

УДК 631.312.65

UDC 631.312.65

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ОРУДИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

JUSTIFICATION OF RATIONAL USE OF VIBRATING TOOLS FOR SOIL CULTIVATION

Твердохлебов Сергей Анатольевич
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код: 3028-1816
tsa200862@rambler.ru

Tverdokhlebov Sergey Anatolevich
Cand.Tech.Sci., assistant professor
RSCI SPIN-code: 3028-1816
tsa200862@rambler.ru

Аветисян Оганес Манвелович
студент факультета механизации
РИНЦ SPIN-код: 1878-5458
44lg@mail.ru

Avetisyan Oganesh Manvelovich
student of the mechanization faculty
RSCI SPIN-code: 1878-5458
44lg@mail.ru

Дуков Сергей Сергеевич
студент факультета механизации
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Dukov Sergey Sergeevich
student of the Mechanization faculty
Kuban state agrarian university, Krasnodar, Russia

Из обзора литературных источников установлено, что существующие возбудители колебаний классифицируются на механические, электрические, гидравлические и пневматические. Одним из наиболее перспективных направлений развития и применения источников колебаний для почвообрабатывающих орудий является электрические возбудители механических колебаний, а именно соленоид с металлическим сердечником внутри. На основании анализа существующих технических средств для обработки почвы нами предлагается новое техническое средство вибрационного воздействия для безотвальной обработки почвы. В ходе исследования были получены теоретические закономерности изменения тягового сопротивления в зависимости от амплитуды колебаний и массы возбудителя колебаний. Разработана конструкционно – технологическая схема комбинированного почвообрабатывающего агрегата с электрическим возбудителем колебаний и устройство для автоматического регулирования технологического процесса работы почвообрабатывающей машины. Предлагаемое вибрационное орудие предположительно позволит уменьшить силу сопротивления почвы, действующей на рабочие органы, что позволит снизить энергозатраты до 20 % на выполнение технологического процесса обработки почвы, уменьшается выброс вредных веществ от сгорания дизельного топлива в атмосферу. Предлагаемое техническое средство может быть использовано для обработки почвы на различных агрофонах при различной плотности почвы

From a review of the literary sources it is revealed that the existing vibration exciters are classified into mechanical, electrical, hydraulic and pneumatic. One of the most promising areas of development and use of sources of vibrations for tillage tools are electrical exciters of mechanical vibrations namely solenoid with a metal core inside. Based on the analysis of existing technical means for soil cultivation we are proposed a new technical mean of vibration exposure for tilting the soil without or before ploughing. Theoretical regularities of change of draft resistance depending on the vibration amplitude and the mass of the vibration exciter were received in the studies. A structurally - technological scheme of the combined tillage combine with electric vibration exciter and a device for automatic regulation of the technological process of the work of tillage machine was developed. The proposed vibration tool will supposedly reduce the soil resistance force acting on the working bodies, which will reduce energy costs up to 20% for the technology process of soil cultivation; harmful emissions from the combustion of diesel fuel into the atmosphere were reduced. The proposed technical mean can be used for soil cultivation in different soil fertility under different soil density

Ключевые слова: БЕЗОТВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, ВИБРАЦИОННОЕ ОРУДИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ИННОВАЦИОННОСТЬ, ВОЗБУДИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ, ТЯ-

Keywords: TILTING THE SOIL WITHOUT OR BEFORE PLOUGHING, VIBRATION TOOL, ECONOMIC EFFECTIVENESS, INNOVATION, VIBRATION EXCITERS, DRAFT RESISTANCE OF TOOL

ГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОРУДИЯ

Doi: 10.21515/1990-4665-123-054

1 Введение

В результате сложившейся обстановки в мире связанной с постоянным удорожанием энергоресурсов, вопрос об их экономии стал очень актуален, особенно в сельском хозяйстве. В наше время разрабатывается множество путей решения этой проблемы, одним из таких путей является снижения энергоемкости при обработке почвы, т.к. эта операция является одной из наиболее энергозатратных в сельском хозяйстве.

