

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ САМОХОДНЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ФРЕЗ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ**

**А. С. Князьков, Н. И. Наумкин, В. Ф. Купряшкин**

В статье анализируются способы и методы повышения функционирования малогабаритных самоходных почвообрабатывающих машин; обосновывается необходимость регулирования угла резания фрез барабана; рассматриваются конструкции новых почвообрабатывающих фрез с регулируемым углом резания, защищенные патентами Российской Федерации.

*Ключевые слова:* фреза, угол резания, малогабаритные почвообрабатывающие фрезы, регулирование угла резания.

## **IMPROVEMENT OF THE OPERATING EFFECT OF SMALL SELF-PROPELLED ROTARY TILLERS BY USING ADAPTIVE POWER EFFICIENT TOOLS**

**A. S. Knyaz'kov, N. I. Naumkin, V. F. Kupryashkin**

The article analyzes the ways and methods of improvement of the functioning of small self-propelled tillers. The main methods are based on the selection of the most optimal modes of tillage mills by changing the translational or angular velocity of milling drum. The necessity of adjusting the angle of the cutting milling drum is stated as important task for resolving this problem. Milling drum in a conventional cutting chip increases significantly the power consumed for cutting, as compared to the capacity of the upgraded tool whose blades have a constant cutting angle. The practical application of this body of work would reduce the energy intensity of milling drums at 30% while maintaining the specified agronomic requirements. The authors have proposed construction of new tillage tools with adjustable cutting angle, protected by patents of the Russian Federation.

*Keywords:* cutter, cutting angle, small tillage cutters, cutting angle adjustment.

Самоходные малогабаритные почвообрабатывающие фрезы (СМПФ), несмотря на свои незначительные размеры, представляют собой сложную технологическую машину, работающую в условиях непрерывно изменяющихся внешних воздействий, обусловленных многочисленными и разнообразными факторами, такими как режим нагружения, состояние обрабатываемого продукта, погодноклиматические условия и др.

Многочисленные исследования по динамике работы таких машин показывают отрицательное влияние крутильных колебаний фрезы на энергетические, эксплуатационно-технологические и агротехнические показатели работы почвообрабатывающего агрегата, а также на показатели надежности элементов его привода. В связи с этим на стадии разработки машины, а также при ее эксплуатации необходимо решать вопросы снижения всех типов динамических нагрузок [3].

© Князьков А. С., Наумкин Н. И., Купряшкин В. Ф., 2014

В настоящее время для снижения динамических нагрузок в приводе почвообрабатывающих фрез и повышения их функционирования применяются несколько способов. Опираясь на анализ исследований ротационных почвообрабатывающих машин, а также на особенности конструкций почвообрабатывающих фрез и на богатый опыт их эксплуатации в различных условиях, можно выделить две группы таких способов: технологические и конструкторские (рис. 1) [1].

Согласно рис. 1, первая группа способов основывается на выборе наиболее оптимальных режимов работы почво-

обрабатывающих фрез путем изменения поступательной или угловой скорости движения фрезбарабана. Изменение поступательной скорости фрезы обеспечивается выбором необходимой передачи коробки скоростей энергетического средства, с которым она агрегируется (для прицепных и навесных фрез), или коробкой скоростей СМПФ. Однако данный способ не нашел применения в СМПФ по причине отсутствия в их конструкции многоступенчатых коробок скоростей. Кроме того, в большинстве случаев СМПФ с целью упрощения конструкции и снижения их стоимости изготавливаются с одной или двумя передачами.



