

# АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАКТОРА, ОСНАЩЕННОГО УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИМ МЕХАНИЗМОМ В ТРАНСМИССИИ, ПРИ ДВИЖЕНИИ В СОСТАВЕ ТРАНСПОРТНОГО ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

## ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE TRACTOR EQUIPPED WITH AN ELASTIC- DAMPING MECHANISM IN THE TRANSMISSION WHEN MOVING IN THE COMPOSITION OF THE TRANSPORT TRACTOR UNIT

**С.Е. СЕНЬКЕВИЧ, К.Т.Н.  
Н.С. КРЮКОВСКАЯ**

Федеральное государственное бюджетное научное  
учреждение «Федеральный научный агроинженерный  
центр ВИМ», Москва, Россия, [umo.viesh@list.ru](mailto:umo.viesh@list.ru)

**S.E. SENKEVICH, PhD in Engineering,  
N.S. KRYUKOVSKAYA**

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific  
Agroengineering Center VIM», Moscow, Russia, [umo.viesh@list.ru](mailto:umo.viesh@list.ru)

Транспортировка грузов является неотъемлемой и энергозатратной частью сельскохозяйственного производства. Для улучшения энергетических показателей транспортных тракторных агрегатов (ТТА) разработан упругодемпфирующий механизм (УДМ), устанавливаемый в трансмиссию трактора ближе к муфте сцепления. Проведено экспериментальное исследование по выявлению влияния УДМ на работу трактора в составе ТТА. Измерения проведены при движении по грунтовой дороге на 9-й передаче основного диапазона скоростей коробки перемены передач (КПП) трактора. В качестве тягача использовался трактор тягового класса 1,4. Датчики для измерения энергетических показателей были установлены на основные элементы трактора. Определены энергетические показатели работы трактора с трансмиссией, оснащенной УДМ и трактора с заводской трансмиссией. Выявлено снижение расхода топлива на 7,3 %, снижение тяговых усилий от агрегируемого прицепа на 19,9 %, уменьшение амплитуды колебаний тяговых усилий на 28,3 %, уменьшение буксования движителей в среднем на 9,7 %. Построен график, описывающий динамику изменения буксования движителей серийного трактора и трактора с УДМ в зависимости от времени. Выполнена статистическая обработка показателей буксования, которая показала снижение амплитуды колебаний коэффициента буксования на 16,3 %. Полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют, что трактор в составе ТТА с УДМ в трансмиссии имеет лучшие показатели работы по сравнению с серийным трактором и имеет меньшую нагрузку на двигатель, элементы КПП и ведущие колеса трактора.

**Ключевые слова:** упругодемпфирующий механизм, трансмиссия трактора, тяговые усилия трактора, буксование, транспортный тракторный агрегат, корреляционная функция, спектральная плотность.

**Для цитирования:** Сенькевич С.Е., Крюковская Н.С. Анализ экспериментальных исследований трактора, оснащенного упругодемпфирующим механизмом в трансмиссии, при движении в составе транспортного тракторного агрегата // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 6. С. 59–66. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-59-66.

The cargo transportation is an integral and energy-consuming part of agricultural production. To improve the energy performance of transport tractor units (TTU), an elastic-damping mechanism (EDM) installed in the tractor transmission was developed. An experimental study was conducted to identify the influence of the EDM on the operation of the tractor as part of the TTU, when it is moving on a dirt road in the 9th gear of the main speed range of the gearbox (GB) of the tractor. A tractor of traction class 1,4 was used. Energy sensors were installed on the main elements of the tractor. The energy performance of the tractor with a transmission equipped with the EDM and the tractor with a factory transmission are determined. A decrease in fuel consumption by 7,3 %, a decrease in traction forces from an aggregated trailer by 19,9 %, a decrease in the amplitude of fluctuations in traction forces by 28,3 % and a decrease in skidding of the driving units by an average of 9,7 % were revealed. A graph describing the dynamics of changes in the skidding of the driving units of a serial tractor and a tractor with the EDM in time is constructed. The statistical processing of the skidding indicators is performed. A decrease in the amplitude of fluctuations in the coefficient of skidding by 16,3 % was revealed. The obtained results of experimental studies indicate that the tractor as part of the TTU with the EDM in the transmission has better performance compared to a serial tractor and has a lower load on the engine, gearbox elements and driving wheels of the tractor.