Из-за быстрого развития научно-технического прогресса экономия ресурсов должно сопровождаться абсолютно новым взглядом, направленным на улучшение качества обработки почвы.

Переход отечественного сельхоз товаропроизводителя на более высокий производственный уровень подразумевает пересмотр проблемы снижения энерготрудозатрат, повышения качества выполняемых технологических операций, эффективности применения современной сельскохозяйственной техники.

Одним из наиболее перспективных направлений снижения энерготрудозатрат является применение ресурсосберегающих технологий с использованием комбинированных машин и комплексов, увеличение производительности сельскохозяйственных агрегатов за счет оптимизации конструктивно-режимных параметров используемых орудий.

В связи с тем, что на технологические операции по обработке почвы, как правило, приходится до 40% всех производственных затрат, совершенствование технологи и почвообработки является задачей значимой и первостепенной [2].

2 Способы снижения энергозатрат при обработке почвы

В отечественной и зарубежной научной среде обозначились два основных направления решения проблемы энергоресурсного сбережения при выполнении операций по обработке почвы: снижение тягового сопротивления и разработка широкозахватных комбинированных машин.

Наиболее значимым решением актуальной задачи считаем направление по снижению тягового сопротивления почвообрабатывающих машин, поскольку созданию комбинированных широкозахватных машин неизбежно сопутствует проблема увеличения тягового сопротивления орудия.

Степень значимости и природу факторов, определяющих величину тягового сопротивления почвообрабатывающей машины, достаточно просто описывает известная рациональная формула В.П. Горячкина :

$$P = fG + kab + \varepsilon abv^2, \quad (1)$$

Где f - общий коэффициент трения, Н;

G - вес машины, Н;

k - удельное сопротивление почвы, Н/см²;

a - глубина обработки, м;

b - ширина захвата машины, м;

ε - коэффициент, учитывающий геометрические параметры и фрикционные свойства рабочих органов почвообрабатывающей машины;

v - скорость движения агрегата, м/с.

Анализ научных трудов В.П. Горячкина, В.И. Виноградова, Ю.В. Познякова, Д.С. Пугрина, Г.Н. Синеокова показал, что добиться снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин можно несколькими способами:

- совершенствованием конструкции орудия и снижением его веса;
- совершенствованием геометрии рабочих органов;

– снижением сил трения почвы о поверхности рабочих органов (заме-
ной поверхностях скольжения поверхностями качения; колебаниями рабо-
чих органов).

Подобные решения, несомненно, дают положительный эффект, но
они не лишены ряда существенных недостатков.

Оптимизация геометрических параметров рабочих органов почвооб-
рабатывающих машин под конкретные условия работы, улучшение их ан-
тифрикционных свойств направлены на снижение коэффициентов f и ε ра-
циональной формулы, что приводит к снижению качества крошения и
разуплотнения почвы, усложнению конструкции машины и снижению её
надёжности.

Поэтому главенствующей задачей совершенствования почвообраба-
тывающих машин, в том числе комбинированных, является снижение их
тягового сопротивления без значительного усложнения конструкции.

Использование вибрационной и импульсной техники в решении по-
ставленной задачи позволяет по-новому взглянуть на процесс концентри-
рования энергии во времени и более рационального её расходования при
выполнении технологических операций по обработке почвы.

Проблемой применения колебательных контуров на машинах сель-
скохозяйственного назначения занимались многие учёные и конструкторы.
Существующие в настоящее время колебательные контуры по своей сути
отличаются видами возбудителей колебаний, которые в свою очередь
классифицируются по ряду признаков (рис. 1).

Определяющими условиями применимости конструкции колеба-
тельного контура на почвообрабатывающей машине являются: небольшая
масса, простота, дешевизна конструкции, а также вибратор, имеющий
жёсткую характеристику колебаний, возможность регулирования продоль-
ных и вертикальных колебаний.

Гидравлические и пневматические возбудители колебаний склонны к изменению характеристик при перемене параметров жидкости или газа (например, при изменении температуры окружающего воздуха), что обуславливает усложнения их конструкции. Электрические возбудители колебаний требуют достаточно мощного источника энергии для обеспечения длительной бесперебойной работы. Механические обладают большой массой и быстро изнашиваются в процессе работы.