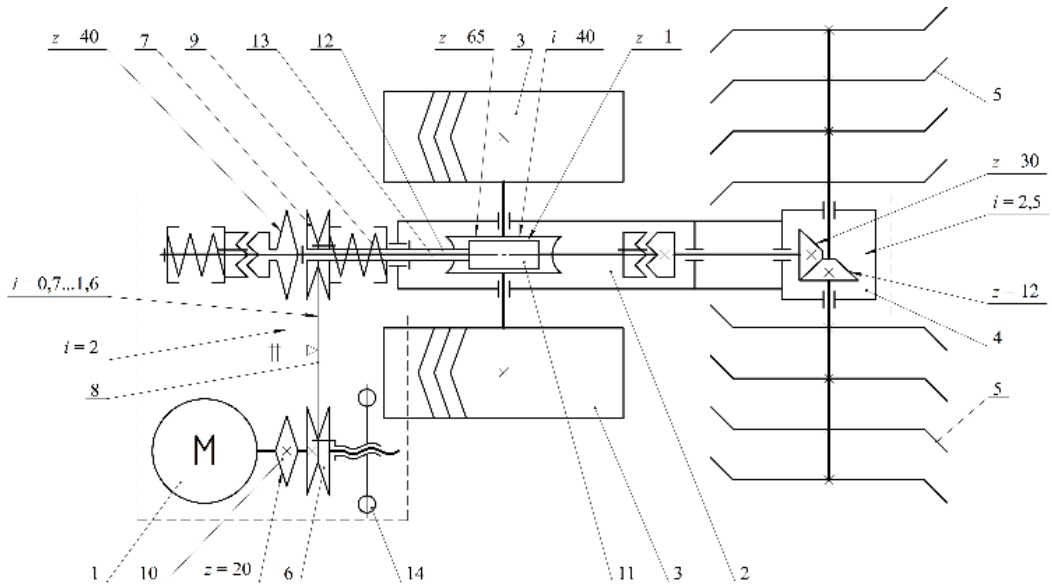
Рис. 1. Способы снижения динамических нагрузок в приводе и повышения функционирования почвообрабатывающих фрез

Для устранения этого недостатка нами была предложена конструкция СМПФ с бесступенчатым регулированием поступательной скорости машины и подачи на нож (рис. 2) [5]. Регулирование поступательной скорости в данной конструкции осуществляется клиноремным вариатором.

Проведенные полевые испытания опытных образцов таких СМПФ в условиях открытого и закрытого грунтов подтвердили результаты лабораторных исследований и показали, что их производительность возросла в 2,5 раза (с 0,085 до 0,215 га/ч) при использовании машины в условиях открытого грунта и в 2,2 раза (с 0,085 до 0,19 га/ч)

в условиях закрытого грунта. При этом удельная энергоёмкость с увеличением подачи с 0,03 до 0,074 м снизилась на 27 % (с  $14,15 \times 10^{-3}$  до  $10,27 \times 10^{-3}$  кВт  $\times$  ч/м<sup>3</sup>), а в условиях закрытого грунта с увеличением подачи с 0,03 до 0,065 м – на 28 % (с  $4,21 \times 10^{-3}$  до  $3,04 \times 10^{-3}$  кВт  $\times$  ч/м<sup>3</sup>). Однако применение в данной конструкции базовых рабочих органов не позволяет в полной мере реализовать заложенный в этой конструкции СМПФ потенциал.

Выбор подачи за счет регулирования угловой скорости вращения фрезбарана обеспечивается путем установки сменных блоков рабочих элементов передач или выбором необходимой передачи коробки скоростей привода в конструкциях самих фрез. Данный способ регулирования используется только в отдельных случаях по причине усложнения конструкции СМПФ и повышения их стоимости.



1 – электрический двигатель; 2 – редуктор привода ходовой части; 3 – ходовые колеса; 4 – привод рабочих органов; 5 – фрезерные рабочие органы; 6 и 7 – ведущий и ведомый шкивы клиноременного вариатора; 8 – клиновой ремень; 9 – пружина ведомого шкива; 10 – звездочка; 11 – червяк; 12 – полый вал; 13 – центральный вал; 14 – маховичок регулирования клиноременным вариатором.

Рис. 2. Кинематическая схема опытного образца СМПФ

Наряду с вышеперечисленными способами возможен также способ обработки почвы в два следа на различных глубинах обработки. Однако этот способ требует увеличения энергозатрат на обработку почвы, поэтому используется только для обработки тяжелых почв.

