

УДК 631.372

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

ВЛИЯНИЕ УДМ В СИЛОВОЙ ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА КЛАССА 1,4 НА БУКСОВАНИЕ ЕГО ДВИЖИТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ В СОСТАВЕ МТА

Кравченко Владимир Алексеевич
доктор технических наук, профессор
РИНЦ SPIN-код = 9983-4293
E-mail: a3v2017@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина-1, Россия

Кравченко Людмила Владимировна
доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой
РИНЦ SPIN-код = 9684-8955
e-mail: lyudmila.vl.kravchenko@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1 Россия

Сенькевич Сергей Евгеньевич
кандидат техн. наук, старший научный сотрудник
РИНЦ SPIN-код = 7766-6626
e-mail: sergej_senkevich@mail.ru
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5 Россия

Журба Виктор Викторович
кандидат технических наук, доцент
РИНЦ SPIN-код = 1453-5517
e-mail: vic.zhurba@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, Россия

Дурягина Вероника Владимировна
ст. преподаватель
РИНЦ SPIN-код = 6386-3689
e-mail: vepanuka@mail.ru
Инженерно-технологическая академия ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог Ростовской области, пер. Некрасовский, 44, Россия

Цель работы: научное обоснование возможности снижения буксования двигателей мобильных энергетических средств тягового класса 1,4 при выполнении различных технологических операций при выращивании продукции растениеводства установкой в их силовую передачу упругодемпфирующего механизма с переменной жёсткостью. Предложено для снижения буксования двигателей мобильных энергетических средств тягового класса 1,4 в составе машинно-тракторных

UDC 631.372

05.20.01 Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

THE INFLUENCE OF UDM IN THE POWER TRANSMISSION OF CLASS 1.4 ENERGY MEANS ON DYNAMIC PROCESSES IN THE LINKS OF A MACHINE-TRACTOR UNIT

Kravchenko Vladimir Alekseevich
Doctor of Technical Sciences, Professor
RSCI SPIN code = 9983-4293
E-mail: a3v2017@yandex.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don, pl.Gagarina, 1, Russia

Kravchenko Lyudmila Vladimirovna
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department
RSCI SPIN-code = 9684-8955
e-mail: lyudmila.vl.kravchenko@yandex.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don, pl.Gagarina, 1, Russia

Senkevich Sergey Evgenievich
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
RSCI SPIN code = 7766-6626
e-mail: sergej_senkevich@mail.ru
FGBNU "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Moscow, 1 Institute proezd, 5, Russia

Zhurba Viktor Viktorovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
RSCI SPIN-code = 1453-5517
e-mail: vic.zhurba@yandex.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don, pl.Gagarina, 1, Russia

Duryagina Veronika Vladimirovna
senior lecturer
RSCI SPIN-code = 6386-3689
e-mail: vepanuka@mail.ru
Engineering and Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Rostov region, per.Nekrasovsky, 44, Russia

The purpose of the work is scientific substantiation of the possibility of reducing the slipping of mobile propulsion vehicles of traction class 1.4 when performing various technological operations in the cultivation of crop production by installing an elastic damping mechanism with variable stiffness in their power transmission. It is proposed to install an elastic damping mechanism with variable stiffness in the power transmission in order to reduce the slipping of

агрегатов устанавливать в силовую передачу упруго-демпфирующий механизм с переменной жёсткостью. Приведены результаты исследований влияния установки на ведущем валу силовой передачи мобильного энергетического средства тягового класса 1,4 упруго-демпфирующего механизма на процесс буксования его движителей при выполнении различных технологических операций при выращивании продукции растениеводства. Установлено, что при внедрении в силовую передачу мобильного энергетического средства тягового класса 1,4 упругодемпфирующего механизма тяговое сопротивление, возникающее при взаимодействии рабочих органов сельскохозяйственных машин с почвой, становится ниже почти на 11 %. Доказано, что установка в силовую передачу мобильного энергетического средства тягового класса 1,4 упругодемпфирующего механизма способствует при выполнении различных сельскохозяйственных технологических операций снижению буксования движителей от 7,55 до 23,01%, что обеспечивает рост производительности от 5,71 до 8,3 % при уменьшении удельного расхода топлива свыше 9 %