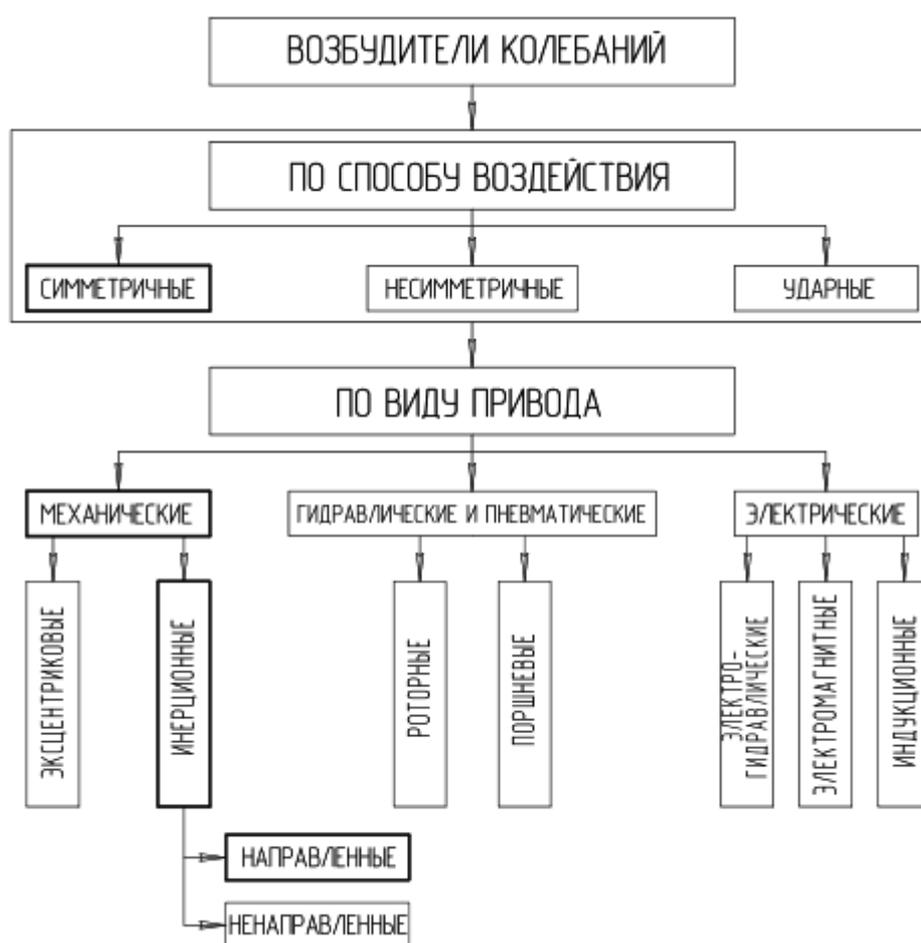


Рисунок 1 – Классификация возбудителей механических колебаний

Особое внимание специалисты уделяют применению вибрации при обработке почвы, являющейся наиболее энергоёмкой операцией современного сельскохозяйственного производства.

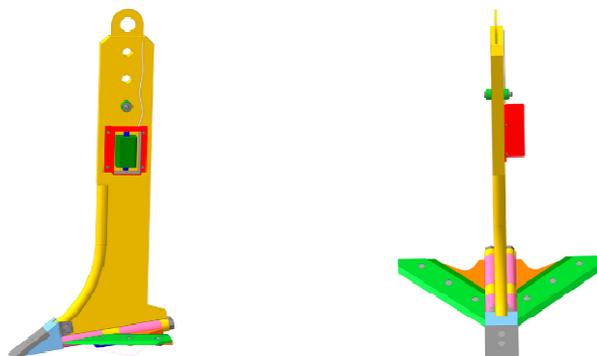
Однако в настоящее время наблюдается тенденция к использованию широкозахватных комбинированных почвообрабатывающих орудий. В этом случае процесс применения вибрации в почвообрабатывающих машинах для снижения тягового сопротивления недостаточно изучен и требует новых инженерных подходов.