Вторая группа способов основывается на выборе наиболее рациональной конструкции фрезерных барабанов и сочетании их работы с пассивными рабочими органами. Рациональная конструкция фрезбаранов определяется использова-

нием наиболее оптимальной конструкции рабочих органов (ножей) и их взаимном размещении. В настоящее время в конструкциях фрезбаранов почвообрабатывающих фрез применяется большое количество разновидностей ножей, среди которых наибольшее применение находят Г-образные ножи. При этом наиболее оптимальным является расположение ножей по замкнутой спирали на фрезбаранах широкозахватных фрез, а в случае с СМПФ – по встречным спиральям с симметричным расположением.

Одним из эффективных способов снижения динамических нагрузок в СМПФ является обеспечение постоянства угла резания [7]. Исследования Г. Ф. Попова показывают, что в процессе отрезания стружки обычным фрезерным барабаном значительно возрастает мощность, затрачиваемая на фрезерование, по сравнению с мощностью модернизированного инструмента, ножи которого имеют постоянный угол резания [7]. Во время работы такого барабана (рис. 3а) нож в процессе резания

проходит по траектории трохоиды, описываемой каждым ножом, с минимальным углом отклонения от нее. При этом наблюдается минимальное сопротивление почвы о нож. Движение ножа в обычном барабане (рис. 3б) происходит с изменением угла резания, что приводит к дополнительному сопротивлению резания. При этом происходит дополнительное смятие почвы и перемещение ее в свободную борозду, что отрицательно влияет на энергетические затраты.

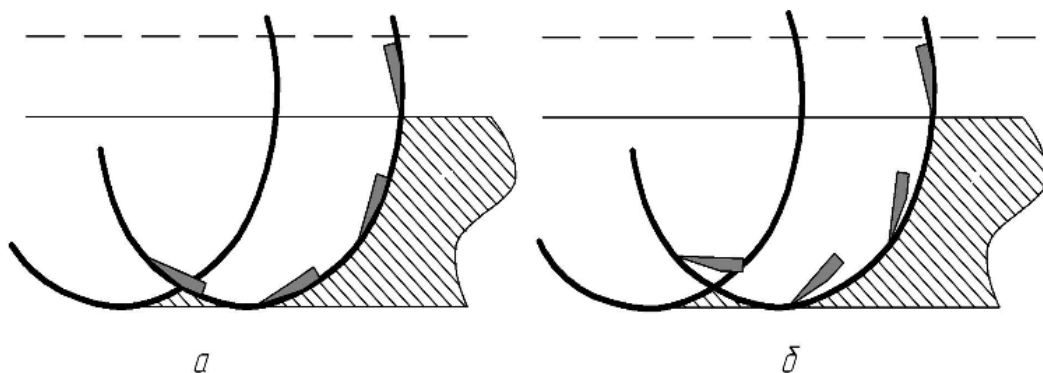


Рис. 3. Траектория движения ножа

Для обеспечения постоянного угла резания Г. Ф. Поповым предлагается рабочий

орган (рис. 4), обеспечивающий постоянство угла резания при отрезании стружки.