Ключевые слова: МОБИЛЬНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО, МАШИНО-ТРАКТОРНЫЙ АГРЕГАТ, УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИЙ МЕХАНИЗМ, БУКСОВАНИЕ ДВИЖИТЕЛЕЙ

mobile power vehicles of traction class 1.4 as part of machine-tractor units. The results of studies of the influence of the installation of an elastic damping mechanism on the drive shaft of a mobile power transmission of a traction class 1.4 on the process of slipping its propellers when performing various technological operations when growing plant products are presented. It is established that when a mobile power means of traction class 1.4 elastic damping mechanism is introduced into the power transmission, the traction resistance arising from the interaction of the working bodies of agricultural machines with the soil is reduced by almost 11%. It is proved that the installation of an elastic damping mechanism in the power transmission of a mobile power means of traction class 1.4 contributes to a decrease in the slipping of propellants from 7.55 to 23.01% when performing various agricultural technological operations, which ensures an increase in productivity from 5.71 to 8.3% with a decrease in the fuel consumption of over 9%

Keywords: MOBILE POWER MEANS, MACHINE-TRACTOR UNIT, ELASTIC DAMPING MECHANISM, SLIPPING OF PROPELLERS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-178-010>

Введение. Во время выполнения технологических операций при возделывании продуктов растениеводства машинно-тракторные агрегаты (МТА) находятся под влиянием внешних сил и моментов, имеющих стохастический характер, что приводит к увеличению динамической напряжённости во всех их звеньях: силовых агрегатах, силовых передачах, конечных передачах и движителях мобильного энергетического средства, сцепном устройстве и агрегатируемых сельскохозяйственных машин [1]. Воздействия колебаний нагрузки на силовые агрегаты нарушают нормальное течение рабочего процесса в них, за счёт чего снижаются их технико-экономические показатели: частота вращения коленвала резко уменьшается, увеличивается удельный расход топлива и т. д. Переменный характер приложенных к движителям сил и моментов приводит к их повышенному буксованию. То есть динамические процессы в звеньях МТА приводят к уменьшению производительности агрегата с одновременным ростом удельного расхода топлива [2, 3, 4].

Многими исследователями с целью обеспечения защиты тракторного

<http://ej.kubagro.ru/2022/04/pdf/10.pdf>

агрегата от внешних случайных воздействий предлагается установка в силовую передачу мобильных энергетических средств различных устройств и другие мероприятия [3, 4, 5, 6, 7]. Но наличие в трансмиссии гидротрансформаторов способствует снижению тягового КПД мобильного энергетического средства со всеми вытекающими последствиями. А известные встроенные в силовую передачу различные упругие элементы, гасящие колебания от внешних сил и моментов, имеют большие габариты и обладают линейной характеристикой, что не позволяет им выполнять заданные функции при колебаниях, имеющих вероятностный характер.

Нами разработан упругодемпфирующий механизм (УДМ), имеющий нелинейную характеристику и способствующий существенному снижению уровня динамических колебательных нагрузок в составляющих звеньях при работе МТА, для установки его между силовой установкой и ведущим валом силовой передачи мобильного энергетического средства [8, 9, 10, 11].

Методы исследований. При исследовании влияния УДМ, установленного перед ведущим валом силовой передачи мобильного энергетического средства тягового класса 1,4, на уровень буксования движителей мобильных энергетических средств в составе различных сельскохозяйственных МТА, нами был принят экспериментальный метод с использованием требований ГОСТ 7057-2001, ГОСТ 24055-2016.

