

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАКТОРА КЛАССА ТЯГИ 1,4 С УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩИМ МЕХАНИЗМОМ В СИЛОВОМ ПРИВОДЕ

К.Т.Н. Сенькевич С.Е.¹, Ильченко Е.Н.¹, д.т.н., чл.-корр. РАН Годжаев З.А.¹, Дурягина В.В.²

¹ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия

²Южный Федеральный Университет, Таганрог, Россия

sergej_senkevich@mail.ru

Темой данной статьи является анализ результатов проведения полевых исследований трактора с упруго-демпфирующим механизмом в силовом приводе и его эксплуатационная оценка эффективности в сравнении с серийным трактором.

Предметом исследования является трактор с упруго-демпфирующим механизмом в силовом приводе в составе пахотного агрегата с навесным плугом.

Целью данной работы является детальный анализ влияния параметров упруго-демпфирующего механизма на показатели работы трактора с плугом. Проведение подобных исследований позволяет получить новые экспериментальные данные работы упруго-демпфирующего механизма установленного в силовой привод трактора при агрегатировании с плугом.

Контрольные опыты проводились на одном поле во время летнего и осеннего периодов одного года. Эталонным при проведении сравнительных опытов являлся тот же трактор, но с заблокированным упруго-демпфирующим механизмом (для краткости, мы назвали его «серийным»). Обработка результатов осуществлялась на персональном компьютере с использованием пакета программ. Для анализа энергоэффективности использовалась условная классификация вариabельности выборки на основе коэффициента вариации. Для изучения числовых данных по буксованию был проведен спектральный анализ.

Показатели энергетической оценки свидетельствуют, что агрегат с упруго-демпфирующим механизмом в силовом приводе трактора имеет лучшие показатели (скорость движения, производительность и погектарный расход топлива), чем аналогичный с более жесткой трансмиссией. Упруго-демпфирующий механизм создает более благоприятные условия для формирования характера нагрузки узлов при неустановившихся и установившихся режимах движения. Статистический анализ числовых данных по буксованию показал, что применение механизма позволяет снизить математическое ожидание буксования. Анализ спектральных характеристик свидетельствует о том, что упруго-демпфирующий механизм поглощает частоты, являясь фильтром при агрегатировании с различными орудиями. Все это указывает на существенные улучшения характеристик агрегата при применении упруго-демпфирующего механизма.

Ключевые слова: упруго-демпфирующий механизм, энергооценка пахотного агрегата, спектральный анализ, взаимная корреляционная функция.

Для цитирования: Сенькевич С.Е., Ильченко Е.Н., Годжаев З.А., Дурягина В.В. Результаты проведения полевых исследований трактора класса тяги 1,4 с упруго-демпфирующим механизмом в силовом приводе // Известия МГТУ «МАМИ». 2020. № 4 (46). С. 70–79. DOI: 10.31992/2074-0530-2020-46-4-70-79.

Введение

Одним из способов борьбы с повышением энергетических затрат двигателя трактора при выполнении работ является установка упругих элементов в различных узлах трактора, работающего в составе агрегата, в том числе прицепных и навесных устройствах. Это позволяет в значительной мере снижать амплитуду колебаний крюковой нагрузки и нагрузки на силовой привод. Это приводит

к снижению колебаний угловой скорости двигателя. Выше обозначенное рассматривается во многих научных работах.

Например, в работе [1] приведены исследования пневмогидравлического упруго-демпфирующего привода, предназначенного для снижения динамических нагрузок на колеса трактора класса 1,4. Анализ результатов экспериментальных данных показывает, что применение упруго-демпфирующего механизма

в приводе снижает буксование движителей на 16...20 %, снижает расход топлива на 6...9 % и повышает производительность на 7...9 %.

В работе [2] представлены исследования, доказывающие, что упругие элементы в ведомом диске смещают резонансные колебания в сторону пониженной частоты вращения колленчатого вала. Дополнительное демпфирование снижает колебания со стороны двигателя в 1,5...2 раза. В начальный период разгона демпферные пружины способствуют более плавному включению сцепления и снижению пробуксовки ведомого диска на 12...20 %. При использовании демпферных пружин износ фрикционных накладок ведомых дисков сцепления снижается в среднем на 29,5%.

По исследованиям [3, 4], применение упруго-демпфирующих механизмов в приводе ведущих колес на пахоте (фон – стерня колосовых) показало, что с упруго-демпфирующим механизмом снижает буксование на 10...12 % и расход топлива на 12...14 %.

Вопросами применения упруго-демпфирующего механизма в силовом приводе трактора малого класса тяги [5], численным моделированием функционирования трактора с упруго-демпфирующим механизмом [6] и оптимизацией его параметров для работы с основным технологическим оборудованием при выполнении сельскохозяйственных операций [7, 8] также занималась часть коллектива авторов данной статьи. Устройство упруго-демпфирующего механизма подробно описано в работах [9, 10, 11].

Для более детального анализа влияния параметров упруго-демпфирующего механизма на показатели работы трактора с плугом были проведены экспериментальные исследования, часть результатов которых приведена в настоящей статье.