**Keywords:** the elastic-damping mechanism, tractor transmission, tractor traction, skidding, transport tractor unit, correlation function, spectral density.

**Cite as:** S.E. Senkevich, N.S. Kryukovskaya. Analysis of experimental researches of the tractor equipped with an elastic-damping mechanism in the transmission when moving in the composition of the transport tractor unit. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2020. No 6, pp. 59–66 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-59-66.

## Введение

Процесс сельскохозяйственного производства органически связан с процессом транспортировки грузов. Транспортные средства доставляют топливо, смазочные материалы, удобрения, машины, агрегаты и их детали, стройматериалы, зерно, овощи, плоды, молоко, корма и прочее от места производства к месту потребления или использования, в том числе на полях хозяйств. В этой связи особое значение приобретает сельскохозяйственный транспорт. На транспортные операции приходится около 40–50 % всех затрат энергии в сельском хозяйстве, в том числе в животноводстве и растениеводстве.

С целью улучшения энергетических характеристик трактора в его трансмиссию устанавливается упругодемпфирующий механизм (УДМ). Основным назначением УДМ является уменьшение динамических нагрузок в трансмиссии и плавность движения трактора при его разгоне [1, 8–14].

## Цель исследований

Определить влияние упругодемпфирующего механизма, установленного в трансмиссии трактора, на работу трактора с транспортным прицепом.

## Материалы и методы

Объектом исследования является процесс функционирования упругодемпфирующего механизма [1], установленного в трансмиссии трактора тягового класса 1,4, находящегося в составе транспортного тракторного агрегата (ТТА). Предметом исследования является трактор тягового класса 1,4. Испытания проведены для трактора-макета на базе МТЗ-80 с транспортной телегой ПТС-6.

Эксплуатационные испытания трактора в составе ТТА выполнялись на дорогах учебно-опытного фермерского хозяйства и на территории учебного полигона ФГБОУ ВПО АЧГАА (г. Зерноград, Ростовская область). Опыты проводились при движении трактора в составе агрегата по грунтовой дороге на 9-й передаче основного ряда скоростей коробки перемены передач (КПП) трактора. Положение рычага управления рейкой топливного насоса высокого давления (ТНВД) соответствовало максимальной подаче топлива.

С целью выявления эффективности влияния установки УДМ на важнейшие эксплуатационные качества трактора (производительность и топливная экономичность) дорожные испытания проводились в составе ТТА с двух-

осным прицепом ПТС-6 на транспорте. Общий вид испытываемого трактора-макета в агрегате с транспортным прицепом ПТС-6 и измерительным комплексом лаборатории ТЛ-2 на базе автомобиля ГАЗ-66 приведен на рис. 1. Для получения необходимой информации о работе трактора при проведении полевых измерений на элементы трактора устанавливались датчики, схема установки которых показана на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид испытываемого трактора-макета в агрегате с транспортным прицепом ПТС-6 и измерительным комплексом лаборатории ТЛ-2 на базе автомобиля ГАЗ-66

*Fig. 1. The tested model tractor in the unit with the transport trailer PTS-6 and the measuring complex of the laboratory TL-2 based on the GAZ-66 vehicle*

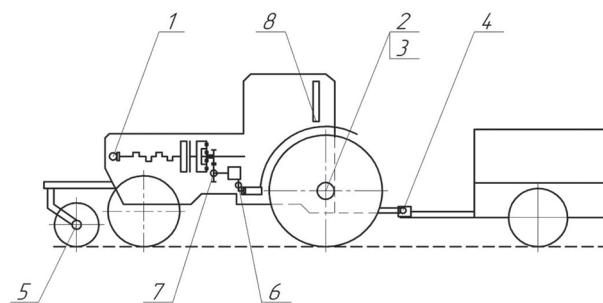


Рис. 2. Схема установки датчиков на исследуемом тракторе в составе транспортного агрегата:

- 1 – датчик оборотов коленвала двигателя;
- 2, 5 – датчики оборотов ведущего и путеизмерительного колес соответственно;
- 3 – датчик крутящего момента ведущего колеса трактора;
- 4 – тензометрический датчик тягового усилия;
- 6 – датчик давления масла;
- 7 – датчик оборотов шестерни привода масляного насоса;
- 8 – счетчик для фиксирования расхода топлива

*Fig. 2. Installation diagram of sensors on the studied tractor as part of a transport unit:*  
1 – engine crankshaft speed sensor; 2, 5 – speed sensors of the driving and track measuring wheels, respectively; 3 – torque sensor of the driving wheel of the tractor; 4 – tensometric traction force sensor; 6 – oil pressure sensor; 7 – sensor of revolutions of the oil pump drive gear; 8 – counter for recording fuel consumption

## Результаты и обсуждение

В результате экспериментальных исследований определены энергетические показатели работы трактора в составе транспортного агрегата с заводской конструкцией трансмиссии и с трансмиссией, оснащенной УДМ. Выборка проводилась для 8500 значений для варианта без УДМ и 17500 значений для варианта с УДМ. Энергетические показатели работы трактора представлены в табл. 1 [2–5].

Анализируя табл. 1, можно сделать вывод о снижении тягового сопротивления трактора с трансмиссией, оснащенной УДМ, и повышении стабильной работы трактора. Тяговое сопротивление является для машинно-тракторного агрегата внутренней силой связи между звеньями: трактором и прицепом. Величина этой силы определяется внешним воздействием дороги на колеса и взаимодействием звеньев через упругие и деформирующие связи между ними. Установка УДМ в трансмиссию трактора находящегося в составе транспортного агрегата создает более благоприятные условия для формирования характера нагрузки узлов трактора, как при неустановившихся режимах движения, так и при установившихся.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что при оснащении трансмиссии трактора УДМ его среднее тяговое усилие от агрегатируемого прицепа снижается на 19,9 %, а среднеквадратическое отклонение (амплитуда колебаний) уменьшается на 28,3 %

по сравнению с трактором с заводской трансмиссией. При этом значение коэффициента вариации не превышает 33 %, следовательно совокупность считается однородной и сильно вариабельной. В относительном выражении коэффициент вариации позволяет обеспечить сопоставимость полученных результатов [2, 3, 6, 15–20].

Показатели энергетической оценки свидетельствуют о том, что трактор в составе ТТА с УДМ в трансмиссии имеет лучшие показатели, чем аналогичный трактор с более жесткой трансмиссией. Следствием этого является снижение нагрузки на двигатель, элементы КПП и ведущие колеса трактора. Этим объясняется возрастание угловой скорости коленчатого вала и поступательной скорости движения трактора по сравнению с серийным вариантом, у которого большая жесткость силовой передачи.

Для более подробного анализа буксования движителей был проведен анализ изменения буксования во времени (рис. 3). Статистическая обработка полученных данных по буксованию движителей представлена в табл. 2 [2, 3, 7, 17–20].

Статистический анализ числовых данных по буксованию, полученных экспериментальным путем, показал, что применение УДМ позволяет снизить математическое ожидание коэффициента буксования на 9,7 % и амплитуду его колебаний (среднее квадратическое отклонение) на 16,3 % по сравнению с серийным трактором.

Таблица 1

### Энергетические показатели работы трактора в составе транспортного агрегата

Table 1. Energy performance of the tractor as part of the transport unit

Наименование параметров	Трактор без УДМ	Трактор с УДМ	Изменение, %
Среднее тяговое усилие, создаваемое прицепом $P_{кр}$ , Н:	4585,5	3671,5	19,90
– дисперсия $D$ , Н <sup>2</sup>	1800220,8	924799,9	48,60
– среднее квадратическое отклонение $\delta$ , Н	1341,7	961,7	28,30
– коэффициент вариации $\nu$	0,293	0,262	10,50
Скорость движения агрегата $V$ , м/с (км/ч)	3,24 (11,7)	3,27 (11,8)	0,93
Часовой расход топлива $G$ , кг/ч	19,58	18,15	7,30
Частота вращения коленчатого вала $n_{кв}$ , рад/с:	209,239	217,991	4,18
– дисперсия $D$ , рад/с <sup>2</sup>	74,650	31,141	58,28
– среднее квадратическое отклонение $\delta$ , рад/с	8,640	5,581	35,41
– коэффициент вариации $\nu$	0,0413	0,0266	35,60
Буксование движителей $\delta$ , %	10,3	9,3	9,70