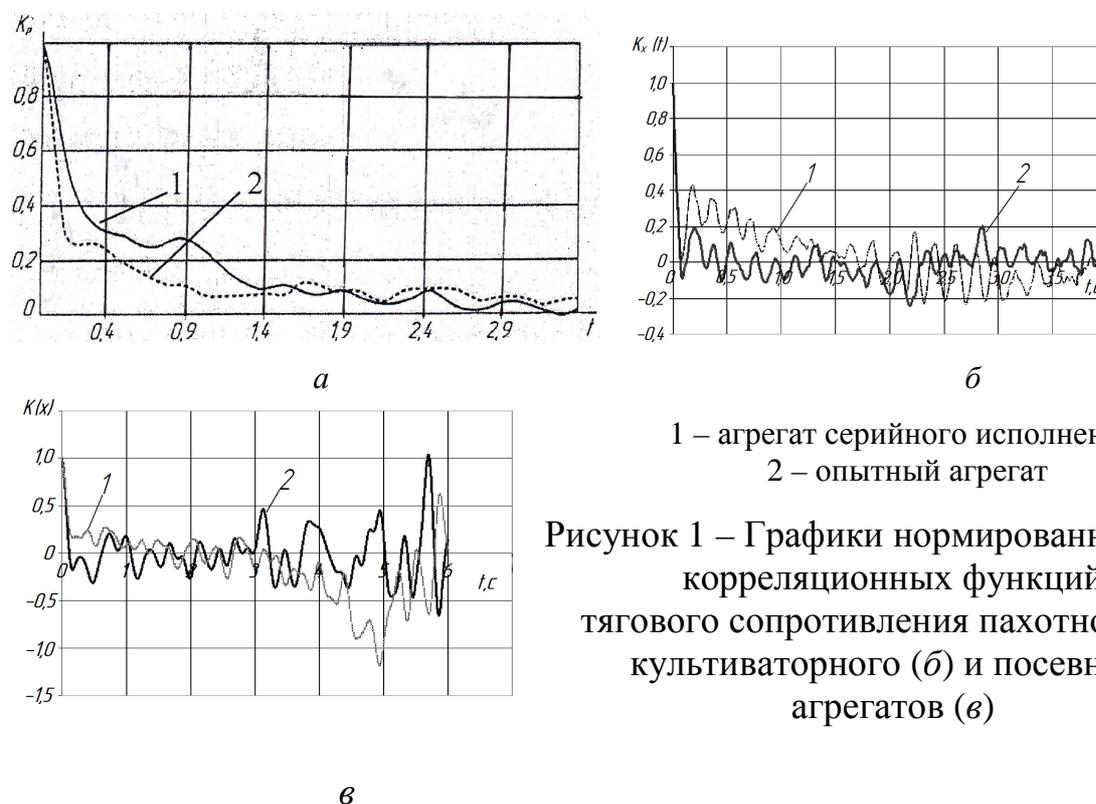
Результаты исследования. Оценка уровня динамической нагруженности в составляющих звеньях МТА при установке УДМ перед ведущим валом силовой передачи энергетического средства тягового класса 1,4, конструктивные параметры которого соответствовали оптимальным значениям [12], осуществлялась на основных технологических операциях при возделывании зерновых культур: пахоте, культивации и севе.

В результате проведённых экспериментальных исследований было установлено, что при наличии УДМ в силовой передаче энергетического средства колебания около среднего значения ведущего момента на оси движителя стабилизируются. Амплитуды и частота колебаний внешней связи (тягового усилия) у пахотного агрегата с УДМ в силовой передаче энергетиче-

ского средства, по сравнению с серийным снижается, в полевых условиях в среднем на 15...20 %, поэтому буксование двигателей энергетического средства уменьшается по сравнению с серийными агрегатами и возрастает рабочая скорость при выполнении технологической операции.

Для оценки уровня динамических процессов в звеньях выше указанных МТА от колебаний внешних связей, в работе был выполнен корреляционно-спектральный анализ процессов изменения тягового усилия, определяющего рабочими органами сельскохозяйственной машины.

На рисунке 1 приведены графики нормированных автокорреляционных функций сопротивления рабочих органов сельскохозяйственных машин, по которым можно установить, что у опытного же агрегата она снижается значительно медленнее, т.е. процесс пахоты опытного агрегата характеризуется большой плавностью. Поведение корреляционных функций показывает, что серийные МТА адаптируются гораздо медленнее к изменяющимся внешним факторам, чем агрегаты, имеющие установленные перед ведущим валом силовой передачи энергетического средства, УДМ.



1 – агрегат серийного исполнения;
 2 – опытный агрегат

Рисунок 1 – Графики нормированных автокорреляционных функций тягового сопротивления пахотного (а), культиваторного (б) и посевного агрегатов (в)

Тяговое сопротивление, возникающее при взаимодействии рабочих органов плуга с почвой и внутренних связей элементов пахотного агрегата, становится ниже почти на 11 %, что приводит к снижению нагруженности силовой установки мобильного энергетического средства и его движителей. В результате этого явления, как установили эксплуатационные испытания пахотных агрегатов, буксование движителей энергетического средства снижается, угловая скорость коленчатого вала растёт (более 4 %), а скорость опытного пахотного МТА повышается до 8,27 %, что ведёт за собой увеличению его производительности более 8,3 % при снижении расхода топлива на гектар до 9,07 %.