Целью данной работы является детальный анализ влияния параметров упруго-демпфирующего механизма на показатели работы трактора с плугом. Проведение подобных исследований позволяет получить новые экспериментальные данные работы упруго-демпфирующего механизма установленного в силовой привод трактора при агрегатировании с плугом.

Материалы и методы проведения полевых исследований трактора

Объектом исследования является трактор с упруго-демпфирующим механизмом в силовом приводе в составе пахотного агрегата.

Предметом исследования являются закономерности при работе трактора с упруго-демпфирующим механизмом в силовом приводе.

Оценка эффективности трактора в составе пахотного агрегата, параметры и режимы работы которых соответствовали рекомендациям теоретических исследований, проводились согласно ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний» [12]. Исследования были проведены для трактора-макета в агрегате с навесным плугом ПЛН-3-35. Для измерений применялся комплекс лаборатории ТЛ-2 на базе полноприводного автомобиля ГАЗ-66. Общий вид трактора представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид испытываемого трактора-макета в агрегате с навесным плугом ПЛН-3-35 и измерительным комплексом лаборатории ТЛ-2 на базе автомобиля ГАЗ-66

Fig. 1. General view of the tested tractor in a unit with a PLN-3-35 mounted plow and a measuring complex of the TL-2 laboratory based on the GAZ-66 automobile

Для равнозначности показателей сравнительных испытаний и снижения влияния нерегистрируемых параметров (КПД трансмиссии и колесных движителей, сопротивление самопередвижению агрегата и др.) контрольные опыты проводились на одном поле в течение рабочего дня. Время испытаний – летний (послеуборочный) и осенний периоды года. В качестве эталонного при проведении сравнительных опытов использовался тот же самый трактор, но с заблокированным упруго-демпфирующим механизмом (для краткости мы назвали его «серийным»). Управление трактором во всех вариантах осуществлялось одним и тем же трактористом 1 класса.

Пахота проводилась по стерне озимой пшеницы на глубину 25...27 см. В процессе проведения испытаний контролировались глубина пахоты (глубиномером) и ширина пахоты (линейкой). Колебания показателей пахоты находились в пределах, допускаемых агротехническими требованиями. Время опыта и пройденный путь фиксировались при помощи системы автоматического накопления и обработки данных. Обработка результатов эксперимента осуществлялась на персональном компьютере с использованием пакета специальных программ.

На рис. 2 приведена схема установки датчиков на исследуемом тракторе с плугом.

Для анализа данных предлагается условная классификация вариабельности (степень рассеивания данных) выборки на основе коэффициента вариации: при $v \leq 10\%$ выборка вариабельна слабо, при $10\% \leq v \leq 20\%$ – средне вариабельна, при $v \leq 20\%$ – сильно вариабельна. Если значение коэффициента вариации не превышает 33 %, то совокупность считается однородной, а если больше 33 %, то – неоднородной. В относительном выражении коэффициент вариации позволяет обеспечить сопоставимость полученных результатов [13, 14].

Результаты оценки работы трактора

В соответствии с программой экспериментальных исследований проведена оценка тракто-

ра, оснащенного упруго-демпфирующим механизмом. Показатели представлены в таблице 1.

Показатели энергетической оценки свидетельствуют о том, что трактор с упруго-демпфирующим механизмом в силовом приводе имеет лучшие энергетические показатели (скорость движения, производительность и погектарный расход топлива), чем аналогичный машинно-тракторный агрегат с более жесткой трансмиссией. Анализируя таблицу 1, наблюдаем снижение тягового сопротивления. Тяговое сопротивление является для трактора внутренней силой связи между звеньями: трактором и плугом. Величина этой силы определяется внешним воздействием почвы на рабочие органы плуга и взаимодействием звеньев через упругие и деформирующие связи между ними. Установка упруго-демпфирующего механизма в силовой привод трактора с плугом создает более благоприятные условия для формирования характера нагрузки узлов самого трактора как при неустановившихся режимах движения, так и при установившихся. Следствием этого является снижение нагрузки на двигатель и ведущие колеса трактора, отчего угловая скорость вала и поступательная скорость трактора возрастают по сравнению с серийным вариантом, у которого большая жесткость силового привода.

Для более подробного анализа буксования движителей был проведен анализ изменения буксования во времени. Данные по буксованию движителей представлены в таблице 2.

