

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 ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗВЕНЬЯХ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА**

Кравченко Владимир Алексеевич  
доктор технических наук, профессор  
РИНЦ SPIN-код = 9983-4293  
E-mail: [a3v2017@yandex.ru](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:vepanuka@mail.ru)  
*Инженерно-технологическая академия ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог Ростовской области, пер. Некрасовский, 44, Россия*

Научное обоснование снижения уровня динамических процессов в звеньях, составляющих машинно-тракторный агрегат, установкой в силовую передачу мобильного энергетического средства упругодемпфирующего механизма с переменной жёсткостью. Анализ научно-исследовательских работ указывает на снижение уровня динамических процессов в составляющих машинно-тракторный агрегат звеньях

UDC 631.372

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

**THE INFLUENCE OF ELASTIC DAMPING MECHANISM (EDM) 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](mailto: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](mailto: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](mailto:sergej_senkevich@mail.ru)  
*FGBNU "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Moscow, 1st Institutsky proezd, 5, Russia*

Zhurba Viktor Viktorovich  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
RSCI SPIN-code = 1453-5517  
e-mail: [vic.zhurba@yandex.ru](mailto: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](mailto:vepanuka@mail.ru)  
*Engineering and Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Rostov region, per.Nekrasovsky, 44, Russia*

The purpose of the work: scientific justification of reducing the level of dynamic processes in the links that make up the machine-tractor unit by installing an elastic damping mechanism with variable stiffness in the power transmission of a mobile energy means. The analysis of research works indicates a decrease in the level of dynamic processes in the components of the machine-tractor unit with an increase in the

при увеличении податливости и демпфирующих свойств силовых передач их энергетических средств. Предложено для обеспечения снижения уровня динамических процессов в звеньях машинно-тракторных агрегатов устанавливать в силовую передачу их энергетического средства упругодемпфирующий механизм с переменной жёсткостью. Приведены результаты исследований динамических процессов в звеньях опытных машинно-тракторных агрегатов, агрегируемых мобильным энергетическим средством тягового класса 1,4 с предложенным упругодемпфирующим механизмом. Доказано, что установка в силовую передачу мобильного энергетического средства тягового класса 1,4 упругодемпфирующего механизма способствует при выполнении сельскохозяйственных технологических операций созданию для работы всех звеньев пахотного машинно-тракторных агрегатов наиболее благоприятных условий и снижению уровня динамических процессов в них. Внедрение упругодемпфирующего механизма с переменной жёсткостью в силовую передачу мобильного энергетического средства класса тяги 1,4 способствует повышению производительности, более чем на 8 % при снижении удельного расхода дизельного топлива более 9 %

Ключевые слова: МОБИЛЬНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО, МАШИНО-ТРАКТОРНЫЙ АГРЕГАТ, УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИЙ МЕХАНИЗМ, ПРОЗРАЧНОСТЬ СИЛОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

malleability and damping properties of power transmissions of their energy means. It is proposed to install an elastic damping mechanism with variable stiffness in the power transmission of their energy means to ensure a reduction in the level of dynamic processes in the links of machine-tractor units. The results of studies of dynamic processes in the links of experimental machine-tractor units aggregated by a mobile power means of traction class 1.4 with the proposed elastic damping mechanism are presented. 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 the creation of the most favorable conditions for the operation of all parts of the arable machine and tractor units and a decrease in the level of dynamic processes in them when performing agricultural technological operations. The introduction of an elastic damping mechanism with variable stiffness into the power transmission of a mobile power vehicle of traction class 1.4 contributes to an increase in productivity by more than 8% while reducing the specific consumption of diesel fuel by more than 9%

Keywords: MOBILE POWER MEANS, MACHINE-TRACTOR UNIT, ELASTIC DAMPING MECHANISM, TRANSPARENCY OF POWER TRANSMISSION

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-177-010>

**Введение.** Эффективное развитие агропромышленного комплекса зависит от наличия в сельскохозяйственных предприятиях достаточного количества высокопроизводительной техники, в том числе мобильных энергетических средств, способных выполнять технологические операции на повышенных скоростях [1]. Однако на работу современных мобильных энергетических средств при агрегатировании сельскохозяйственных машин и орудий негативное влияние оказывают колебания внешних сил и моментов, имеющих стохастический характер и определяющих уровень динамических процессов во всех элементах машинно-тракторных агрегатов (МТА) [2, 3]. А это значительно снижает потенциальные эксплуатационные показатели их силовых установок, что приводит к уменьшению производительности агрегата с одновременным ростом удельного расхода топлива [3, 4, 5].

