

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 631.317 + 631.516

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-4-9



## АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАШИН ДЛЯ НАРЕЗКИ ГРЯД И ГРЕБНЕЙ

**ПАНОВ АНДРЕЙ ИВАНОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: panov@rgau-msha.ru

**АЛДОШИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: naldoshin@yandex.ru

**ПЛЯКА ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: plyaka@rgau-msha.ru

**МЕХЕДОВ МИХАИЛ АЛЕКСЕЕВИЧ**, канд. с.-х. наук, доцент

E-mail: mekhedov@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49

Предложен способ оценки энергетической эффективности почвообрабатывающих машин для нарезки гряд и гребней при выращивании картофеля, топинамбура и других овощей с учетом взаимосвязи агротехнических и энергетических показателей. При сравнительных испытаниях почвообрабатывающих машин с разными рабочими органами, выполняющими однотипные технологические процессы, целесообразно использовать показатель удельных затрат мощности, отнесенных к среднему диаметру получаемых почвенных комков. Показатель удельной мощности на средний диаметр комка для фрезерного культиватора ФГФ-1 составил 4,0...4,3 кВт/мм, для фрезерной машины ГПК-2-3,3...4,3 кВт/мм, для культиватора КГ-1-2,6...3,2 кВт/мм. Установлено, что потребная мощность для работы культиватора с пассивными рабочими органами при максимально возможной скорости работы на 5...15% ниже, однако фрезерные машины ГПК-2 и ФГФ-1 с активными рабочими органами обеспечивали более высокие агротехнические показатели. Для формирования гряд на предпосадочной обработке суглинистой почвы среднего и тяжелого механического состава рекомендуется использовать фрезерный культиватор ФГФ-1, для нарезки гребней – фрезерную машину ГПК-2, на предпосадочном формировании гребней и послепосадочной междурядной обработке легкой суглинистой почвы – культиватор КГ-1 с пассивными рабочими органами.

**Ключевые слова:** машины для формирования гряд и гребней, энергетические затраты, крошение почвы.

**Формат цитирования:** Панов А.И., Алдошин Н.В., Пляка В.И., Мехедов М.А. Агротехническая и энергетическая оценка машин для нарезки гряд и гребней // Агроинженерия. 2020. № 5(99). С. 4-9. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-4-9.

## AGROTECHNICAL AND ENERGY ASSESSMENT OF RIDGERS AND SEEDBED FORMERS

**ANDREY I. PANOV**, PhD (Eng), Associate Professor,

E-mail: panov@rgau-msha.ru

**NIKOLAY V. ALDOSHIN**, DSc (Eng), Professor,

E-mail: naldoshin@yandex.ru

**VALERIY I. PLYAKA**, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: plyaka@rgau-msha.ru

**MIKHAIL A. MEKHEDOV**, PhD (Ag), Associate Professor

E-mail: mekhedov@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The authors propose a method for the assessment the energy efficiency of soil cultivation machines for forming seedbeds and ridges when growing potatoes, Jerusalem artichoke and other vegetables, taking into account the relationship between agrotechnical and energy indicators. The paper describes the results of comparative field tests of tillage machines with different working tools for the same type

of technological processes. It is advisable to use the indicator of the unit power consumption, referred to the average diameter of soil clods. The indicator of specific power per average clod diameter for the FGF-1 rotary tiller amounted to 4.0...4.3 kW/mm, for the GPK-2 rotary tiller – 3.3...4.3 kW/mm, and for the KG-1 ridge cultivator – 2.6...3.2 kW/mm. The required power for operation of the cultivator with passive working tools at the maximum possible speed is 5...15% lower, however, the GPK-2 and FGF-1 tillers with active working tools demonstrated higher agrotechnical indicators. For cutting ridges on pre-planting treatment of loamy soil of a medium and heavy mechanical composition, it is recommended to use a rotary cultivator FGF-1, for cutting ridges – a rotary tiller GPK-2. On pre-planting ridging and post-planting inter-row cultivation of light loamy soil the KG-1 tiller with passive working tools is a more preferable solution.