Таблица 2

Статистические показатели по буксованию для трактора в составе ТТА

Table 2. Statistical indicators of tractor as part of TTU slipping

Показатели	Трактор без УДМ	Трактор с УДМ	Изменение, %
Математическое ожидание $M_{\delta}$	0,10300	0,09300	9,7
Дисперсия $D$	0,00291	0,00204	29,9
Среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\delta}$	0,05392	0,04515	16,3
Коэффициент вариации $v$	0,52376	0,48325	7,7

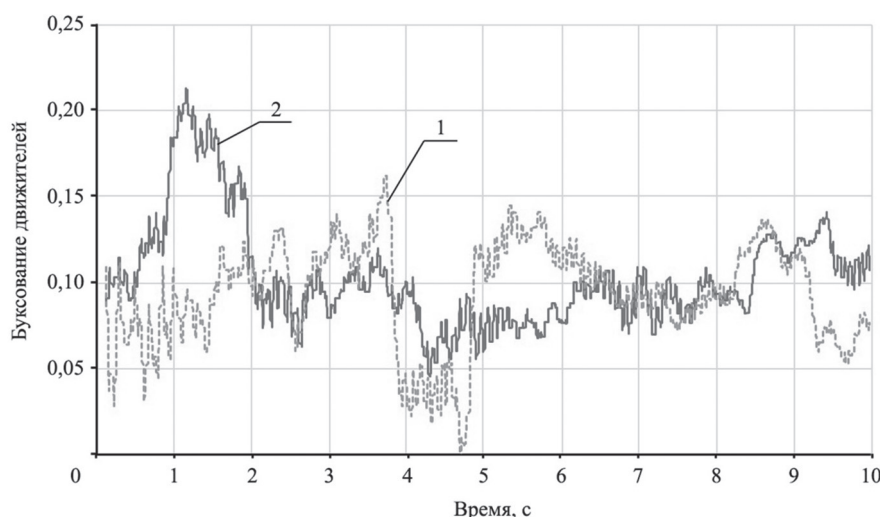


Рис. 3. Динамика изменения буксования трактора в составе ТТА:

1 – серийный трактор; 2 – трактор с УДМ

Fig. 3. The dynamics of changes in the slipping of a tractor as part of TTU:

1 – serial tractor; 2 – tractor with the EDM

Исследование трактора в составе транспортного агрегата можно рассматривать с точки зрения определения статистических характеристик возмущающих воздействий. Применим параметрические и непараметрические методы спектрального анализа. Характеристикой, по которой судят о спектральном составе исследуемого процесса, являются корреляционная функция и функция спектральной плотности [19, 20]. Статистические характеристики случайных процессов вычисляются, как правило, по одной реализации процесса достаточной длительности по времени. Согласно исследованиям И.Б. Барского [21], проведенным по изучению неровностей дороги, дисперсия случайной величины математического ожидания постоянна и равна коэффициенту вариации функции.

Корреляционная функция изменения буксования трактора в составе транспортного агрегата представлена на рис. 4.