<http://ej.kubagro.ru/2022/03/pdf/10.pdf>

Многими исследователями с целью обеспечения защиты МТА от внешних случайных воздействий предлагается установка в силовую передачу мобильных энергетических средств различных устройств и другие мероприятия [2, 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 динамических процессов в структурных элементах МТА различных сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов, нами был принят экспериментальный метод с использованием требований ГОСТ 7057-2001, ГОСТ 24055-2016.

**Результаты исследования.** Оценка уровня динамических процессов 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. Анализ результатов проведённых экспериментов показал, что максимальная погрешность крутящего момента, измеренного на оси двигателя, была менее 4,00 %, а остальных по-

казателей – менее 1,35 %. То есть, точность измерений различных параметров МТА при выполнении им технологической операции вполне удовлетворительная.

Данные натурного эксперимента показали, что предлагаемый упруго-демпфирующий механизм обеспечивает значительную защиту силовой установки опытного агрегата от колебаний внешних связей.

Анализ осциллограмм показывает очевидное улучшение показателей, характеризующих процесс работы сельскохозяйственного МТА с УДМ в силовой передаче мобильного энергетического средства (для примера на рисунке 1 приведён образец осциллограммы процесса изменения угловой частоты коленвала силовой установки пахотного МТА).

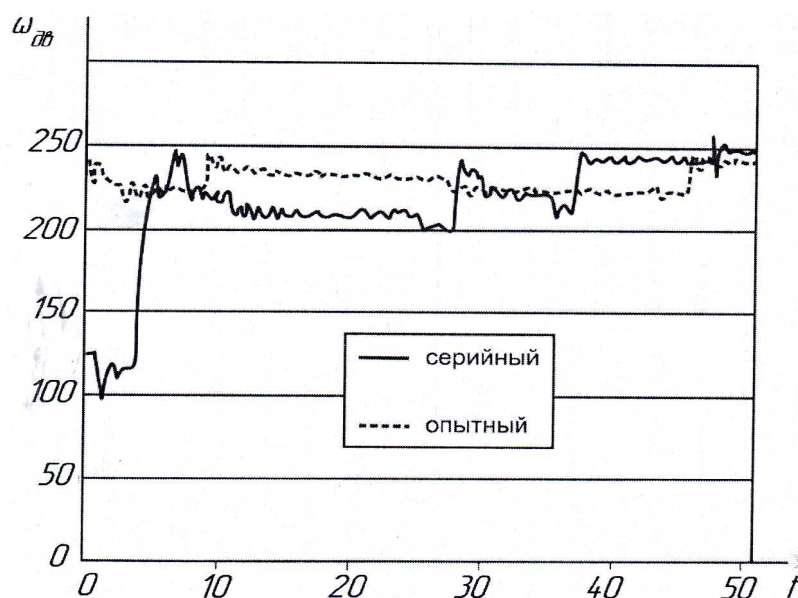


Рисунок 1 – Образец осциллограммы процесса изменения угловой частоты коленвала силовой установки

В результате проведённых экспериментальных исследований было установлено, что при наличии УДМ в силовой передаче энергетического средства амплитуда колебаний около среднего значения ведущего момента на оси двигателя стабилизируется. Частота колебаний внешней связи (тягового усилия) у пахотного агрегата с УДМ в силовой передаче энергетического средства по сравнению с серийным снижается в полевых условиях в сред-

нем на 15...20 %. В связи с тем, что УДМ обеспечивает защиту силовой установки энергетического средства от колебаний внешних сил и моментов, процессы изменения которых становятся более стабильными, частота вращения его коленвала становится выше, а буксование двигателей ниже, чем у серийного МТА, возрастает рабочая скорость при выполнении технологической операции.

Для оценки защищённости структурных звеньев выше указанных МТА от колебаний внешних связей, в работе был выполнен корреляционно-спектральный анализ процессов изменения частоты вращения коленвала силовой установки и её крутящего момента, а также ведущего момента, подводимого к оси двигателя, и тягового усилия, определяющего рабочими органами сельскохозяйственной машины.

На рисунке 2 *а*, для примера, приведён график нормированной автокорреляционной функции сопротивления рабочих органов плуга, по которому можно установить, что её снижение для серийного агрегата происходит в течение трёх секунд. Для опытного же агрегата она снижается значительно медленнее, и по всей длине реализации не достигает нуля, т.е. процесс пахоты опытного агрегата характеризуется большой плавностью.