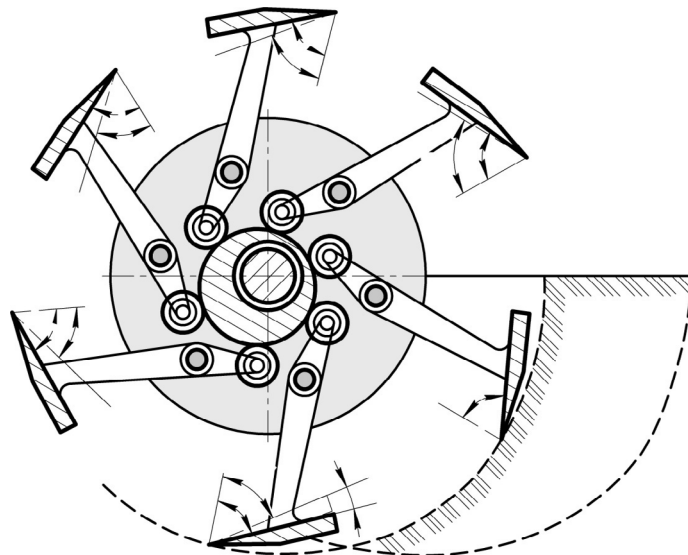


Рис. 4. Рабочий орган с постоянным углом резания Г. Ф. Попова

Практическое применение данного рабочего органа позволило бы снизить энергоемкость фрезерования на 30 % при сохранении заданных агротехнических требований. Однако конструкция таких фрезерных барабанов оказалась значительно сложнее обычных, кроме того, она позволяет обеспечить только один режим работы, обусловленный конкретными почвенными условиями, что является значительным сдерживающим

фактором их практического использования.

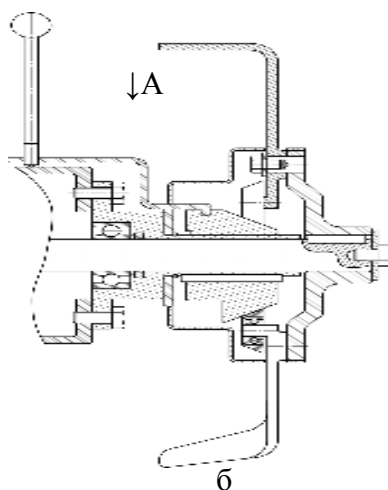
В связи с этим решение задачи регулирования угла резания путем разработки многорежимных рабочих органов с постоянным углом резания при условии их адаптивности к различным почвенным условиям является весьма актуальным. Ввиду этого нами были предложены конструкции адаптивных энергоэффективных рабочих органов с постоянным углом резания (рис. 5 а, б, в) [6].



а



в



б

Рис. 5. Конструкции адаптивных энергоэффективных рабочих органов

Кроме этого особый интерес представляют рабочие органы, в конструк-

ции которых применяется планетарный механизм (рис. 6) [6].