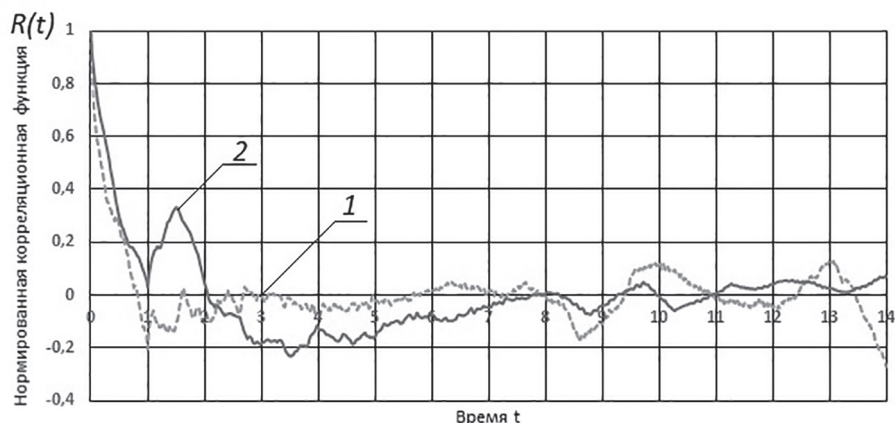
Затухание корреляционной функции является признаком эргодичности процесса.

Алгебраическое затухание корреляционной функции эквивалентно бесконечному значению соответствующей восприимчивости. Параметры корреляционной функции процесса буксования трактора в составе транспортного агрегата имеют следующие величины: Интервал корреляции в серийном варианте составляет 0,9 сек, в опытном варианте – 2,1 сек, средний полупериод корреляции в серийном варианте составляет 1,25 сек, в опытном варианте 1,85 сек.

Анализ рис. 4 показывает, что средний полупериод корреляции в опытном варианте гораздо больше, чем в серийном. Графики изменения спектральной плотности буксования опытного и серийного трактора в составе транспортного агрегата представлены на рис. 5.

Параметры функции спектральной плотности процесса буксования трактора в составе транспортного агрегата имеют следующие параметры: в серийном варианте ширина спектра составляет  $\Delta\omega_c = 10 \text{ сек}^{-1}$ , в опытном варианте



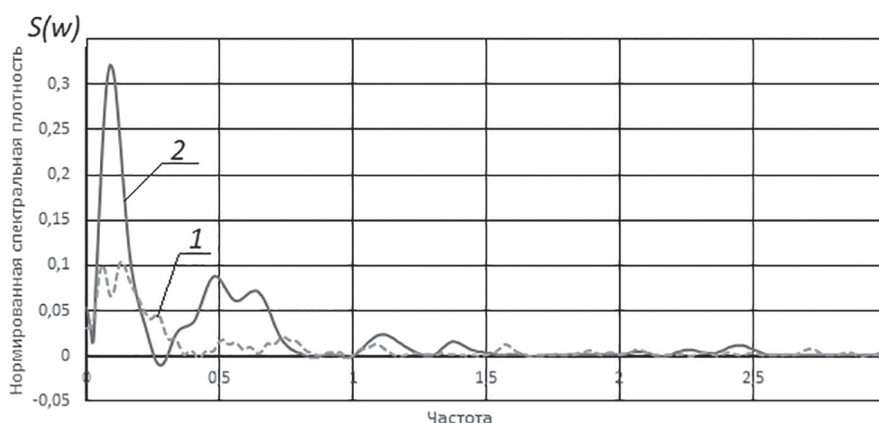


**Рис. 4. Автокорреляционная функция изменения буксования трактора в составе ТТА:**

1 – серийный трактор; 2 – трактор с УДМ

*Fig. 4. Autocorrelation function of slipping change of tractor as part of TTU:*

*1 – serial tractor; 2 – tractor with the EDM*



**Рис. 5. Графики изменения спектральной плотности буксования опытного и серийного трактора в составе ТТА:**

1 – серийный трактор; 2 – трактор с УДМ

*Fig. 5. Graphs of changes in the spectral density of slipping of experimental and serial tractor as part of TTU: 1 – serial tractor; 2 – tractor with the EDM*

$\Delta\omega_c = 3,1 \text{ сек}^{-1}$ . Плотность спектра в серийном варианте  $S(0,05) = 0,1$  в опытном варианте  $S(0,1) = 0,32$  и  $S(0,5) = 0,09$ . Анализ рис. 5 показывает, что ширина спектра в серийном варианте больше, плотность спектра выше у опытного варианта.