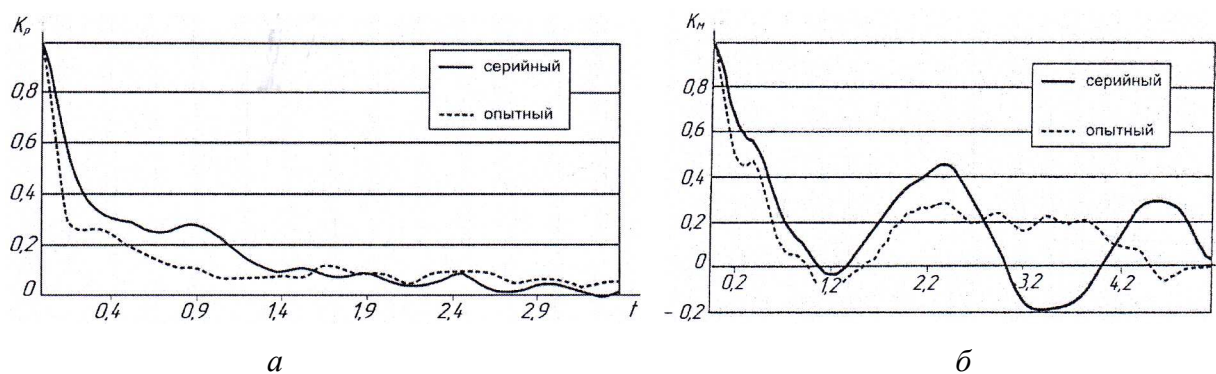


Рисунок 2 – Графики нормированных автокорреляционных функций тягового сопротивления плуга (*а*) и ведущего момента на оси двигателя (*б*)

Продолжительность снижения нормированной автокорреляционной функция ведущего момента на оси двигателя у экспериментального пахотного агрегата (рисунок 2 *б*) составляет 0,8 с, а у серийного – 1 с.

По графикам спектральных плотностей сопротивления рабочих органов плуга (рисунок 3 а) можно установить, что для агрегата серийного исполнения наблюдается одна, имеющая максимальное значение, частота ( $0,1 \text{ с}^{-1}$ ), у агрегатов с УДМ же имеется две преобладающие частоты ( $0,1 \text{ с}^{-1}$  и  $2 \text{ с}^{-1}$ ). В интервале от 0 до  $1 \text{ с}^{-1}$  протекание спектральных плотностей для обоих агрегатов сходно.