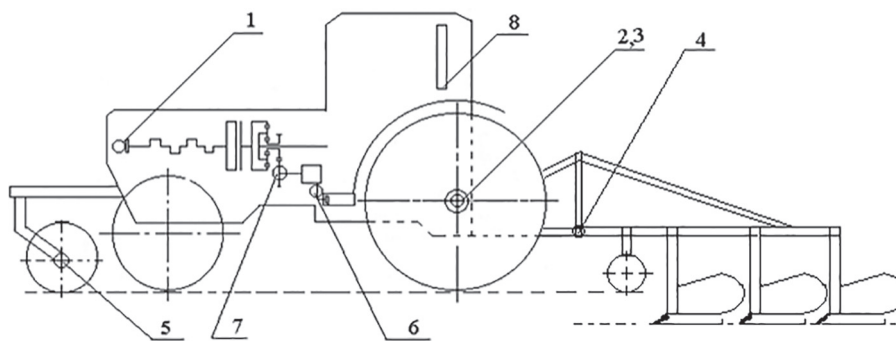


Рис. 2. Схема размещения датчиков на исследуемом тракторе:

1 – датчик оборотов коленвала двигателя; 2, 5 – датчики оборотов ведущего и путезамерительного 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. Layout of sensors on the tractor:

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

Таблица 1

Энергетические показатели работы трактора на вспашке в составе пахотного МТА

Table 1. Energy indicators of tractor operation during plowing as part of arable machine-tractor unit

№ пп	Энергетические показатели	Трактор серийный	Трактор с УДМ	Изменение %
1	Тяговое сопротивление $P_{кр}$, Н	15875,4	15515,6	2,27
2	Скорость движения трактора V , м/с (км/ч)	1,43 (5,15)	1,66 (5,98)	16,10
3	Частота вращения коленчатого вала $n_{шв}$, рад/с	216,3	227,6	5,22
4	Часовой расход топлива G , кг/ч	13,78	12,57	8,78
5	Буксование движителей δ , %	16,9	15,3	9,47
6	Производительность трактора W , га/ч	0,540	0,588	8,89
7	Погектарный расход топлива $G_{га}$, кг/га	25,52	21,38	16,22

Таблица 2

Статистические показатели трактора по буксованию при вспашке

Table 2. Tractor statistics on slipping during plowing

Показатели	Серийный трактор	Трактор с УДМ	Изменение, %
Математическое ожидание буксования δ , %	16,9	15,3	9,47
Дисперсия D , %	86,8	47,9	44,82
Среднее квадратичное отклонение σ_{δ} , %	9,32	6,92	25,75
Коэффициент вариации v , %	55,14	45,23	17,97

Статистический анализ числовых данных по буксованию, полученных экспериментальным путем, показал, что применение упруго-демпфирующего механизма позволяет снизить математическое ожидание буксования на 9,5 %.

График изменения буксования представлен на рис. 3. В нижеприведенном графике и далее в представленных рисунках сплошная линия обозначает показания для опытного трактора, прерывистая – для серийного.

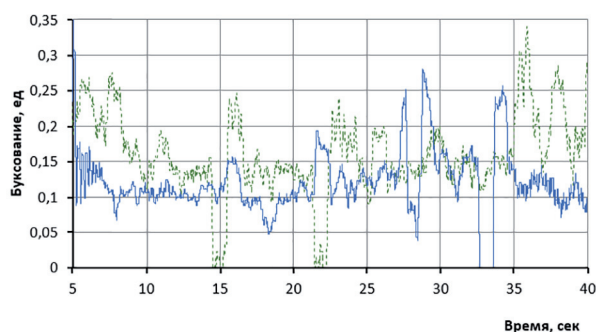


Рис. 3. Динамика изменения буксования опытного и серийного тракторов в составе пахотного агрегата

Fig. 3. The dynamics of changes in slipping of a tested and serial tractor as part of a plowing unit

Стоит применить классические методы анализа временных рядов. Параметрические

и непараметрические методы спектрального анализа, которые применяются для изучения особенностей случайного процесса в частотной области. Основной характеристикой, по которой можно судить о спектральном составе исследуемого процесса, является функция спектральной плотности. [15, 16, 17]. Статистические характеристики случайных процессов вычисляются как правило по одной реализации процесса достаточной длительности по времени. Автокорреляционные функции изменения буксования опытного и серийного трактора представлены на рис. 4.

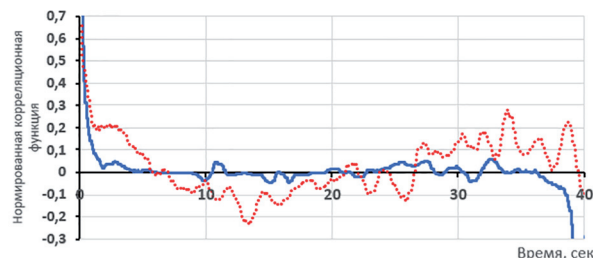


Рис. 4. Графики автокорреляционной функции изменения буксования опытного и серийного трактора в составе пахотного агрегата

Fig. 4. Graphs of the autocorrelation function of changes in slipping of a tested and serial tractor as part of a plowing unit

Затухание корреляционной функции является признаком эргодичности процесса. Алгебраическое затухание корреляционной функции эквивалентно бесконечному значению соответствующей восприимчивости.

Анализ рис. 4 показывает, что средний полупериод корреляции в серийном варианте гораздо больше, чем в опытном, что свидетельствует о том, что плотность спектра будет больше у варианта серийного и этот спектр будет шире. Механизм поглощает частоты, являясь фильтром при агрегатировании с плугом.