Существенный вклад в рост производительности опытного агрегата вносит снижение буксования движителей мобильного энергетического средства. Поэтому нами в работе в качестве одного из показателей эффективности установки в силовую передачу МТА разработанного упругодемпфирующего механизма с переменной жёсткостью нами был применён коэффициент буксования движителей энергетического средства.

Буксование движителей энергетического средства у опытного агрегата ниже, чем у серийного, что оказывает положительное влияние на показатели функционирования МТА, а также на плодородие почвы.

Статистический анализ данных натурных исследований по буксованию движителей мобильных энергетических средств тягового класса 1,4 в составе различных агрегатов показал (таблица 1), что упругодемпфирующий механизм способствует уменьшению буксования движителей энергетического средства в 1,08...1,30 раза при снижении величины дисперсии на 10,5...37,6 % и среднеквадратического отклонения – от 5,52 до 21,3 %.

Для примера рассмотрим процесс буксования движителей энергетических средств пахотных агрегатов (как наиболее динамически нагруженных).

Таблица 1 – Результаты статической обработки данных по буксованию двигателей энергетических средств в составе МТА

Статистические показатели	Пахотный агрегат		Культиваторный агрегат		Посевной агрегат	
	серийный	опытный	серийный	опытный	серийный	опытный
Матожидание, δ , %	14,97	11,52	14,96	13,65	14,31	13,23
Дисперсия, D , %	51,73	32,27	51,72	32,28	7,40	6,62
Среднее квадратическое отклонение, σ_δ , %	7,20	5,67	7,19	5,68	2,72	2,57

На рисунке 4 приведены графики, характеризующие буксование двигателей энергетических средств (серийного и экспериментального) тягового класса 1,4, входящих в пахотный агрегат.

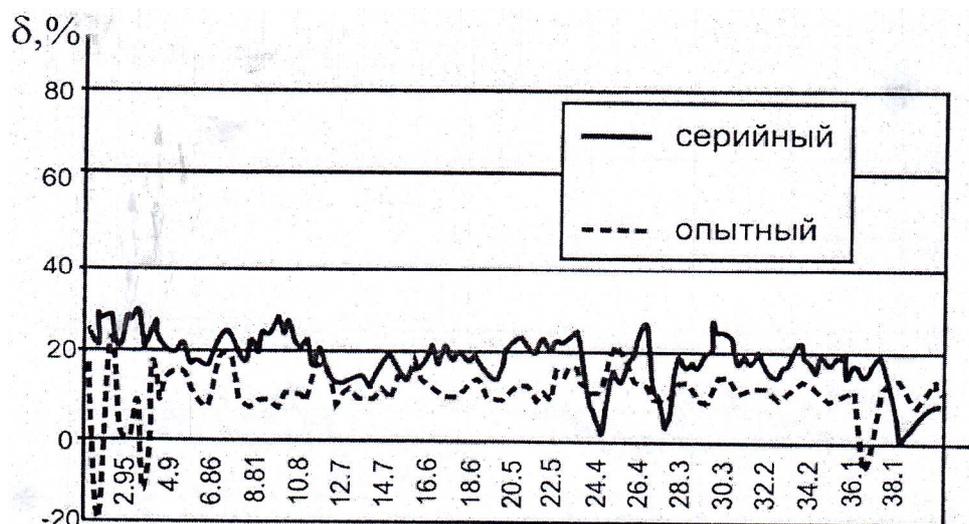


Рисунок 4 – Графики буксования двигателей энергетических средств пахотных агрегатов

При дальнейшем исследовании процесса буксования в работе для оценки установки УДМ с переменной жёсткостью в силовую передачу мобильного энергетического средства тягового класса 1,4 в составе пахотного агрегата был нами применены корреляционный и спектральный анализы.

По графику, изображённому на рисунке 5, можно установить, что продолжительность убывания нормированных автокорреляционных функций $K_\delta(t)$ опытного агрегата составляет 0,55...0,85, а с серийного – 1,7...1,9 с.

Спектральные плотности $S_\delta(\omega)$ процесса буксования (рисунок б) имеют ярко выраженные преобладающие частоты.