**Key words:** ridgers and seedbed formers; energy consumption; soil crumbling rate.

**For citation:** Panov A.I., Aldoshin N.V., Plyaka V.I., Mekhedov M.A. Agrotechnical and energy assessment of ridgers and seedbed formers. *Agricultural Engineering*, 2020; 5 (99): 4-9. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-4-9.

**Введение.** При возделывании овощных культур применяется предпосадочная и послепосадочная обработка почвы, включающая в себя полосное рыхление верхнего слоя почвы, уничтожение сорных растений и формирование гряд или гребней.

Предпосадочное рыхление свободных от камней почв (в том числе орошаемых) различного механического состава с образованием гряд или гребней выполняют после основной отвальной или безотвальной обработки зяби на глубину более 20 см.

Послепосадочное полосное рыхление верхнего слоя почвы совмещают с образованием борозд на гряде по рядам посадок, правкой борозд и окучиванием рядов посадки, уничтожением всходов и проростков сорных растений.

Для формирования гребней и гряд при возделывании овощей на российском рынке предлагаются комбинированные машины с различными рабочими органами: культиваторными лапами, дисками и фрезами [1, 2].

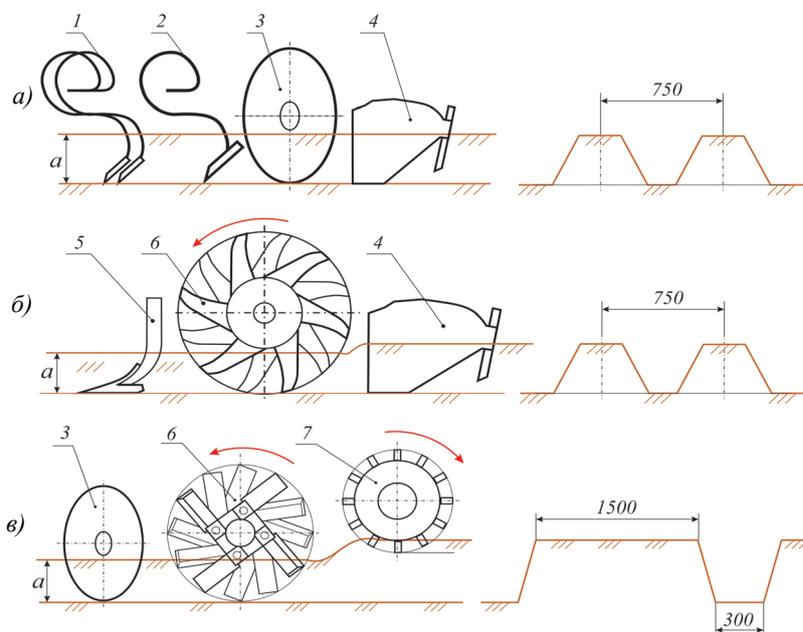
Для сравнительной оценки выполнения этих технологических операций рассмотрены следующие машины:

– культиватор лапово-дисковый КГ-1 для обработки почвы при возделывании картофеля и топинамбура на гребнях с междурядьями 90 см;

– культиватор фрезерный ГПК-2 для возделывания картофеля и топинамбура в системе оригинального семеноводства для формирования гребней или гряд;

– грядообразователь фрезерный ФГФ-1 для предпосадочной обработки почвы и формирования гряд по схеме «150 + 30 см» в системе элитного семеноводства и производства клубней картофеля и топинамбура [3].

Все три комбинированные машины (рис. 1) могут использоваться с тракторами мощностью двигателя 60...90 кВт (тяговых классов 1,4 и 2 т). Для фрезерных машин с активными рабочими органами необходим привод от ВОМ трактора с частотой вращения 540 и 1000 мин<sup>-1</sup> [4].