Спектральная плотность определяет собой спектральное разложение корреляционной функции и при этом отражает и частотный состав самого случайного процесса. Спектральная плотность имеет размерность произведения дисперсии на секунду. Размерность нормированной спектральной плотности – секунда. Графики изменения спектральной плотности представлены на рис. 5.

Отрицательная частота – понятие не физическое, а математическое, вытекающее из способа представления комплексных чисел.

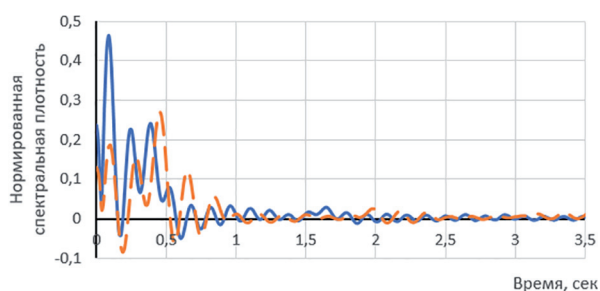


Рис. 5. Графики изменения спектральной плотности буксования опытного и серийного тракторов в составе пахотного агрегата

Fig. 5. Graphs of changes in the spectral density of slipping of a tested and serial tractor as part of a plowing unit

Анализ рис. 5 показывает, что ширина спектра в серийном варианте больше, плотность спектра выше у варианта опытного. Это свидетельствует о том, что механизм является эффективным фильтром при агрегатировании с плугом.

Характер протекания спектральной плотности опытного трактора свидетельствует о низкочастотности процесса, так как максимумы дисперсий сдвинуты в зону более низких частот в диапазоне от 0 до $1,0 \text{ c}^{-1}$.

Процесс изменения кривых в диапазоне от 0 до $1,5 \text{ c}^{-1}$ схож, что свидетельствует об идентичности процесса изменения буксования.

Спектр изменения буксования серийного трактора от 0 до $1,5 \text{ c}^{-1}$ имеет четыре преобладающие вершины на отметках $S(0) = 0,08$, $S(0,15) = 0,46$, $S(0,35) = 0,2$ и $S(0,5) = 0,8$; в опытном варианте $S(0) = 0,12$, $S(0,1) = 0,24$, $S(0,3) = 0,2$ и $S(0,65) = 0,16$, $S(2,0) = 0,04$, $S(2,85) = 0,02$.

Ширина спектра (или срез частот $S(\omega)$) для опытного и серийного вариантов составляет $\Delta\omega_c = 4,2 \text{ c}^{-1}$ и $\Delta\omega_c = 2,2 \text{ c}^{-1}$ соответственно.

Определенная взаимная корреляционная функция двух случайных процессов позволяет оценить параметры и свойства, например, суммы и разности двух случайных процессов, что часто встречается в практике.

Взаимная корреляционная функция угловых скоростей представлена для двух вариантов: опытный вариант – сплошная линия; серийный вариант – прерывистая линия.

На рис. 6 и 7 показана корреляция между частотой вращения коленвала двигателя и ведущим колесом: в опытном варианте она стремиться к нулю или уходит в отрицательные значения. В то же время, серийный вариант находится в прямой корреляции в начальный период (разгон) и в процессе выполнения технологической операции.

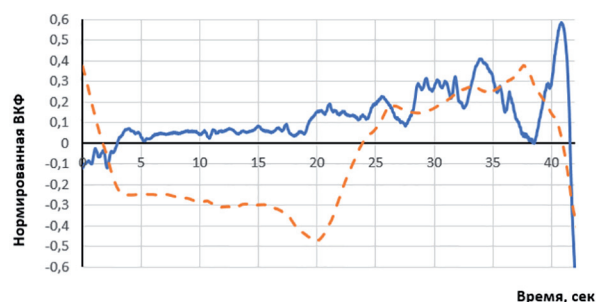


Рис. 6. Совмещенные графики изменения взаимной корреляционной функции частоты вращения коленчатого вала и ведущего колеса в опытном и серийном вариантах для трактора в составе пахотного агрегата (анализ сигнала от двигателя к ведущему колесу)

Fig. 6. Combined graphs of changes in the cross-correlation function of the crankshaft and drive wheel rotational speed in the tested and serial versions for a tractor as part of a plowing unit (analysis of the signal from the engine to the drive wheel)

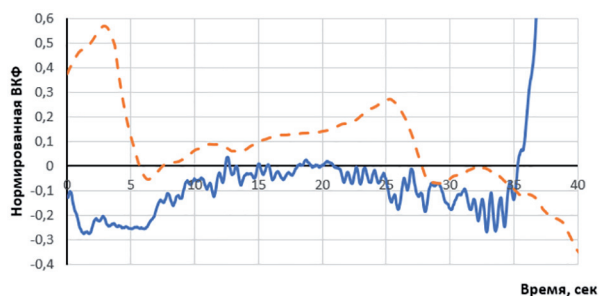


Рис. 7. Совмещенные графики изменения взаимной корреляционной функции частоты вращения коленчатого вала и ведущего колеса в опытном и серийном вариантах для трактора в составе пахотного агрегата (анализ сигнала от ведущего колеса к двигателю)