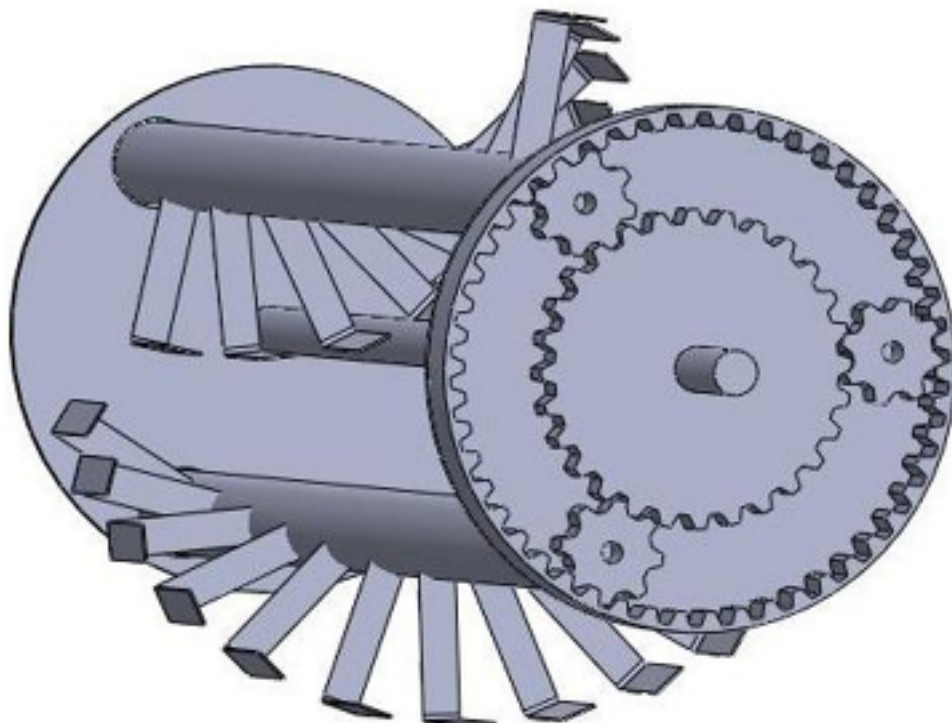


Рис. 6. Схема планетарного рабочего органа

Предложенная нами почвообрабатывающая фреза с изменяющимся углом атаки ножа разработана на основе синтеза планетарного рабочего органа при помощи адаптированной методики идентификации плоских рычажных механизмов любой сложности с зубчатыми (Л. Т. Дворникова, А. Э. Садиева) [8–9] и трансформированной впоследствии В. В. Дмитриевым [9] в метод конвертации. В этой фрезе при прохождении ножа в почвенном слое по траектории-трохоиде изменяется угол резания. Этот эффект достигается при помощи установки на фрезу нескольких фрезбарабанов. При вращении вокруг основного вала фрезбарабан при помощи зубчатых колес, образующих планетарную передачу, приводится во враще-

ние. Таким образом, при прохождении в почве нож вращается вокруг основной оси и оси фрезбарабана. Подбирая диаметры зубчатых колес и угловой скорости фрезбарабана в зависимости от поступательной скорости фрезы, можно добиться движения ножа по трохоиде с оптимальным углом установки ножа в определенном местоположении. При прохождении ножа в почве с оптимальным углом резания устраняются трение ножа о почву и ее повышенное смятие, сопровождающие фрезерование почвы с жестко установленным ножом.

Другим не менее эффективным способом снижения динамических нагрузок в приводе и повышения эффективности использования почвообрабатывающих фрез является комбинация

работы фрезбарabanов с пассивными рабочими органами, выполняющими функцию предварительного рыхления почвы. Данный способ широко применяется в конструкциях широкозахватных фрез, агрегируемых с трактором. Применение данного способа в СМПФ не получило распространения, видимо, по причине сложности обеспечения курсовой устойчивости машины.

Повышения функционирования почвообрабатывающих фрез можно также добиться увеличением ширины захвата фрезбарabanов, установив на них дополнительные секции с ножами. Данный способ, как показывает анализ, получил широкое применение в конструкциях СМПФ. Однако при этом необходимо отметить, что снижение динамических нагрузок в приводе остается под вопросом по причине необоснованного подхода к расположению ножей на фрезбарабане.

Снижение динамических нагрузок в приводе, повышение курсовой устойчивости и функционирования почвообрабатывающих фрез можно обеспечить использованием маховичного аккумулятора кинетической энергии (МАКЭ) [4]. Теоретический анализ влияния МАКЭ

на функционирование почвообрабатывающих машин, на возникающие при его разрядке реактивный и гироскопический моменты, а также эффект сглаживания пиковых нагрузок в элементах привода приводят к повышению курсовой устойчивости фрезы и к равномерной загрузке двигателя [9]. Однако наличие серьезных недостатков, связанных с отсутствием доступных, недорогих материалов, применяемых при изготовлении маховика, высокоэффективных подшипниковых опор и повышающих передач с достаточно жесткой обратной связью, не нашли практического применения в конструкциях фрез.