**Рис. 1. Схемы рабочих органов машин для образования гряд и гребней:**  
**а) культиватор лапово-дисковый КГ-1; б) культиватор фрезерный ГПК-2;**  
**в) грядообразователь фрезерный двухбаранный ФГФ-1**

(1 и 2 – рыхлящие лапы на пружинных стойках; 3 и 4 – диски и пластины, формирующие гребни; 5 – стрельчатые лапы; 6 – ножевой фрезерный барабан; 7 – задний зубовой барабан)

**Fig. 1. Design schemes of machines with working tools for ridging and seed-bed forming:**  
**a) tine-disc cultivator KG-1; б) rotary cultivator GPK-2; в) twin rotary bed former FGF-1**

(1 and 2 – loosening spring tines; 3 and 4 – discs and plates for ridge formation; 5 – duckfoot sweeps; 6 – a front blade rotor; 7 – a rear tooth rotor)

Эффективность работы почвообрабатывающих машин принято оценивать производительностью и энергетическими затратами [5]. При стандартной энергетической оценке машин проводится определение удельного тягового сопротивления (кПа) и удельной энергоёмкости на единицу производительности (кВт·ч·га<sup>-1</sup> или кДж·га<sup>-1</sup>). Однако данные показатели не учитывают степень крошения почвы, существенно влияющую на урожайность [6].

Предпосадочная обработка средних и тяжелых глинистых почв при возделывании овощей требует более тщательного рыхления верхнего слоя почвы для создания мелкокомковатой структуры. Для этого целесообразно использовать фрезерные машины с активным приводом, что способствует повышению качества уборки и снижению производственных затрат на послепосадочную доработку урожая. На легких суглинистых и супесчаных почвах более эффективным является применение гребней и грядообразователей с пассивными тяговыми рабочими органами.

**Цель исследований:** разработать способ сравнительной агротехнической и энергетической оценки машин с разными рабочими органами, применяемых для образования гряд и гребней при возделывании овощных культур.

**Материал и методы.** При исследовании использованы методы лабораторно-полевых испытаний и статистического анализа.

Экспериментальные исследования машин для предпосадочной подготовки почвы под картофель проводились на полях РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и Федерального исследовательского центра картофелеводства имени А.Г. Лорха. Машины КГ-1, ГПК-2 и ФГФ-1 агрегатировались с тракторами МТЗ-82 на полях, подготавливаемых под посадку картофеля и топинамбура при одновременном предпосадочном рыхлении пахотного слоя на установочную глубину  $a = 12$  см и формировании гряд и гребней. Характеристики условий лабораторно-полевых испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия проведения испытаний

Table 1

Test conditions

Показатель <i>Index</i>	Значение показателя <i>Indicator value</i>
Вид работы / <i>Type of work</i>	Предпосадочная обработка почвы с образованием гряд или гребней <i>Preplant tillage with the formation of seed-beds or ridges</i>
Тип почвы и название по механическому составу <i>Soil type and name by texture</i>	Дерново-подзолистая, легкий суглинок <i>Sod-podzolic, light loam</i>
Рельеф / <i>Relief</i>	Уклоны до 5° / <i>Slopes up to 5°</i>
Микрорельеф / <i>Microrelief</i>	Максимальная высота гребней на поверхности поля 5 см <i>Maximum height of ridges on the field surface is 5 cm</i>
Влажность почвы, %, в слое, см: <i>Soil moisture, %, in the layer, cm:</i>	
0...5	22,5
5...10	22,6
10...15	22,6
15...20	22,8
Твердость почвы, МПа, в слоях, см: <i>Soil hardness, MPa, in layers, cm:</i>	
0...5	0,9
5...10	1,1
10...15	1,8
Засоренность поля сорняками, шт/м <sup>2</sup> <i>Field weed infestation, pcs / m<sup>2</sup></i>	192,0
Агрегатный состав почвы, % <i>Aggregate composition of the soil, %</i> размеры фракций, мм: <i>size of fractions, mm:</i>	
более 100 / over 100	0
50...100	2,7
20...50	22,6
10...20	18,8
7...10	7,8
5...7	7,7
3...5	8,6
1...3	23,9
менее 1 / less than 1	7,9

Основные агротехнические требования для технологической операции предпосадочной обработки почвы под посадку клубнеплодов заключаются в следующем:

– допустимое отклонение фактической глубины обработки от заданной – не более 5%;

– в обработанном слое почвы наличие комков до 20 мм должно составлять не менее 65%, комки размером свыше 50 мм не допускаются;

– повышение содержания эрозионно-опасных частиц (размером менее 1 мм) в слое 0-5 см не допускается.

