State Agricultural Academy. - 2017. - No. 2 (2). - P. 68-74.
15. Fedorov, D.I. To the issue of software when conducting research on soil-tillage working tools / D.I. Fedorov // New technologies of science, technology, pedagogy of the higher school. Materials of the international scientific-practical conference. - M: FSBEI HE "Moscow Polytechnic University", 2017. - P. 305-310.