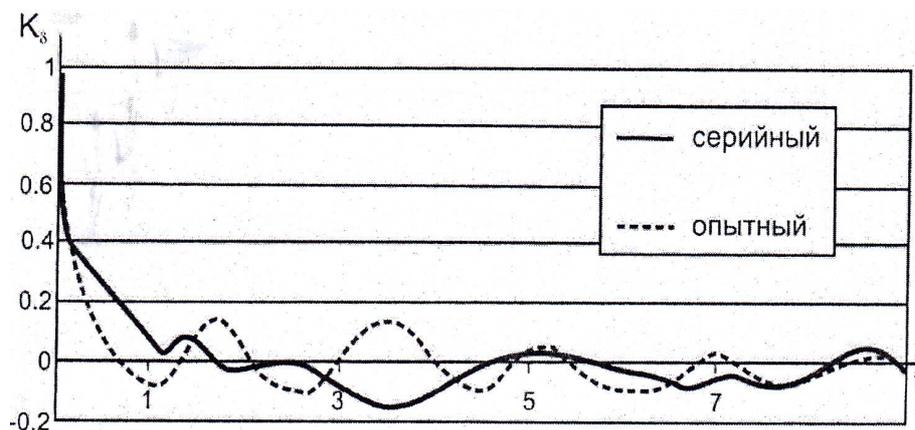


Рисунок 5 – Графики нормированных автокорреляционных функций процессов буксования движителей

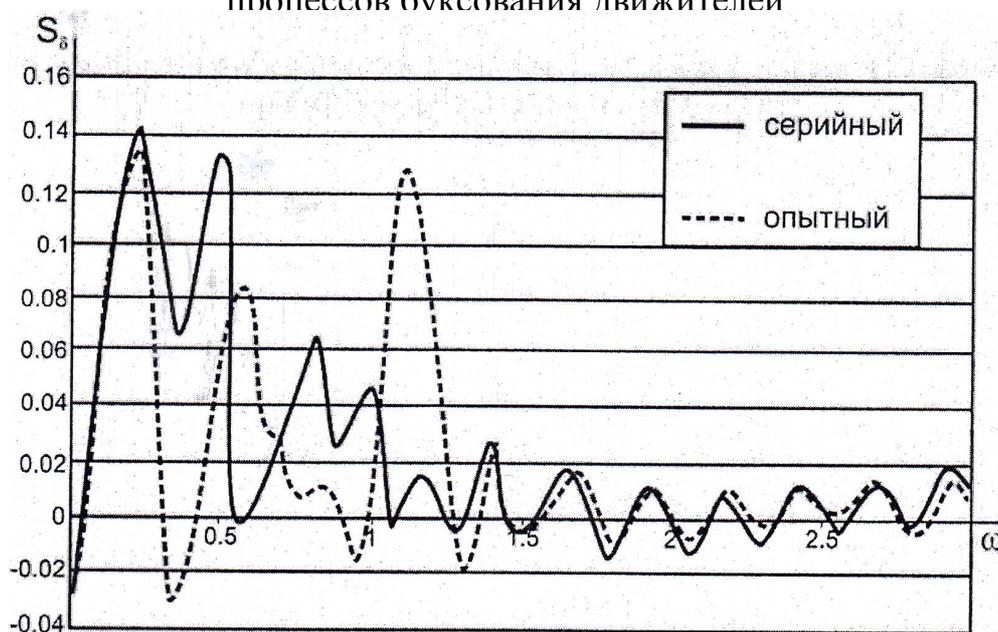


Рисунок 6 – Графики спектральных плотностей процесса буксования движителей

Преобладающие частоты $S_s(\omega)$ процесса буксования движителей у пахотных агрегатов располагаются в диапазоне от 0 до 1,4 с⁻¹. Причём, спектральные плотности в пределах частот 0...1,1 с⁻¹ для обоих пахотных агрегатов идентичны, что указывает на схожесть процессов буксования движителей серийного и опытного агрегатов в начале их трогания и разгона. Для серийного МТА спектральная плотность имеет четыре характерных преобладающих максимума при частотах, равных 0,3 с⁻¹, 0,5 с⁻¹, 0,8 с⁻¹ и 1 с⁻¹, в тоже время для МТА с упругодемпфирующим механизмом в силовой передаче энер-

гетического средства их три – $0,3 \text{ с}^{-1}$, $0,55 \text{ с}^{-1}$ и $1,2 \text{ с}^{-1}$. Максимум графика спектральной плотности, который наблюдается в области высоких частот процесса буксования ведущих колёс опытного МТА, связан, очевидно, с изменением передаточного числа планетарного редуктора упругодемпфирующего механизма.