Подрезание сорных растений при обработке – не менее 100%.

**Результаты исследований.** При агротехнической оценке машин для определения крошения почвы применялся стандартный метод с разделением отобранных проб на отдельные фракции с помощью набора сит. Каждую

фракцию комков взвешивали, определяли ее массовую долю в пробе почвы.

Полученные в результате испытаний показатели агротехнической и энергетической оценки работы машин приведены в таблице 2.

Анализ результатов показывает, что работа всех машин при испытаниях отвечала основным агротехническим требованиям, большую часть комков обработанной почвы составила фракция размером менее 10 мм, комки фракции более 50 мм не образовывались.

Более высокое качество крошения почвы по сравнению с диско-лаповым культиватором КГ-1 обеспечивали фрезерные машины ГПК-2 и ФГФ-1, однако потребная мощность культиватора КГ-1 с пассивными рабочими органами была при максимально возможной скорости работы на 5...15% ниже.

Таблица 2

Показатели работы машин при полевых испытаниях

Table 2

Performance of machines in field tests

Марка машины/ Machine brand	КГ-1 KG-1	ГПК-2 GPK-2	ФГФ-1 FGF-1
Ширина захвата рабочая, м / Operating width, m	1,8	1,6	1,7
Максимальная рабочая скорость, м/с / Maximum operating speed, m/s	1,64	1,55	1,78
Производительность за 1 час основного времени, га/ч Productivity per hour of basic time, ha/h	2,95	2,48	3,03
Глубина обработки / Tillage depth: среднее значение, см / average value, cm среднеквадратическое отклонение, ±см / standard deviation, ± cm	11,5 1,1	11,6 1,0	12,5 0,7
Расход топлива часовой, кг/ч / Hourly fuel consumption, kg/h	10,00	12,30	10,10
Расход топлива погектарный, кг/га Fuel consumption per hectare, kg/ha	3,39	4,96	3,34
Мощность, потребляемая агрегатом, кВт Power consumed by the unit, kW	36,80	41,00	37,40
Удельные энергозатраты, кВт·ч·га <sup>-1</sup> Specific power consumption, kWh·ha <sup>-1</sup>	12,47	16,53	12,36
Крошение почвы, %, на фракции: Soil crumbling (%) into fractions: размер комков, мм / lump size, mm:			
менее 10 / less than 10	62,3	81,5	85,9
10...20	29,9	10,3	8,6
20...30	7,8	4,8	3,4
30...50	0	3,4	2,1
свыше 50 / over 50	0	0	0

Основываясь на приведенных данных, невозможно сделать заключение о предпочтительности рабочих органов той или иной машины – необходимо сравнение машин по показателям энергоемкости с учетом качества крошения почвы.

Для оценки энергетических затрат мощность или расход топлива, потребные для работы машины, целесообразно относить к суммарной поверхности или к среднему размеру образованных почвенных комков. Данный метод основан на гипотезе, согласно которой работа, затраченная на дробление твердого тела (крошение почвы), прямо

пропорциональна вновь полученной суммарной поверхности комков. В работе [7] обоснованы необходимость и возможность оценки энергоемкости машин с учетом крошения при использовании показателя удельной мощности:

$$N_d = N / d_{cp}, \text{ кВт} \cdot \text{мм}^{-1},$$

где  $d_{cp} = \sum_{i=1}^n d_i p_i$  – средний размер вновь образованных почвенных комков, мм;  $p_i$  и  $d_i$  – вероятность образования и средняя величина, мм, комков  $i$ -й фракции,  $n$  – количество фракций в пробе почвы.

В таблице 3 приведены величины  $d_{cp}$  (м) и  $N_d$  (кВт·мм<sup>-1</sup>) для трех сравниваемых машин при формировании гребней и гряд на максимальной скорости (производительности).

На рисунке 2 приведены графики зависимости удельной мощности  $N_d$  от скорости для трех сравниваемых машин. Полученные данные показывают, что фрезерный культиватор ГПК-2 имел наибольшую потребную мощность  $N$  (кВт), а культиватор КГ-1 с тяговыми рабочими органами – наименьшую. По показателям удельной

мощности  $N_d$  наиболее эффективным следует признать двухбарабанный фрезерный культиватор ФГФ-1, который обеспечивал наилучшее крошение почвы (наибольшее количество комков размером менее 10 мм).