Таким образом, одним из перспективных путей повышения функционирования СМПФ за счет роста производительности и снижения энергоемкости фрезерования является комбинация почвообрабатывающих фрез с бесступенчатым регулированием поступательной скорости и применение адаптивных энергоэффективных рабочих органов с постоянным углом резания. Для подтверждения этих выводов необходимы реальные конструкции новых машин и их апробация в условиях АПК.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ способов снижения динамических нагрузок в приводе почвообрабатывающих фрез и повышения эффективности их функционирования / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – С. 433–439.
2. Анализ устойчивости движения самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы при ее качении относительно ходовых колес / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Вестник Кыргызско-российского славянского университета. – 2011. – № 11. – С. 113–119.
3. Купряшкин, В. Ф. Теоретические основы проектирования почвообрабатывающих фрез с изменяемым углом резания / В. Ф. Купряшкин, Н. И. Наумкин, А. С. Князьков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – С. 62–63.
4. Патент 2243633 Российская Федерация, МПК А 01 В 33/00, 33/08. Почвообрабатывающая фреза / М. Н. Чаткин [и др.] ; заявитель и патентообладатель Мордов. гос. ун-т. – № 2003103179/12 ; заявл. 03.02.2003 ; опубл. 10.01.2005, Бюл. № 1. – 4 с.: ил.
5. Патент 2353080 Российская Федерация, МПК А 01 В 33/04. Почвообрабатывающая фреза / А. В. Безруков [и др.] ; заявитель и патентообладатель Мордов. гос. ун-т. – № 2007146044/12 ; заявл. 11.12.2007 ; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 12. – 5 с.: ил.
6. Патент 2481759 Российская Федерация, МПК А 01 В 33/02. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы / Н. И. Наумкин [и др.] ; заявитель и патентообладатель Мордов. гос. ун-т. – № 2011126451/13 ; заявл. 27.06.2011 ; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 1. – 4 с.: ил.

7. **Сенин, М. Ф.** Технологические и технические основы совмещения фрезерования почвы с посевом / М. Ф. Сенин. – Москва : Изд-во МСХА, 1991. – 184 с.

8. Синтез планетарных механизмов высокотехнологичных сельскохозяйственных машин методом их идентификации с рычажными / Н. И. Наумкин [и др.] // Нива Поволжья. – 2010. – № 4. – С. 45–48.

9. Синтез планетарных рабочих органов высокотехнологичных почвообрабатывающих машин методом конвертации / Н. И. Наумкин [и др.] // Современное машиностроение. Наука и образование : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 315–319.

Поступила 27.11.2013 г.

Об авторах:

**Князьков Алексей Сергеевич**, преподаватель кафедры основ конструирования механизмов и машин института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия), dep-general@adm.mrsu.ru

**Наумкин Николай Иванович**, кандидат технических наук, доктор педагогических наук, заведующий кафедрой основ конструирования механизмов и машин института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия), dep-general@adm.mrsu.ru

**Купряшкин Владимир Федорович**, кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия), dep-general@adm.mrsu.ru

*Для цитирования:* Князьков, А. С. Повышение эффективности функционирования самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез путем использования адаптивных энергоэффективных рабочих органов / А. С. Князьков, Н. И. Наумкин, В. Ф. Купряшкин // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 1. – С. 186–194.

## REFERENCES

1. Kupryashkin V. F. Analiz sposobov snizheniya dinamicheskikh nagruzok v privode pochvoobrabatyvayushchikh frez i povysheniya effektivnosti ikh funktsionirovaniya [Analysis of ways of dynamic loads decrease of potary tiller drives and their improvement]. *Resursoberegayushchiye i ekologicheski bezopasnye tekhnologii proizvodstva i pererabotki selskokhozyaystvennoy produktsii : Materialy VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* – Recourse-saving and environmentally safe technologies of producing and processing agricultural products: Proceedings of the VIII Intern. scientific-practical Conference. Saransk, Mordov. University Publ., 2012, pp. 433 – 439.

2. Kupryashkin V. F. Analiz ustoychivosti dvizheniya samokhodnoy malogabaritnoy pochvoobrabatyvayushchey frezy pri eye kachanii otноситelno khodovykh koles [Analysis of dynamical stability of small self-propelled tillers in webble relative to ground wheels]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossyskogo Slavyanskogo universiteta* – Kyrgyz Russian Slavic University. 2011, no. 11, pp. 113 – 119.