3 Предлагаемое вибрационное устройство

На основании анализа существующих технических средств для обработки почвы нами предлагается новое техническое средство вибрационного воздействия (рис. 2).

Новыми элементами являются, стойка в нижней фронтальной части имеющая направляющую круглого сечения, на которой установлено долото [5,6], при этом на стойке закреплен винтами кожух, в который установлен соленоид, выполненный в виде катушки с бойком и возвратной пружиной. Стрельчатые лапы закреплены неподвижно в горизонтальной плоскости посредством пазов в кронштейне с резьбовой осью штифтом.

Совокупность новых элементов позволяет долоту и стрельчатым лапам совершать колебательные движения, при этом ударник периодически взаимодействует с корпусом, обеспечивая мелко-амплитудные возмущения, что обеспечивает снижение энергоемкости процесса и улучшение качества обработанной почвы [4].



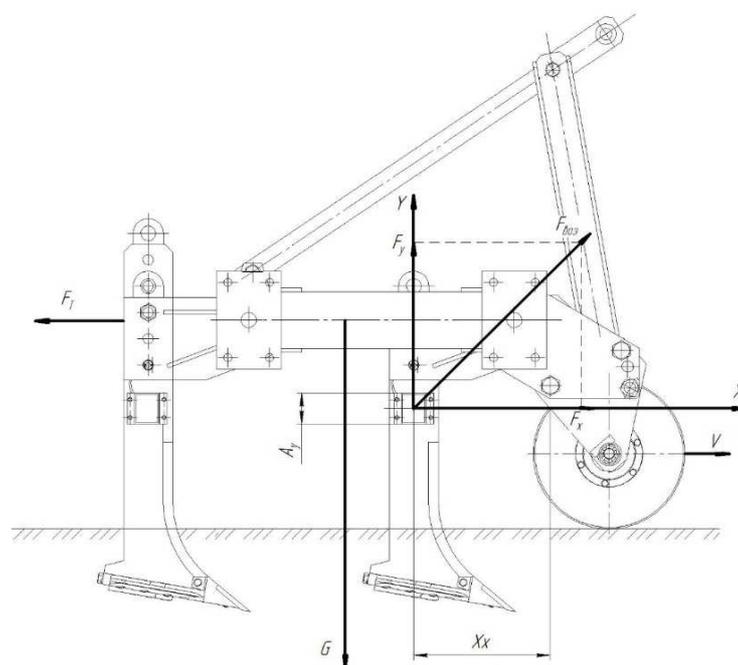
а) вид сбоку

б) вид спереди

Рисунок 2 – Вибрационный рабочий орган чизельного плуга

Устройство для обработки почвы работает следующим образом. Перед выполнением технологической операции устанавливается глубина обработки с помощью механизма регулировки глубины обработки, при этом рабочие органы занимают положение, определенное схемой расстановки с учетом глубины рыхления при заглублении [7,8]. На соленоид поступает электрический ток, величина которого установлена на регуляторе в зависимости от физико-механических свойств почвы, и боек ударяет по одной из сторон кожуха, после чего, реле-прерыватель прекращает подачу электрического тока и боек под действием силы упругости пружины ударяет по противоположной стороне, и так далее, за счет этого взаимодействия образуется вибрация рабочих органов, которая уменьшает силу сопротивления, и снижает энергоемкость.

Схема почвообрабатывающего орудия с электронным возбудителем колебаний направленного действия представлена на (рис. 3).



$F_{\text{воз}}$ - возмущающая сила; F_y - вертикальная составляющая возмущающей силы; F_x - горизонтальная составляющая возмущающей силы; R - сила воздействия рабочего органа; A_x, A_y - амплитуда колебаний в горизонтальной и вертикальной плоскостях; G - вес орудия; V - направление скорости движения

Рисунок 3 - Схема почвообрабатывающего орудия с электронным возбудителем колебаний

Подвижность почвообрабатывающего орудия обеспечивается электронным возбудителем колебаний направленного действия. Стержень соленоида совершает возвратно поступательные движение в разные стороны и создают возмущающую силу $F_{\text{воз}}$. Почвообрабатывающее орудие совершает колебания в горизонтальной и вертикальной плоскостях с амплитудами A_x и A_y [2].