Метод оценки сравниваемых машин по удельной мощности с учетом среднего размера комков дает достаточно объективную оценку эффективности почвообрабатывающих машин по качеству крошения почвы. Кроме того, он позволяет обосновать направления совершенствования конструкций рабочих органов машин.

Таблица 3

Показатели затрат энергии

Table 3

Power consumption indicators

Марка машины / Machine brand	КГ-1 KG-1	ГПК-2 GPK-2	ФГФ-1 FGF-1
Мощность, потребляемая машиной, $N$ , кВт Power consumed by the machine, $N$ , kW	30,8	35,2	31,4
Средний размер комков, $d_{cp}$ , см Average size of lumps, $d_{cp}$ , cm	1,52	1,41	1,36
Удельная мощность $N_d = N/d_{cp}$ , кВт·мм <sup>-1</sup> Specific power $N_d = N / d_{cp}$ , kW·mm <sup>-1</sup>	20,26	24,96	22,11

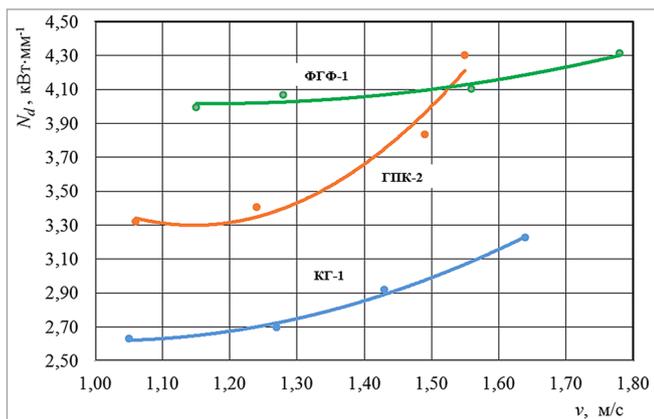


Рис. 2. Зависимости удельной мощности от скорости машин

Fig. 2. Relationship between specific power consumption per average clod diameter and the working speed of machines

Проведенные исследования показали, что в машине ФГФ-1 необходимо плавно менять частоту вращения заднего фрезерного барабана в зависимости от физико-механических свойств почвы для регулирования степени крошения [8].

Библиографический список

1. IMAC S.r.l. URL: <http://www.imac-rondelli.it/eng/ridge-formers.html> (дата обращения: 28.08.2020).
2. SIMON. The designer-manufacturer of equipment for preparing soil and harvesting vegetables. URL: <https://www.machines-simon.com/en/our-machines/soil-preparation/twin-rotor-bed-former/single-cultivateau/> (дата обращения: 28.08.2020).

Выводы

1. При энергетической оценке почвообрабатывающих машин следует учитывать качество крошения почвы, для чего целесообразно использовать показатель удельной потребной мощности, отнесенной к среднему диаметру получаемых почвенных комков.
2. Потребная мощность для работы культиватора КГ-1 с пассивными рабочими органами была при максимально возможной скорости работы на 5...15% ниже, однако фрезерные машины ГПК-2 и ФГФ-1 с активными рабочими органами обеспечивали более высокие агротехнические показатели.
3. Показатель удельной мощности на средний диаметр комков почвы для фрезерного культиватора ФГФ-1 составил 4,0...4,3 кВт/мм, для фрезерной машины ГПК-2 – 3,3...4,3 кВт/мм, для культиватора КГ-1 – 2,6...3,2 кВт/мм.
4. Для формирования гряд на предпосадочной обработке суглинистой почвы среднего и тяжелого механического состава рекомендуется использовать фрезерный культиватор ФГФ-1, для нарезки гребней – фрезерную машину ГПК-2. На предпосадочном формировании гребней и послепосадочной междурядной обработке легкой суглинистой почвы – культиватор КГ-1 с пассивными рабочими органами.