Значения нормированной спектральной плотности во всём диапазоне исследований обычно положительны. Наличие же в нашем случае на её графическом изображении (рисунок б) участков со значениями ниже нуля объясняется различными помехами, неизбежно появляющихся в показаниях датчиков и регистрирующей аппаратуры во время выполнения необходимых для выращивания продукции растениеводства технологических операций.

Установка, разработанного нами УДМ перед ведущим валом силовой передачи энергетического средства, агрегирующего орудия для основной обработки почвы (плуг), обеспечивает для работы всех звеньев пахотного МТА наиболее благоприятные условия, что приводит, как показали дальнейшие эксплуатационные испытания, к повышению его производительности не менее, чем на восемь процентов при уменьшении удельного расхода топлива более девяти процентов.

Аналогичные результаты получены и для культиваторного и посевного агрегатов на базе колёсного мобильного энергетического средства тягового класса 1,4.

Выводы:

- неустановившийся характер внешних факторов способствует увеличению динамической нагруженности во всех звеньях, составляющих МТА;
- достижение потенциальных показателей МТА возможно при установке различных упругодемпфирующих механизмов в силовую передачу мобильных энергетических средств;
- установка в силовую передачу мобильного энергетического средства тягового класса 1,4 предлагаемого упругодемпфирующего механизма с оп-

тимальными параметрами способствует при выполнении сельскохозяйственных технологических операций созданию для работы всех звеньев различных МТА наиболее благоприятных условий, поэтому частота вращения коленвала силового агрегата повышается до 4 %, а буксование двигателей снижается от 7,55 до 23,01%, что обеспечивает рост производительности от 5,71 до 8,3 % при уменьшении удельного расхода топлива не менее 9 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутьков, Г.М. Теория трактора и автомобиля / Г.М. Кутьков. – Москва: Колос, 1996. – 287 с.
2. Кравченко, В.А. Математическое моделирование тяговой нагрузки МТА / В.А. Кравченко, В.В. Дурягина, И.Э. Гамолина. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 101. – С. 424...437.
3. Анохин, В.И. Применение гидротрансформаторов на скоростных сельскохозяйственных тракторах / В.И. Анохин. – Москва: Машиностроение, 1977. – 303 с.
4. Совершенствование пневматических шин мобильной техники / В.Г. Яровой, В.А. Кравченко, А.Ф. Шкарлет, В.А. Оберемок, С.Г. Пархоменко, А.В. Яровой, И.М. Меликов // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2001. – № 7. – С. 27...30.
5. Кузнецов, Н.Г. Стабилизация режимов работы скоростных машинно-тракторных агрегатов: монография / Н.Г. Кузнецов. – Волгоград: Волгоградская ГСХА, 2006. – 424 с.
6. Поливаев, О.И. Повышение эксплуатационных свойств мобильных энергетических средств за счет совершенствования приводов ведущих колес: монография / О.И. Поливаев, О.М. Костиков. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, 2013. – 210с.
7. Кравченко, В.А. Результаты испытаний машинно-тракторного агрегата на базе трактора класса 1,4 с переменной вращающейся массой двигателя / В.А. Кравченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2014. – № 99. – С. 356...371.
8. Котляров, В.В. Гидростатическая передача в трансмиссии трактора // В.В. Котляров, Ю.С. Толстоухов, В.А. Кравченко // В сборнике: Вопросы исследования гидроприводов и тепловых процессов в сельскохозяйственном производстве. Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР; Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения (РИСХМ). – Ростов-на-Дону, 1977. – С. 28...37.
9. Кравченко, В.А. Исследование эффективности упругого элемента в трансмиссии трактора класса 5 / Кравченко В.А. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2004. – № 2. – С. 95...97.
10. Кравченко, В.А. Упругодемпфирующий механизм в трансмиссии трактора / В.А. Кравченко, Д.А. Гончаров, В.В. Дурягина // Сельский механизатор. – 2008. – № 11. – С. 40...41.
11. Патент на изобретение RU 2398147. Устройство для снижения жёсткости трансмиссии машинно-тракторного агрегата / Кравченко В.А., Сенькевич С.Е., Сенькевич А.А.,

Гончаров Д.А., Дурягина В.В. (Россия). – Заявл. 31.12.2008 // Изобретения. Полезные модели. – 2010.