3. Kupryashkin V. F., Naumkin N. I., Knyazkov A. S. Teoreticheskiye osnovy proyektirovaniya pochvoobrabatyvayushchikh frez s izmenyaemym uglom rezaniya [Theoretical bases for designing of tillage tools with a variable angle cutting]. *Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* – International Journal of applied and fundamental research. 2013, no. 2, pp. 62 – 63.

4. Chatkin M. N., Kupryashkin V. F., Panfilov N. P., Naumkin N. I., patent 2243633, Rossiyskaya Federaziya, MPK A 01 V 33/00, 33/08 Pochvoobrabatyvayushchaya freza [Patent 2243633, Russia, MPK A 01 V 33/00, 33/08 Cultivation cutter], no. 2003103179/12, claimed 03.02.2003, published 10.01.2005, Bul. no. 1, pp. 4.

5. Bezrukov A. V., Kupryashkin V. F., Naumkin N. I., Chatkin M. N., patent 2353080, Rossiyskaya Federaziya, MPK A 01 V 33/04 Pochvoobrabatyvayushchaya freza [Patent 2353080, Russia, MPK A 01 V 33/04 Cultivation cutter], no. 2007146044/12, claimed 11.12.2007, published 27.04.2009, Bul. no. 12, pp. 5.

6. Naumkin N. I., Knyaz'kov A. S., Kupryashkin V. F., Bezrukov A. V., patent 2481759, Rossiyskaya Federaziya, MPK A 01 V 33/02 Rabochy organ pochvoobrabatyvayushchey frezy [Patent 2481759, Russia, MPK A 01 V 33/02. Rotary tillage tool], no. 2011126451/13, claimed 27.06.2011, published 20.05.2013, Bul. no. 1, pp. 4.



7. Senin M. F. Tekhnologicheskiye i tekhnicheskiye osnovy sovmeshcheniya frezerovaniya pochvy s posevom [Technological and technical basis for combining soil milling and sowing]. Moscow, MSKhA Publ., 1991, 184 p.

8. Naumkin N. I. Sintez planetarnykh mekhanizmov vysokotekhnologichnykh selskokhozyaystvennykh mashin metodom ikh identifikatsii s rychazhnymi [Synthesis of high-tech planetary gears of agricultural machines by the method of their identification with linkage gears]. *Niva Povolzhya* – Field of Povolzhje. 2010, no. 4, pp. 45 – 48.

9. Naumkin N. I. Sintez planetarnykh rabochikh organov vysokotekhnologichnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin metodom konvertatsii [Synthesis of high-tech planetary tillers by conversing]. *Sovremennoye mashinostroyeniye. Nauka i obrazovaniye: Materialy Mezhdunar. nauch.–prakt. konferentsii* – Modern engineering. Science and Education: Proceedings of the Intern. scientific–practical conference. SPb., Politekh. University Publ., 2011, pp. 315 – 319.

*About the authors:*

**Knyaz'kov Alexey Sergeevich**, lecturer, Department of Design Principles for Mechanisms and Machines, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia), dep-general@adm.mrsu.ru

**Naumkin Nikolay Ivanovich**, Associate Professor (docent), Head of Department of Design Principles for Mechanisms and Machines, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia), Kandidat Nauk (PhD) degree holder in Engineering sciences, Doktor Nauk degree holder in Pedagogical sciences, dep-general@adm.mrsu.ru

**Kupryashkin Vladimir Fedorovich**, Associate Professor (docent), Department of Design Principles for Mechanisms and Machines, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia), Kandidat Nauk (PhD) degree holder in Engineering sciences, dep-general@adm.mrsu.ru

*For citation:* Knjaz'kov A. S., Naumkin N. I., Kuprjashkin V. F. Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovaniya samohodnyh malogabaritnykh pochvoobrabatyvajushhih frez putem ispol'zovaniya adaptivnykh jenergoeffektivnykh rabochih organov [Effectivization Of Small Self-Propelled Tillers By Implementation Of Adaptive Energy-Efficient Work-Tools]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2014, no. 1, pp. 186 – 194.