### Закключение

Анализ результатов экспериментальных исследований трактора в составе ТТА показал, что установка УДМ в трансмиссию трактора позволяет снизить расход топлива в среднем на 7,3 %, уменьшить буксование движителей на 9,7 %, снизить среднее тяговое усилие, создаваемое прицепом, на 19,9 %, уменьшить амплитуду колебаний тяговых усилий на 28,3

%. Следствием этого является уменьшение нагрузки на двигатель, элементы КПП и ведущие колеса трактора.

При оценке буксования за период разгона ТТА видно, что, функция «буксования» является не стационарной случайной функцией. Детерминированное представление случайного процесса показывает: при условии знания плотности распределения функции спектральной плотности и пользуясь зависимостью для плотности распределения вероятности функции от случайной величины, можно утверждать, что событие под названием «буксование» в опытном варианте имеет меньшую вероятность появления. Дисперсия случайной величины математического ожидания «буксования»

постоянна и равна коэффициенту вариации функции. Фактическое снижение коэффициента вариации указывает на снижение буксования.

Полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что трактор в составе ТТА с УДМ в трансмиссии имеет лучшие показатели работы по сравнению с серийным трактором.

## Литература

1. Кравченко В.А., Сенькевич С.Е., Сенькевич А.А., Галайко А.С., Морозов Р.Н., Яровой В.Г., Толстоухов Ю.С., Верховцев А.К. Устройство для снижения жесткости трансмиссии машинотракторных агрегатов: патент на изобретение № 2252148 Российская Федерация; опубли. 20.05.2005, Бюл. № 14.
2. Himmelblau D.M. Process analysis by statistical methods. New York: John Wiley & Sons, 1970. 463 p.
3. Schmetterer L. Introduction to mathematical statistics. Springer Science & Business Media, 2012. V. 202. 504 p.
4. Осипов С.С. Эксплуатационные показатели колесных тракторов отечественного и зарубежного производства // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы XII международной научно-практической конференции молодых ученых. Красноярск. Изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2019. С. 247–251.
5. Бережнов Н.Н., Сырбаков А.П. Оценка тягово-энергетических показателей посевного почвообрабатывающего машинно-тракторного агрегата методом контрольного динамометрирования // Агротехинфо. 2017. № 2 (28). С. 17–17.
6. Бабанин Н.В. Улучшение плавности хода машинно-тракторного агрегата на базе трактора класса 1,4 с упругодемпфирующим приводом на ведущих колесах // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 46–46.
7. Петрищев Н.А., Лавров А.В., Крюковская Н.С., Капусткин А.О., Саяпин А.С., Пospelов А.Р., Прядкин В.И. Контроль качества силовых передач и ходовых систем с использованием цифровых технологий // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 6. С. 63–69.
8. Сенькевич С.Е., Васильев Е.К., Сенькевич А.А. Результаты применения гидропневматического демпфирующего устройства в силовой передаче трактора малого класса тяги для улучшения показателей работы // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 4 (21). С. 128–139.
9. Senkevich S., Kravchenko V., Duriagina V., Senkevich A., Vasilev E. (2019) Optimization of the Parameters of the Elastic Damping Mechanism in Class 1,4 Tractor Transmission for Work in the Main Agricultural Operations. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing & Optimization. ICO 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 866. P. 168–177. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-00979-3\_17.
10. Senkevich S.E., Sergeev N.V., Vasilev E.K., Godzhaev Z.A. & Babayev V. (2019). Use of an Elastic-Damping Mechanism in the Tractor Transmission of a Small Class of Traction (14 kN): Theoretical and Experimental Substantiation (Chapter 6). Handbook of Advanced Agro-Engineering Technologies for Rural Business Development. – Hershey, Pennsylvania (USA): IGI Global, 2019. P. 149–179. DOI: 10.4018/978-1-5225-7573-3.ch006.
11. Сенькевич С.Е. Анализ результатов экспериментальных исследований трактора класса 1,4 модернизированного гидропневматическим демпферным устройством в силовой передаче // Агротехника и энергообеспечение. 2019. № 3 (24). С. 8–16.
12. Senkevich S., Duriagina V., Kravchenko V., Gamolina I., Pavkin D. (2020) Improvement of the Numerical Simulation of the Machine-Tractor Unit Functioning with an Elastic-Damping Mechanism in the Tractor Transmission of a Small Class of Traction (14 kN). In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1072. P. 204–213. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-33585-4\_20.
13. Senkevich S.E., Lavrukhin P.V., Senkevich A.A., Ivanov P.A., & Sergeev N.V. (2020). Improvement of Traction and Coupling Properties of the Small Class Tractor for Grain Crop Sowing by Means of the Hydropneumatic Damping Device. In V. Kharchenko, & P. Vasant (Eds.), Handbook of Research on Energy-Saving Technologies for Environmentally-Friendly Agricultural Development (P. 1–27). Hershey, PA: IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-5225-9420-8.ch001.
14. Senkevich S., Kravchenko V., Lavrukhin P., Ivanov, P. & Senkevich, A. (2020). Theoretical Study of the Effect of an Elastic-Damping Mechanism in the Tractor Transmission on a Machine-Tractor Unit Performance While Sowing. (Chapter 17). Handbook of Research on Smart Computing for Renewable Energy and Agro-Engineering. – Hershey, Pennsylvania (USA): IGI Global, 2020. P. 423–463. DOI: 10.4018/978-1-7998-1216-6.ch017.