Fig. 7. Combined graphs of changes in the cross-correlation function of the crankshaft and drive wheel rotational speed in the tested and serial versions for a tractor as part of a plowing unit (analysis of the signal from the drive wheel to the engine)

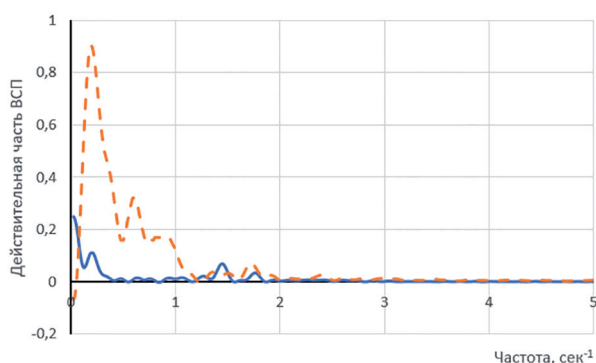


Рис. 8. Совмещенные графики изменения действительной части функции взаимной спектральной плотности угловых скоростей опытного и серийного тракторов в составе пахотного агрегата

Fig. 8. Combined graphs of changes in the real part of the function of the mutual spectral density of angular velocities of a tested and serial tractor as part of a plowing unit

На рис. 8, 9 и 10 показано смещение частот возмущающих воздействий и уменьшение их величины (действительной и мнимой части) в опытном варианте. В то же время при сравнении модуля взаимной спектральной плотности видны преимущества опытного варианта в процессе выполнения технологической операции.

Выводы

Статистический анализ числовых данных по буксованию, полученных эксперименталь-

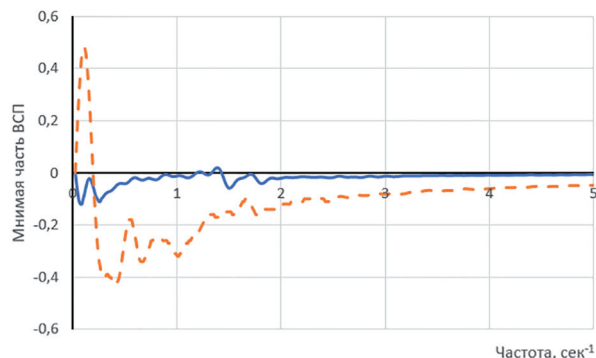


Рис. 9. Совмещенные графики изменения мнимой части функции взаимной спектральной плотности угловых скоростей опытного и серийного тракторов в составе пахотного агрегата

Fig. 9. Combined graphs of changes in the imaginary part of the function of the mutual spectral density of angular velocities of a tested and serial tractor as part of a plowing unit

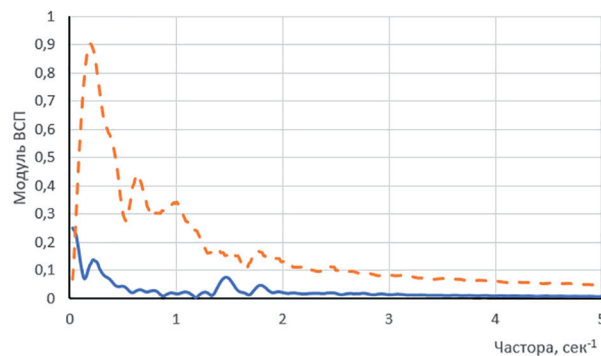


Рис. 10. Графики изменения модуля функции взаимной спектральной плотности угловых скоростей серийного трактора в составе пахотного агрегата

Fig. 10. Graphs of changes in the modulus of the function of the mutual spectral density of angular velocities of a serial tractor as part of a plowing unit

ным путем, показал, что применение упруго-демпфирующего механизма позволяет снизить математическое ожидание буксования трактора с плугом на 9,5 %.

Анализ среднего полупериода корреляционной функции процесса буксования трактора в составе пахотного агрегата показывает отличие указанной величины в серийном и опытном вариантах на 47,4 %.

Анализ спектральных характеристик свидетельствует о том, что плотность спектра больше у варианта серийного и этот спектр будет шире. Механизм поглощает частоты, являясь фильтром при агрегатировании с различными орудиями. Характер протекания

спектральной плотности опытного агрегата свидетельствует о низкочастотности процесса, так как максимумы дисперсий сдвинуты в зону более низких частот. Относительное изменение ширины спектра (среза частот $S(\omega)$) для серийного и опытного вариантов отличаются при различных вариантах агрегатирования трактора: для пахотного на 40,5 %

Данные экспериментов показывают, что сила тягового сопротивления снижается для трактора с плугом на 2,27 %. Установка упруго-демпфирующего механизма в трансмиссию трактора создает более благоприятные условия для формирования характера нагрузки узлов трактора как при неустановившихся режимах движения, так и при установившихся. Следствием этого является снижение нагрузки на двигатель и ведущие колеса трактора, отчего угловая скорость вала и поступательная скорость трактора возрастают по сравнению с серийным вариантом, у которого большая жесткость силовой передачи.