12. Optimization of the Parameters of the Elastic Damping Mechanism in Class 1,4 Tractor Transmission for Work in the Main Agricultural Operations. / S. Senkevich, V. Kravchenko, V. Duriagina, A. Senkevich, E. Vasilev // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2018. – Vol. 866. – P. 168-177. DOI: 10.1007/978-3-030-00979-3_17.

References

7. Kut'kov, G.M. *Teoriya traktora i avtomobilja* / G.M. Kut'kov. – Moskva: Kolos, 1996. – 287 s.

2. Kravchenko, V.A. *Matematicheskoye modelirovaniye tyagovoy nagruzki MTA* / V.A. Kravchenko, V.V. Duryagina, I.E. Gaiolina // *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta (Nauchnyy zhurnal Kub-GAU) [Elektronnyy resurs]*. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – № 101. – p.p. 424-437.

3. Anoxin, V.I. *Primenenie gidrotransformatorov na skorostny`x sel'skoxozyajstvenny`x traktorax* / V.I. Anoxin. – Moskva: Mashinostroenie, 1977. – 303 s.

4. *Sovershenstvovanie pnevmaticheskix shin mobil`noj texniki* / V.G. Yarovoj, V.A. Kravchenko, A.F. Shkarlet, V.A. Oberemok, S.G. Parxomenko, A.V. Yarovoj, I.M. Melikov // *Traktory` i sel'skoxozyajstvenny`e mashiny`*, 2001. – № 7. – S. 27...30.

5. Kuznezov, N.G. *Stabilizaciya rezhimov raboty` skorostny`x mashinno-traktorny`x agregatov: monografiya* / N.G. Kuznezov. – Volgograd: Volgogradskaya GSXA, 2006. – 424 s.

6. Polivaev, O.I. *Povy`shenie e`kspluatacionny`x svojstv mobil`ny`x e`nergeticheskih sredstv za schet sovershenstvovaniya privodov vedushix koles: monografiya* / O.I. Polivaev, O.M. Kostikov. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni imperatora Petra I, 2013. – 210s.

7. Kravchenko, V.A. *Rezul`taty` ispy`tanj mashinno-traktornogo agregata na baze traktora klassa 1,4 s peremennoj vrashhayushhejsya massoj dvigatelya* / V.A. Kravchenko // *Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014. – № 99. – S. 356...371.

8. Kotlyarov, V.V. *Gidrostaticheskaya peredacha v transmissii traktora* // V.V. Kotlyarov, Yu.S. Tolstoukhov, V.A. Kravchenko // *V sbornike: Voprosy` issledovaniya gidroprivodov i teplovy`x processov v sel'skoxozyajstvennom proizvodstve. Ministerstvo vy`sshego i srednego special'nogo obrazovaniya RSFSR; Rostovskij-na-Donu institut sel'skoxozyajstvennogo mashinostroeniya (RISXM)*. – Rostov-na-Donu, 1977. – S. 28...37.

9. Kravchenko, V.A. *Issledovanie e`ffektivnosti uprugogo e`lementa v transmissii traktora klassa 5* / Kravchenko V.A. // *Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Texnicheskie nauki*, 2004. – № 2. – S. 95...97.

10. Kravchenko, V.A. *Uprugodempfiruyushhij mexanizm v transmissii traktora* / V.A. Kravchenko, D.A. Goncharov, V.V. Duryagina // *Sel'skij mexanizator*. – 2008. – № 11. – S. 40...41.

11. *Patent na izobretenie RU 2398147. Ustrojstvo dlya snizheniya zhestkosti transmissii mashinno-traktornogo agregata* / Kravchenko V.A., Sen`kevich S.E., Sen`kevich A.A., Goncharov D.A., Duryagina V.V. (Rossiya). – Zayavl. 31.12.2008 // *Izobreteniya. Polezny`e modeli*. – 2010.

12. Optimization of the Parameters of the Elastic Damping Mechanism in Class 1,4 Tractor Transmission for Work in the Main Agricultural Operations. / S. Senkevich, V. Kravchenko, V. Duriagina, A. Senkevich, E. Vasilev // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2018. – Vol. 866. – P. 168-177. DOI: 10.1007/978-3-030-00979-3_17.