4 Выведение уравнения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия с вибрационными рабочими органами

Для упрощения расчётов принимаем следующие упрощения и ограничения:

- грунт является сплошной упруго-вязкой, изотропной средой, упругость среды проявляется в восстановлении деформаций после разгрузки, вязкость - в том, что деформация развивается с запаздыванием по отношению к приложенному напряжению;

- собственные колебания системы зависят от начальных условий и с течением времени быстро затухают, поэтому рассматривается решение только для установившихся вынужденных колебаний;

- рассматривается плоская, одномерная задача;

- грунт активно взаимодействует с рабочим органом по всей толщине обрабатываемого слоя;

- разуплотнение происходит в результате воздействия нормальных нагрузок, возникающих от рабочего органа в горизонтальном и вертикальном направлениях, без учёта касательных напряжений в почве; почвообрабатывающее орудие не отрывается от поверхности почвы, так как процесс обработки должен происходить с наименьшими энергопотерями;

– рама и стойки рабочих органов почвообрабатывающего орудия являются жёсткой конструкцией, т.е. деформации отсутствуют;

– угловыми колебаниями в продольной плоскости почвообрабатывающего орудия пренебрегаем, т.е. орудие совершает строго вертикальные и горизонтальные колебания;

– поверхность обрабатываемой почвы принимаем ровной, исключая вертикальные колебания орудия из-за неравномерности рельефа поля.

Вычислим значение силы сопротивления, используя принятую нами реологическую модель почвы. Для этого все рабочие органы почвообрабатывающего орудия приведём к одной точке О.

Рабочий орган воздействует на почвенный объём V в горизонтальной и вертикальной плоскостях через т. О. При этом сила воздействия R рабочего органа будет расходоваться на деформации упругого $C_{\text{почв}}$ и вязкого $b_{\text{почв}}$ элементов. Тогда сила воздействия, вызывающая сопротивление почвенного объёма R_T и R_B , равна:

$$R_T = n(F_1(t) + F_2(t)) + F_T - F_x, \quad (2)$$

$$R_B = n(F_3(t) + F_4(t)) - F_y,$$

где F_1, F_3 - сила, расходуемая на преодоление упругих сопротивлений почвы, Н;

F_2, F_4 - сила, расходуемая на преодоление вязких сопротивлений почвы, Н;

G - вес почвообрабатывающего орудия, Н;

F_x, F_y - амплитудное значение возмущающей силы относительно осей X и Y , Н;

F_T - сила сопротивления протаскиванию почвообрабатывающего орудия, Н;

f - коэффициент сопротивления передвижению почвообрабатывающего орудия;

n - количество рабочих органов орудия, шт.

Подставим полученные данные в уравнения 1, получим:

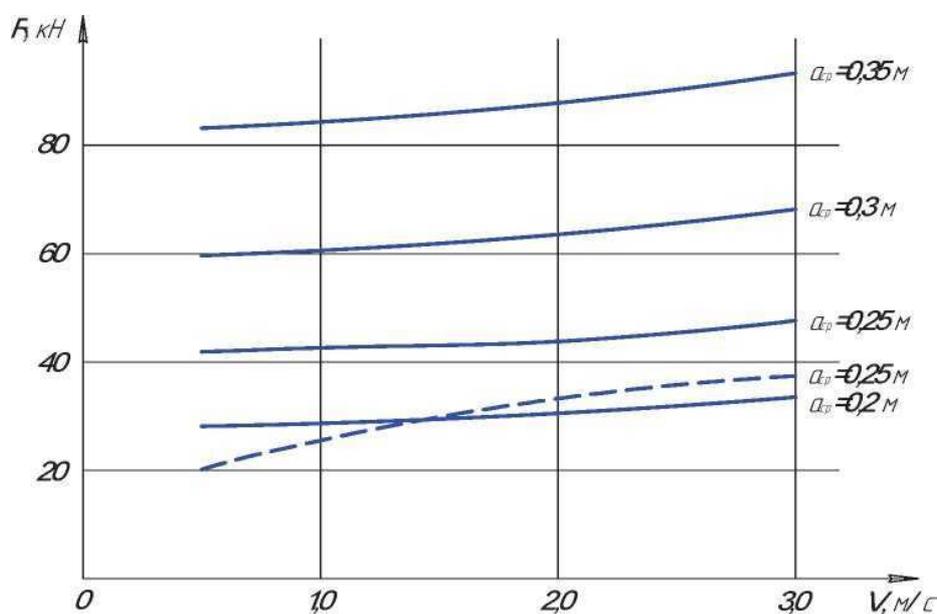
$$R_{\Gamma} = nV_{\Gamma} \left(\frac{v \cdot m_{\text{почв}}}{S \cdot a} + b_{\text{почв}} \right) + (G - 2m4\pi^2 v^2 x \cos 2\pi vt) f - 2m4\pi^2 v^2 x \sin 2\pi vt, \quad (3)$$

$$R_{\text{в}} = n\sigma_{\text{пц}} \sqrt{\frac{g}{E\gamma}} \left(\frac{v \cdot m_{\text{почв}}}{S \cdot a} + b_{\text{почв}} \right) - 2m4\pi^2 v^2 x \cos 2\pi vt, \quad (4)$$

Окончательно вычислим результирующую тягового сопротивления почвообрабатывающей машины:

$$R = \sqrt{R_{\Gamma}^2 + R_{\text{в}}^2}, \quad (5)$$

Графическая интерпретация уравнений 3 и 4 даёт график изменения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия в зависимости от скорости движения при различной глубине обработки почвы (рис. 4).



— теоретическая кривая - - - теоретическая кривая с вибровозбудителем

Рисунок 4 - Зависимость тягового сопротивления от скорости движения при различной глубине обработки

5 Краткие выводы

Сравнивая полученные теоретические результаты изменения тягового сопротивления, можно сделать вывод, что наблюдается заметное снижение теоретического тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия с вибрационными рабочими органами.

Реологическая модель почвы позволила вывести уравнение тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия с вибрационными рабочими органами, что подтверждается графиками.

Использование вибрационных рабочих органов на почвообрабатывающих орудиях позволит использовать сельскохозяйственную технику с наименьшими эксплуатационными затратами.

Статья публикуется впервые.

Литература

1. Пархоменко Г.Г. Определение взаимосвязи качественных показателей технологического процесса глубокой обработки почвы с режимами работы чизеля садово-виноградникового Пархоменко Г.Г., Василенко Н.И., Твердохлебов С.А. В сборнике: Инновационные технологии и технические средства для полеводства юга России, сборник научных трудов 6-й Международной научно-практической конференции. Российская акад. с.-х. наук, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хоз-ва Россельхозакадемии (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакад.); Ответственный редактор Пахомов В.И.. 2011. С. 21-25.

2. Твердохлебов С.А. Обоснование параметров процесса обработки почвы универсальным рабочим органом по контуру залегания корневой системы плодовых деревьев в междурядьях сада Твердохлебов С.А. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. № 1. С. 33

3. Дроздов С.Н. Использование вынужденных колебаний для снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин / Дроздов С.Н. Аширов И.З. Сорокин А. А. Набокина О. Я // Известия Оренбургского государственного аграрного университета № 1(39) /2013

4. Аветисян О.М. Устройство для безотвальной обработки почвы в междурядьях сада: пат. 2523849 Российская Федерация: Твердохлебов А.С., Аветисян О.М., Дуков С.С. ; заявитель и патентообладатель Краснодар Кубанский государственный аграрный университет – № 2013116652/13; заявл. 11.04.2013 ; опубл. 27.07.2014, Бюл. № 21.