15. Беспамятнова Н.М. Колебания и вибрации в технологических процессах почвообрабатывающих и посевных машин и агрегатов. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2008. 224 с.
16. Беспамятнова Н.М. Научно-методические основы адаптации почвообрабатывающих и посевных машин. Ростов н/Д: ООО «Терра», НПК «Гефест», 2002. 176 с.
17. Бендат Д., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа. М.: Мир, 1983. 312 с.
18. Бендат Д., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1974. 464 с.
19. Мясникова Н.В. Спектральный анализ сигналов по амплитудным и временным параметрам на основе измерительного эксперимента: дис. ... докт. техн. наук: 05.11.01. Пенза, 2001. 379 с.
20. Хованова Н.А., Хованов И.А. Методы анализа временных рядов: учеб. пособие. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2001. 120 с.
21. Барский И.Б., Анилович В.Я., Кутьков Г.М. Динамика трактора. М.: Машиностроение. 1973. 280 с.

## References

1. Kravchenko V.A., Senkevich S.E., Senkevich A.A., Galaiko A.S., Morozov R.N., Yarovoi V.G., Tolstouhov Yu.S., Verhovtsev A.K. Ustrojstvo dlya snizheniya zhestkosti transmissii mashinotraktornyh agregatov [Device for reducing the rigidity of the transmission of machine-tractor units: patent for the invention]: patent na izobretenie № 2252148 Rossijskaya Federaciya; opubl. 20.05.2005, Byul. № 14.
2. Himmelblau D.M. Process analysis by statistical methods. New York: John Wiley & Sons, 1970. 463 p.
3. Schmetterer L. Introduction to mathematical statistics. Springer Science & Business Media, 2012. V. 202. 504 p.
4. Osipov S.S. Performance indicators of wheeled tractors of domestic and foreign production // Innovative trends in the development of Russian science: materials of the XII international scientific and practical conference of young scientists. Krasnoyarsk. Publishing house of Krasnoyarsk state agrarian University, 2019. P. 247–251.
5. Berezhnov N.N., Syrbakov A.P. Evaluation of traction and energy indicators of a sowing tillage machine-tractor unit by the method of control dynamometry // Agroekoinfo. 2017. N 2. P. 17–17.
6. Babanin N.V. Improved ride the machine and tractor units on the basis of tractor of a class 1,4 with elastic damping drive on the drive wheels // Modern Problems of Science and Education. 2015. N 2–2. P. 46–46.
7. Petrishchev N.A., Lavrov A.V., Kryukovskaya N.S., Kapustkin A.O., Sayapin A.S., Po-spelov A.R., Pryadkin V.I. Quality control of power transmissions and running systems using digital technologies // Tractors and Agricultural Machines. 2018. N 6. P. 63–69.
8. Senkevich S.E., Vasilev E.K., Senkevich A.A. Results of the application of hydropneumatic damping device in the power transmission of the tractor of the low class of charge to improve the performance indicators // Agricultural Machinery and Power Supply. 2018. N 4 (21). P. 128–139.
9. Senkevich S., Kravchenko V., Duriagina V., Senkevich A., Vasilev E. (2019) Optimization of the Parameters of the Elastic Damping Mechanism in Class 1,4 Tractor Transmission for Work in the Main Agricultural Operations. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing & Optimization. ICO 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 866. P. 168–177. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-00979-3\_17.