Определенная взаимная корреляционная функция двух случайных процессов позволяет оценить параметры и свойства суммы и разности двух случайных процессов. Анализ полученных данных показывает, что корреляция между частотой вращения коленвала двигателя и частотой вращения ведущего колеса в опытном варианте стремится к нулю или уходит в отрицательные значения. В то же время, серийный вариант находится в прямой корреляции в начальный период (разгон) и в процессе выполнения технологической операции.

Анализ данных по частоте показывает смещение частоты возмущающих воздействий и уменьшение их величины (действительной и мнимой части) в серийном варианте.

При сравнении модуля взаимной спектральной плотности видны вершины на низкой и высокой частотах ($\omega = 0,5 \text{ с}^{-1}$ и $\omega = 4,0 \text{ с}^{-1}$). Для серийного варианта это свидетельствует о том, что частоты (проходят) формируются не только в двигателе, но и в силовом приводе. В опытном варианте все вершины спектральной плотности находятся в диапазоне частоты до $\omega = 2,0 \text{ с}^{-1}$.

Все перечисленные показатели указывают на то, что применение упруго-демпфирующего механизма в силовом приводе трактора класса 1,4 позволяет существенно улучшить рабочие характеристики агрегата.

Литература

1. Поливаев О.И., Костиков О.М., Панков А.В., Ведринский О.С. Use of the universal-cultivated tractors on transport and arable works // *Агроинженерия*. 2009. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/use-of-the-universal-cultivated-tractors-on-transport-and-arable-works> (дата обращения: 15.08.2020).
2. Поливаев О.И., Ведринский О.С., Дерканосова Н.М. Повышение долговечности сцепления тракторов за счет упругофрикционного демпфера // *Материалы международной научной конференции «Наука и образование в современных условиях»*, Воронеж, 2016. С. 226–230.
3. Бабанин Н.В. Улучшение плавности хода машинно-тракторного агрегата на базе трактора класса 1,4 с упруго-демпфирующим приводом на ведущих колесах // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2-2. С. 46–46.
4. Бабанин Н.В., Поливаев О.И. Экспериментальные исследования на плавность хода, производительность и топливную экономичность машинно-тракторного агрегата на базе трактора класса 1,4, оборудованного газогидравлическим упруго-демпфирующим приводом // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2015. № 3. С. 112–118.
5. Senkevich S.E., Sergeev N.V., Vasilev E.K., Godzhaev Z.A. & Babayev V. Use of an Elastic-Damping Mechanism in the Tractor Transmission of a Small Class of Traction (14 kN): Theoretical and Experimental Substantiation // *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
6. Senkevich S.E., Duryagina V.V., Kravchenko V.A., Gamolina I. E., Pavkin D.Yu. 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) // *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Optimization 2019 (ICO 2019)*. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020. vol 1072. P. 204–213. DOI: 10.1007/978-3-030-33585-4_20
7. Senkevich S.E., Kravchenko V.A., Duriagina V.V., Senkevich A.A., Vasilev E.K. Optimization of the Parameters of the Elastic Damping Mechanism in Class 1,4 Tractor Transmission for Work in the Main Agricultural Operations // *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing & Optimization (ICO 2018)*. *Advances in In-*

- telligent Systems and Computing, 2019. vol 866. P. 168–177. DOI: 10.1007/978-3-030-00979-3_17
8. Senkevich, S.E., Lavrukhin, P.V., Senkevich, A.A., Ivanov, P.A., & Sergeev, N.V. Improvement of Traction and Coupling Properties of the Small Class Tractor for Grain Crop Sowing by Means of the Hydropneumatic Damping Device. // Handbook of Research on Energy-Saving Technologies for Environmentally-Friendly Agricultural Development, Hershey, PA: IGI Global, 2020. P. 1–27. DOI:10.4018/978-1-5225-9420-8.ch001
 9. Пат. 2222440 Российская Федерация С1 МПК7 В60К 17/10. Устройство для снижения жесткости трансмиссии транспортного средства / В.А. Кравченко, С.Е. Сенькевич, Сенькевич А.А., В.Г. Яровой, Ю.С. Толстоухов; заявитель и патентообладатель «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия» № 2002129554/11; заявлено 4.11.2002, опубл. 27.01.2004, бюл. № 3.
 10. Пат. 2398147 Российская Федерация С1 7 F16H 47/04 Устройство для снижения жесткости трансмиссии машинно-тракторного агрегата / В.А. Кравченко, А.А. Сенькевич, С.Е. Сенькевич, Д.А. Гончаров, В.В. Дурягина; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия» (ФГОУ ВПО АЧГАА) № 2008153010/11; Заявл. 31.12.2010; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24.
 11. Пат. на полезную модель 83458 U1 Российская Федерация, МПК В60К 17/10. Устройство для снижения жесткости трансмиссии машинно-тракторных агрегатов / В.А. Кравченко, А.А. Сенькевич, С.Е. Сенькевич; Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия» (ФГОУ ВПО АЧГАА). № 2008152960/22; Заявл. 31.12.2008; опубл. 10.06.2009. Бюл. № 16.
 12. ГОСТ 7057-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. М.: ИПКИзд-во стандартов, 2002. (Межгосударственный стандарт введен в действие постановлением Государственного комитета РФ по стандартизации и метрологии от 27 мая 2002 г. № 206-ст взамен ГОСТ 7057-81. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний).
 13. Венсель В.В. Интегральная регрессия и корреляция: Статистическое моделирование рядов динамики // М.: Финансы статистики, 1983. 223 с.
 14. Кравченко В.А., Сенькевич А.А., Сенькевич С.Е. Некоторые статистические показатели функционирования посевного МТА с упруго-демпфирующим механизмом в трансмиссии трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 9. С. 32–34.
 15. Мясникова Н.В. Спектральный анализ сигналов по амплитудным и временным параметрам на основе измерительного эксперимента: диссертация ... доктора технических наук. 2001. 379 с.
 16. Бендат Д.С. Применение корреляционного и спектрального анализа // М.: Мир, 1983. 312 с.
 17. Бойко Б.П., Тюрин В.А. Спектр сигнала: учебно-методическое пособие // Казанский федеральный университет, Казань. 2014. 38 с.