References

1. IMAC S.r.l. Access mode: <http://www.imac-rondelli.it/eng/ridge-formers.html> (Access date 28.08.2020)
2. SIMON. The designer-manufacturer of equipment for preparing soil and harvesting vegetables. Access mode: <https://www.machines-simon.com/en/our-machines/soil-preparation/twin-rotor-bed-former/single-cultivateau/> (Access date 28.08.2020)

3. Зволинский В.Н., Мосяков М.А., Семичев С.В. Опыт и перспективы применения двухбарабанных ротационных почвообрабатывающих орудий // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 2. С. 24-27.

4. Kazuaki Hirasawa, Takashi Kataoka, Takayuki Kubo. Relationship between Required Power and PTO Speed in Rotary Tiller, IFAC Proceedings Volumes, 2013. Vol. 46. Issue. 4. Page 141-146. URL: <https://doi.org/10.3182/20130327-3-JP-3017.00033>.

5. Prathuang Usaborisut, Kittikhun Prasertkan. Specific energy requirements and soil pulverization of a combined tillage implement. *Heliyon*, 2019. ISSN2405-8440. Vol. 5. Issue. 11. Page e02757. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02757>.

6. Hosokawa Hisashi, Adachi Kazuhide, Itoh Kouichi, Matsuzaki Morio. Rotary Tilling and Ridge-Making Methods for Heavy Clay Soil // Japan International Research Center for Agricultural Sciences. 2001. Volume 35. Issue 4. Pp. 255-261. URL: <https://www.jircas.go.jp/en/publication/jarq/35/4/255>.

7. Панов А.И. Агротехническая и энергетическая оценка ротационных почвообрабатывающих машин для теплиц // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2012. № 5 (56). С. 21-23.

8. Алдошин Н.В., Панов А.И., Мехедов М.А. Совершенствование конструкции фрезерной машины для нарезки гряд // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 1 (89). С. 15-19.

3. Zvolinskiy V.N., Mosyakov M.A., Semichev S.V. Opyt i perspektivy primeneniya dvukhbarabannykh rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh orudiy [Experience and prospects of using double-drum rotary tillage implements]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016; 2: 24-27. (In Rus.)

4. Kazuaki Hirasawa, Takashi Kataoka, Takayuki Kubo. Relationship between Required Power and PTO Speed in Rotary Tiller. *IFAC Proceedings Volumes*, 2013, ISSN: 1474-6670, Vol: 46, Issue: 4, Page: 141-146. <https://doi.org/10.3182/20130327-3-JP-3017.00033> (In English)

5. Prathuang Usaborisut, Kittikhun Prasertkan. Specific energy requirements and soil pulverization of a combined tillage implement. *Heliyon*, 2019, ISSN: 2405-8440, Vol: 5, Issue: 11, Page: e02757. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02757> (In English)

6. Hosokawa Hisashi, Adachi Kazuhide, Itoh Kouichi, Matsuzaki Morio. Rotary Tilling and Ridge-Making Methods for Heavy Clay Soil // Japan International Research Center for Agricultural Sciences. 2001. Volume 35. Issue 4. Pp. 255-261. <https://www.jircas.go.jp/en/publication/jarq/35/4/255> (In English)

7. Panov A.I. Agrotehnicheskaya i energeticheskaya otsenka rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin dlya teplits [Agrotechnical and energy assessment of rotary tillage machines used in greenhouses]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2012; 5 (56): 21-23. (In Rus.)

8. Aldoshin N.V., Panov A.I., Mekhedov M.A. Sovershenstvovanie konstruktssii frezernoy mashiny dlya narezki gryad [Improvement of the design of a rotary tiller for soil ridging]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 1 (89): 15-19. (In Rus.)

#### Критерии авторства

Панов А.И., Алдошин Н.В., Пляка В.И., Мехедов М.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент. Панов А.И., Алдошин Н.В., Пляка В.И., Мехедов М.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 02.09.2020

Опубликована 30.10.2020

#### Contribution

Panov A.I., Aldoshin N.V., Plyaka V.I., Mekhedov M.A. carried out theoretical studies and conducted the experiment based on the obtained theoretical results. Panov A.I., Aldoshin N.V., Plyaka V.I., Mekhedov M.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on September 2, 2020

Published 30.10.2020