10. Senkevich S.E., Sergeev N.V., Vasilev E.K., Godzhaev Z.A. & Babayev V. (2019). Use of an Elastic-Damping Mechanism in the Tractor Transmission of a Small Class of Traction (14 kN): Theoretical and Experimental Substantiation (Chapter 6). Handbook of Advanced Agro-Engineering Technologies for Rural Business Development. – Hershey, Pennsylvania (USA): IGI Global, 2019. P. 149–179. DOI: 10.4018/978-1-5225-7573-3.ch006.
11. Senkevich S.E. Analysis of the results of experimental researches of the class 1,4 tractor modernized by a hydro-pneumatic damper in a power transmission // Agricultural Machinery and Power Supply. 2019. N 3 (24). P. 8–16.
12. Senkevich S., Duriagina V., Kravchenko V., Gamolina I., Pavkin D. (2020) Improvement of the Numerical Simulation of the Machine-Tractor Unit Functioning with an Elastic-Damping Mechanism in the Tractor Transmission of a Small Class of Traction (14 kN). In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1072. P. 204–213. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-33585-4\_20.
13. Senkevich S.E., Lavrukhin P.V., Senkevich A.A., Ivanov P.A., & Sergeev N.V. (2020). Improvement of Traction and Coupling Properties of the Small Class Tractor for Grain Crop Sowing by Means of the Hydropneumatic Damping Device.

- In V. Kharchenko, & P. Vasant (Eds.), Handbook of Research on Energy-Saving Technologies for Environmentally-Friendly Agricultural Development (P. 1–27). Hershey, PA: IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-5225-9420-8.ch001.
14. Senkevich S., Kravchenko V., Lavrukhin P., Ivanov P. & Senkevich, A. (2020). Theoretical Study of the Effect of an Elastic-Damping Mechanism in the Tractor Transmission on a Machine-Tractor Unit Performance While Sowing. (Chapter 17). Handbook of Research on Smart Computing for Renewable Energy and Agro-Engineering. – Hershey, Pennsylvania (USA): IGI Global, 2020. P. 423–463. DOI: 10.4018/978-1-7998-1216-6.ch017.
15. Bepamyatnova N.M. Oscillations and vibrations in technological processes of soil-working and sowing machines and aggregates / N.M. Bepamyatnova. Zernograd: VNIPTIMESH, 2008. 224 p.
16. Bepamyatnova N.M. Scientific-methodical bases of adaptation of tillage and sowing machines / N.M. Bepamyatnova. Rostov n / a: LLC «Terra», NPK «Gefest», 2002. 176 p.
17. Bendat, D. Application of correlation and spectral analysis / D. Bendat, A. Pirsol. M.: Mir, 1983. 312 p.
18. Bendat, D. Measurement and analysis of random processes / D. Bendat, A. Pirsol. M.: Mir, 1974. 464 p.
19. Myasnikova, N.V. Spectral analysis of signals by amplitude and time parameters on the basis of a measuring experiment: dissertation ... Doctors of technical sciences: 05.11.01. Penza, 2001. 379 p.
20. Khovanova NA, Khovanov IA Methods of time series analysis // Proc. allowance. Saratov: Publishing house of GosUNTs «College», 2001. 120 p.
21. Barskiy I.B., Anilovich V.Ya., Kutkov G.M. Dynamics of the tractor / I.B. Barsky, V.Ya. Anilovich, G.M. Kutkov M.: Mashinostroyeniye. 1973. 280 s.