References

1. Polivayev O.I., Kostikov O.M., Pankov A.V, Vedrinskiy O.S. Use of the universal-cultivated tractors on transport and arable works. *Agroinzheneriya*. 2009. No 1. (in Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/use-of-the-universal-cultivated-tractors-on-transport-and-arable-works> (accessed: 15.08.2020).
2. Polivayev O.I., Vedrinskiy O.S., Derkanosova N.M. Increasing the durability of the tractors clutch due to the elastic-friction damper. *Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii Nauka i obrazovaniye v sovremennykh usloviyakh* [Materials of the international scientific conference Science and education in modern conditions], Voronezh, 2016, pp. 226–230 (in Russ.).
3. Babanin N.V. Improving the smooth running of a machine-tractor unit based on a 1.4 traction class tractor with an elastic damping drive on the driving wheels. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. No 2-2, pp. 46–46 (in Russ.).
4. Babanin N.V., Polivayev O.I. Experimental studies on the smoothness, performance and fuel efficiency of a machine-tractor unit based on a 1.4 traction class tractor equipped with a gas-hydraulic elastic damping drive. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. No 3, pp. 112–118 (in Russ.).
5. Senkevich S.E., Sergeev N.V., Vasilev E.K., Godzhaev Z.A. & Babayev V. Use of an Elastic-Damping Mechanism in the Tractor Transmission of a Small Class of Traction (14 kN): Theoretical and Experimental Substantiation // 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