5. Светлова Е.А. Устройство для безотвальной обработки почвы Медовник А.Н. Твердохлебов С.А. Пархоменко Г.Г. Светлова Е.А. Утка И.А. патент на изобретения RUS 2486730 28.02.2012

6. Патент РФ № 2557430, 04.06.2014. Медовник А.Н., Твердохлебов С.А., Аветисян О.М., Дуков С.С. Устройство для обработки почвы // Патент России № 2557430. 2014 г.

7. Медовник А.Н. Экспериментальное исследование глубокорыхлителя для обработки почвы в междурядьях многолетних насаждений Пархоменко Г.Г., Медовник А.Н., Твердохлебов С.А. Международный технико-экономический журнал. 2011. №3. С. 76-80

8. Твердохлебов С.А. Параметры процесса обработки почвы универсальным рабочим органом по контуру залегания корневой системы плодовых деревьев в междурядьях сада Твердохлебов С.А. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кубанский государственный аграрный университет. Краснодар, 2009.

References

1. Parhomenko G.G. Opredelenie vzaimosvjazi kachestvennyh pokazatelej tehnologicheskogo processa glubokoj obrabotki pochvy s rezhimami raboty chizelja sadovovinogradnikovogo Parhomenko G.G., Vasilenko N.I., Tverdohlebov S.A. V sbornike: Innovacionnye tehnologii i tehicheskie sredstva dlja polevodstva juga Rossii, sbornik nauchnyh trudov 6-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Ros-sijskaja akad. s.-h. nauk, Severo-Kavkazskij nauchno-issledovatel'skij institut meha-nizacii i jelektrifikacii sel'skogo hoz-va Rossel'hozakademii (GNU SKNIIMJeSH Rossel'hozakad.); Otvetstvennyj redaktor Pahomov V.I. 2011. S. 21-25.

2. Tverdohlebov S.A. Obosnovanie parametrov processa obrabotki pochvy universal'nym rabochim organom po konturu zaleganija kornevoj sistemy plodovyh derev'ev v mezhdurjad'jah sada Tverdohlebov S.A. Sel'skohozjajstvennye mashiny i tehnologii. 2009. № 1. S. 33

3. Drozdov S.N. Ispol'zovanie vyznuzhdennyh kolebanij dlja snizhenija tjagovo-go soprotivlenija pochvoobrabatyvajushhih mashin / Drozdov S.N. Ashirov I.Z. Sorokin A. A. Nabokina O. Ja // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo univ'er-siteta № 1(39) /2013

4. Avetisjan O.M. Ustrojstvo dlja bezotval'noj obrabotki pochvy v mezhdurjad'jah sada: pat. 2523849 Rossijskaja Federacija: Tverdohlebov A.S., Avetisjan O.M., Dukov S.S. ; zajavitel' i patentoobladatel' Krasnodar Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet – № 2013116652/13; zajavl. 11.04.2013 ; opubl. 27.07.2014, Bjul. № 21.

5. Svetlova E.A. Ustrojstvo dlja bezotval'noj obrabotki pochvy Medovnik A.N. Tverdohlebov S.A. Parhomenko G.G. Svetlova E.A. Utka I.A. patent na izobretenija RUS 2486730 28.02.2012

6. Patent RF № 2557430, 04.06.2014. Medovnik A.N., Tverdohlebov S.A., Avetisjan O.M., Dukov S.S. Ustrojstvo dlja obrabotki pochvy // Patent Rossii № 2557430. 2014 g.

7. Medovnik A.N. Jeksperimental'noe issledovanie glubokoryhritelja dlja obrabotki pochvy v mezhdurjad'jah mnogoletnih nasazhdenij Parhomenko G.G., Medovnik A.N., Tverdohlebov S.A. Mezhdunarodnyj tehniko-jeconomicheskij zhurnal. 2011. №3. S. 76-80

8. Tverdohlebov S.A. Parametry processa obrabotki pochvy universal'nym rabochim organom po konturu zaleganija kornevoj sistemy plodovyh derev'ev v mezhdurjad'jah sada Tverdohlebov S.A. dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehicheskikh nauk / Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. Krasnodar, 2009.