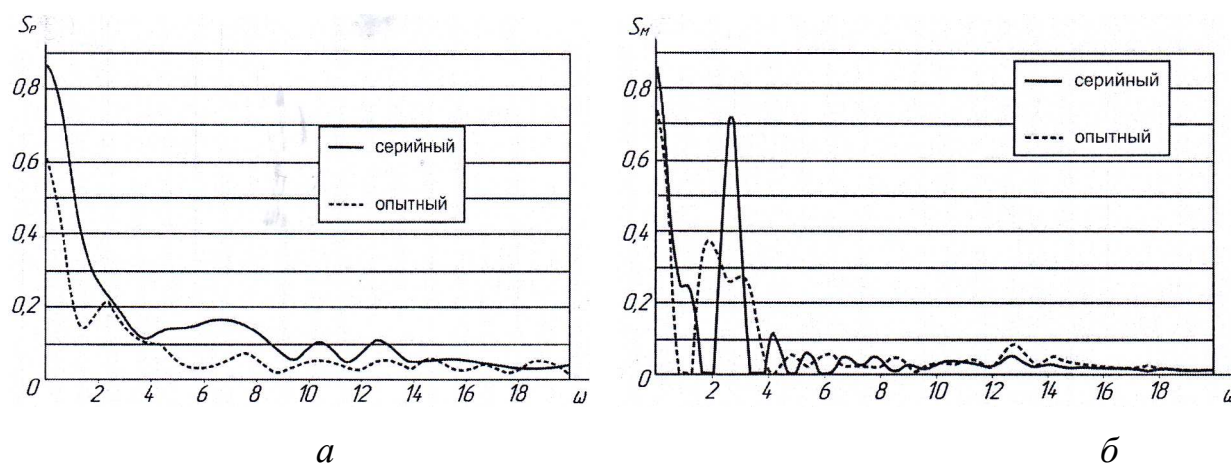


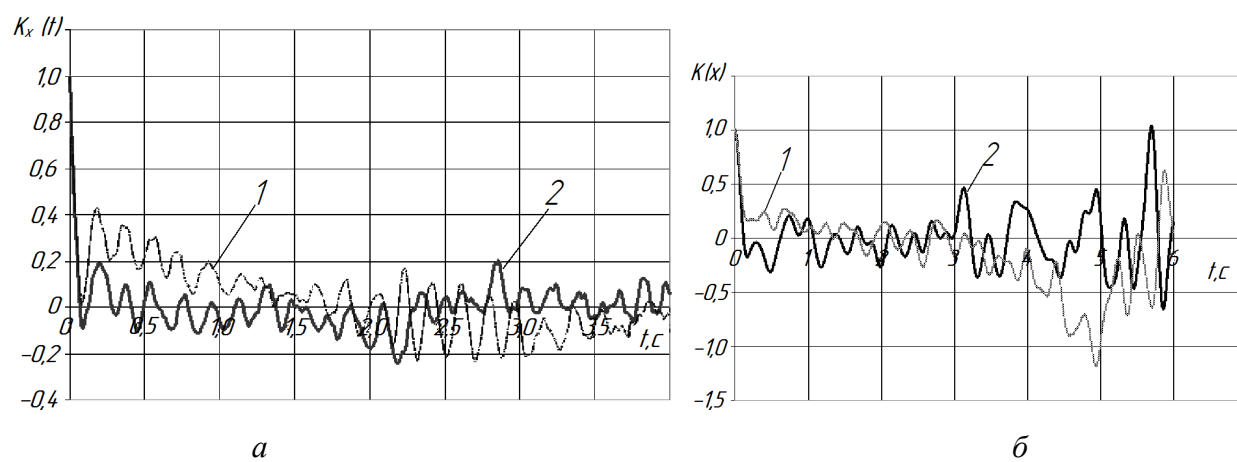
Рисунок 3 – Графики спектральных плотностей тягового усилия (а) и ведущего момента, подводимого к оси движителя (б)

Анализ спектральных плотностей ведущего момента, подводимого к оси движителя (рисунок 3 б), показывает, что экспериментальный пахотный МТА характеризуется наличием преобладающих частот его колебаний  $0,1 \text{ с}^{-1}$  и  $2 \text{ с}^{-1}$ , серийный же –  $0,1 \text{ с}^{-1}$  и  $3 \text{ с}^{-1}$ . В интервале частот колебаний ведущего момента, подводимого к оси движителя, от 0 до  $1 \text{ с}^{-1}$  для обоих вариантов МТА просматривается практически одинаковый характер изменения спектральных плотностей. Оба сравниваемые при исследованиях пахотных агрегата имеют примерно одинаковую частоту среза, равную  $\omega_c = 4 \text{ с}^{-1}$ .

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 уровня динамических процессов в элементах силовой установки, силовой передаче и сцепном устройстве.

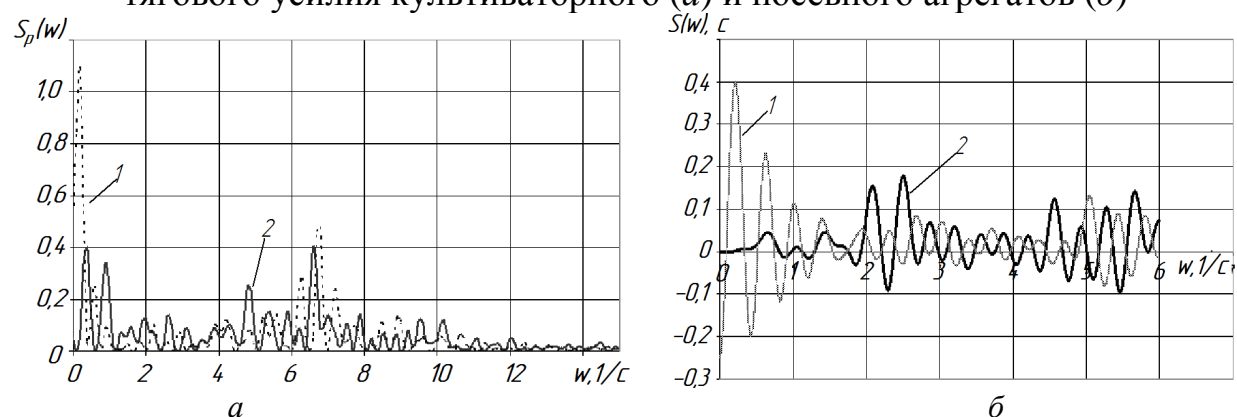
Аналогичные результаты получены и для других сельскохозяйственных агрегатов.