6. Senkevich S.E., Duryagina V.V., Kravchenko V.A., Gamolina I. E., Pavkin D.Yu. 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) // Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Optimization 2019 (ICO 2019). Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020. vol 1072. P. 204–213. DOI: 10.1007/978-3-030-33585-4_20
7. Senkevich S.E., Kravchenko V.A., Duriagina V.V., Senkevich A.A., Vasilev E.K. Optimization of the Parameters of the Elastic Damping Mechanism in Class 1,4 Tractor Transmission for Work in the Main Agricultural Operations // Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing & Optimization (ICO 2018). Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019. vol 866. P. 168–177. DOI: 10.1007/978-3-030-00979-3_17
8. Senkevich, S.E., Lavrukhin, P.V., Senkevich, A.A., Ivanov, P.A., & Sergeev, N.V. Improvement of Traction and Coupling Properties of the Small Class Tractor for Grain Crop Sowing by Means of the Hydropneumatic Damping Device. // Handbook of Research on Energy-Saving Technologies for Environmentally-Friendly Agricultural Development, Hershey, PA: IGI Global, 2020. P. 1–27. DOI:10.4018/978-1-5225-9420-8.ch001
9. Pat. 2222440 Rossiyskaya Federatsiya C1 MPK7 V60K 17/10. *Ustroystvo dlya snizheniya zhestkosti transmissii transportnogo sredstva* [Device for reducing the rigidity of the vehicle transmission]. V.A. Kravchenko, S.E. Sen'kevich, Sen'kevich A.A., V.G. Yarovoy, YU.S. Tolstoukhov; zayavitel' i patentoobladatel' "Azovo-Chernomorskaya gosudarstvennaya agroinzhenernaya akademiya" No 2002129554/11; zayavleno 4.11.2002, opubl. 27.01.2004, byul. No 3.
10. Pat. 2398147 Rossiyskaya Federatsiya C1 7 F16H 47/04 *Ustroystvo dlya snizheniya zhestkosti transmissii mashinno-traktornogo agregata* [Device for reducing the rigidity of the transmission of the machine-tractor unit]. V.A. Kravchenko, A.A. Sen'kevich, S.E. Sen'kevich, D.A. Goncharov, V.V. Duryagina; zayavitel' i patentoobladatel': Federal'noye gosudarstvennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya "Azovo-Chernomorskaya gosudarstvennaya agroinzhenernaya akademiya" (FGOU VPO ACHGAA) No 2008153010/11; Zayavl. 31.12.2010; opubl. 27.08.2010, Byul. No 24.
11. Pat. na poleznuyu model' 83458 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V60K 17/10. *Ustroystvo dlya snizheniya zhestkosti transmissii mashinno-traktornykh agregatov* [Device for reducing the rigidity of the transmission of machine and tractor units]. V.A. Kravchenko, A.A. Sen'kevich, S.E. Sen'kevich; Federal'noye gosudarstvennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya "Azovo-Chernomorskaya gosudarstvennaya agroinzhenernaya akademiya" (FGOU VPO ACHGAA). No 2008152960/22; Zayavl. 31.12.2008; opubl. 10.06.2009. Byul. No 16.
12. GOST 7057-2001. *Traktory sel'skokhozyaystvennyye. Metody ispytaniy* [Agricultural tractors. Test methods]. M.: IPK Izd-vo standartov Publ., 2002. (Mezhgosudarstvennyy standart vveden v deystviye postanovleniyem Gosudarstvennogo komiteta RF po standartizatsii i metrologii ot 27 maya 2002 g. No 206-st vzamen GOST 7057-81. Traktory sel'skokhozyaystvennyye. Metody ispytaniy).
13. Vensel' V.V. *Integral'naya regressiya i korrelyatsiya: Statisticheskoye modelirovaniye ryadov dinamiki* [Integral regression and correlation: statistical modeling of time series]. Moscow: Finansy statistiki Publ., 1983. 223 p.
14. Kravchenko V.A., Sen'kevich A.A., Sen'kevich S.E. Statistical indicators of the functioning of the seeding machine-tractor units with an elastic damping mechanism in the tractor transmission. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2009. No 9, pp. 32–34 (in Russ.).
15. Myasnikova N.V. *Spektral'nyy analiz signalov po amplitudnym i vremennym parametram na osnove izmeritel'nogo eksperimenta*: dissertatsiya ... doktora tekhnicheskikh nauk [Spectral analysis of signals by amplitude and time parameters based on a measurement experiment: Dissertation for Degree of DSc in Engineering]. 2001. 379 p.
16. Bendat D.S. *Primeneniye korrelyatsionnogo i spektral'nogo analiza* [Application of correlation and spectral analysis]. Moscow: Mir Publ., 1983. 312 p.
17. Boyko B.P., Tyurin V.A. *Spektr signala* [Signal spectrum]: uchebno-metodicheskoye posobiye. Kazanskiy federal'nyy univer-sitet, Kazan'. 2014. 38 p.

RESULTS OF FIELD STUDIES OF A TRACTOR OF TRACTION CLASS 1,4 WITH AN ELASTIC DAMPING MECHANISM IN A POWER DRIVE

PhD in Engineering **S.E. Sen'kevich**¹, **YE.N. Il'chenko**¹, DSc in Engineering,
Corresponding member of the Russian Academy of Sciences **Z.A. Godzhayev**¹, **V.V. Duryagina**²

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

²Southern Federal University, Taganrog, Russia

sergej_senkevich@mail.ru

The topic of this paper is analyzing the results of field studies of a tractor with an elastic damping mechanism in a power drive and its operational efficiency assessment in comparison with a serial tractor.

The subject of the research is a tractor with an elastic damping mechanism in a power drive as part of a plowing unit with a mounted plow.

The purpose of this work is a detailed analysis of the influence of the parameters of the elastic-damping mechanism on the performance of a tractor with a plow. Carrying out such studies makes it possible to obtain new experimental data on the operation of the elastic damping mechanism installed in the power drive of a tractor when aggregated with a plow.

The control experiments were carried out in the same field during the summer and autumn periods of one year. The benchmark for comparative experiments was the same tractor, but with a blocked elastic damping mechanism (for brevity, it is called "serial"). The results were processed on a personal computer using a software package. To analyze energy efficiency, a conditional classification of sample variability based on the coefficient of variation was used. Spectral analysis was performed to study numerical slip data.

The indicators of the energy assessment show that the unit with an elastic damping mechanism in the power drive of the tractor has better performance (travel speed, productivity and fuel consumption per hectare) than a similar unit with a more rigid transmission. The elastic damping mechanism creates more favorable conditions for the formation of the nature of the load of the nodes, with unsteady and steady-state modes of motion. Statistical analysis of numerical data on slipping showed that the use of the mechanism makes it possible to reduce the mathematical expectation of slipping. Analysis of spectral characteristics indicates that the elastic-damping mechanism absorbs frequencies, being a filter when aggregated with various tools. Everything mentioned above indicates a significant improvement in the characteristics of the unit when using an elastic damping mechanism.

Keywords: elastic damping mechanism, energy assessment of the arable unit, spectral analysis, cross-correlation function.

Cite as: S.E. Sen'kevich, YE.N. Il'chenko, Z.A. Godzhayev, V.V. Duryagina Results of field studies of a tractor of traction class 1,4 with an elastic damping mechanism in a power drive. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2020. No 4 (46), pp. 70–79 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2020-46-4-70-79.