Поведение корреляционных функций (рисунок 4), полученных в результате сравнительных испытаний различных МТА серийного и опытного исполнения, показывает, что они быстро убывают в течение времени, причём продолжительность спада определяет скорость реакции агрегата на изменения различных внешних факторов, воздействующих на агрегат. Эти функции показывают, что серийные МТА адаптируются гораздо медленнее к изменяющимся внешним факторам, чем агрегаты, имеющие установленные перед ведущим валом силовой передачи энергетического средства, упругодемпфирующий механизм.



1 – серийный агрегат; 2 – агрегат с УДМ в силовой передаче

Рисунок 4 – Графики нормированных автокорреляционных функций тягового усилия культиваторного (а) и посевного агрегатов (б)



1 – серийный агрегат; 2 – агрегат с УДМ;

Рисунок 5 – Графики спектральных плотностей тягового усилия культиваторного (а) и посевного агрегатов (б)

Анализ результатов проведённых экспериментальных исследований

также показывает, что опытные агрегаты, по сравнению с серийными, имеют значения величин спектральных плотностей крутящего момента (рисунок 5), развиваемого силовой установкой, тягового сопротивления, создаваемого органами агрегатируемых сельскохозяйственных машин, меньшие, причём частоты, имеющих большие значения, у них смещаются в низкую область. А это говорит о снижении уровня динамической напряжённости во всех звеньях экспериментальных агрегатов.

То есть, внедрение упругодемпфирующего механизма с переменной жёсткостью в силовую передачу мобильного энергетического средства класса тяги 1,4 способствует созданию для работы всех звеньев пахотного машинно-тракторного агрегата наиболее благоприятных условий, что приводит к улучшению его энергетических показателей, в частности (как показали проведённые эксплуатационные испытания) повышению производительности, более чем на 8 % при снижении удельного расхода дизельного топлива более 9 %.

#### **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 оптимальными параметрами способствует при выполнении сельскохозяйственных технологических операций созданию для работы всех звеньев машинно-тракторного агрегата наиболее благоприятных условий и снижению уровня динамических процессах в составляющих звеньях МТА.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Фомин, А. О состоянии и перспективах машинно-тракторного парка сельхозпредприятий России / А. Фомин. // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2015. – № 3. – С. 56...60.
2. 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.
3. 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.
4. Анохин, В.И. Применение гидротрансформаторов на скоростных сельскохозяйственных тракторах / В.И. Анохин. – Москва: Машиностроение, 1977. – 303 с.
5. 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.
6. Кузнецов, Н.Г. Стабилизация режимов работы скоростных машинно-тракторных агрегатов: монография / Н.Г. Кузнецов. – Волгоград: Волгоградская ГСХА, 2006. – 424 с.
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

1. Fomin, A. O sostojanii i perspektivah mashinno-traktornogo parka sel'hozpredpriyatij Rossii (Status and prospects of the machinery-tractor park developing in agricultural enterprises of Russia) / A. Fomin. // Mezhdunarodnyj sel'skohozjajstvennyj zhurnal, 2015, No 3, pp. 56...60.
2. Polivaev, O.I. Povyshenie e'kspluatacionny`x svojstv mobil'ny`x e`nergeticheskih sredstv za schet sovershenstvovaniya privodov vedushhix kolos: monografiya / O.I. Polivaev,

O.M. Kostikov. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I, 2013. – 210 s.

3. 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.

4. Anoxin, V.I. Primenenie gidrotransformatorov na skorostnyx sel'skoxozyajstvennyx traktorax / V.I. Anoxin. – Moskva: Mashinostroenie, 1977. – 303 s.

5. 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.

6. Kuznecov, N.G. Stabilizaciya rezhimov raboty skorostnyx mashinno-traktornyx agregatov: monografiya / N.G. Kuznecov. – Volgograd: Volgogradskaya GSXA, 2006. – 424 s.

7. Kravchenko, V.A. Rezul'taty ispy'tanij mashinno-traktornogo agregata na baze traktora klassa 1,4 s peremennoj vrashhayushhejsya massoj dvigatelya / V.A. Kravchenko // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2014. – № 99. – S. 356...371.

8. Kotlyarov, V.V. Gidrostaticheskaya peredacha v transmissii traktora // V.V. Kotlyarov, Yu.S. Tolstousov, V.A. Kravchenko // V sbornike: Voprosy issledovaniya gidroprivodov i teplovyx processov v sel'skoxozyajstvennom proizvodstve. Ministerstvo vysshego 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 effektivnosti uprugogo elementa v transmissii traktora klassa 5 / Kravchenko V.A. // Izvestiya vysshix uchebnyx 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 // Izobreniya. 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. Duryagina, 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.