

ОТЗЫВ

официального оппонента Шеховцова Виктора Викторовича на диссертационную работу Сенькевича Сергея Евгеньевича выполненную на тему «Совершенствование силовых передач колесных сельскохозяйственных тракторов путем комплексного научного подхода», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

1. Актуальность избранной темы диссертации

С ростом энерговооруженности и производительности каждой новой модели трактора увеличивается и динамическая нагруженность его силовой передачи, расширяется спектр частот и диапазон амплитуд динамических нагрузок, воздействующих на нее со стороны двигателя, ходовой системы и агрегируемых машин. Поэтому тема и работа, в которой предложен и научно обоснован новый метод снижения динамической нагруженности силовой передачи трактора за счет использования в ее составе УДМ, во время эксплуатации в соответствии с воздействиями со стороны двигателя и со стороны ходовой системы адаптивно изменяющего упруго-демпфирующие свойства силового валопровода для снижения амплитуд этих воздействий и частичного поглощения вредной колебательной энергии, является актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Автором сформулировано в качестве цели настоящего исследования повышение технического уровня колесных тракторов сельскохозяйственного назначения моноблочной компоновки путём разработки комплексного научного подхода к созданию и совершенствованию силовых передач с улучшенными динамическими характеристиками за счет стабилизации нагрузок и повышения надёжности. Как указывалось выше, в чем состоит суть комплексного научного подхода, не раскрывается. Но совокупность представленных в диссертации теоретических и экспериментальных исследований и разработок свидетельствует о том, что цель работы достигнута.

Автором довольно пространно, из 7 пунктов, сформулирована научная новизна работы. Если более кратко, то хотелось бы отметить следующие элементы научной новизны:

– предложен новый метод снижения динамической нагруженности силовой передачи трактора за счет использования в ее составе УДМ, во время эксплуатации в соответствии с воздействиями со стороны двигателя и со стороны ходовой системы адаптивно изменяющего упруго-

демпфирующие свойства силового валопровода для снижения амплитуд этих воздействий и частичного поглощения вредной колебательной энергии;

– предложена новая методика теоретического анализа и целенаправленного формирования упруго-демпфирующих характеристик УДМ для эффективного снижения амплитуд динамических эксплуатационных воздействий на силовую передачу трактора со стороны двигателя и ходовой системы и эффективного демпфирования колебаний этих воздействий.

Автором создан ряд новых защищённых семью патентами РФ на изобретения технических решений устройств для управления во время эксплуатации динамическими характеристиками силовых передач трактора, внедрение которых в конструкцию силовой передачи трактора, в соответствии с расчетами автора, позволит снизить динамическую нагруженность элементов силовой передачи в среднем на 16 % и, соответственно, существенно повысит ее долговечность.

Предложен для практического использования расчетный метод, позволяющий осуществлять синтез различных режимов и условий работы колёсного трактора с механической силовой передачей, в которую установлен УДМ, при агрегатировании с основными технологическими машинами. Автором показано применение этого метода при агрегатировании трактора с плугом, культиватором и сеялкой, при этом получено снижение в среднем динамической нагруженности силовой передачи более чем на 20 %.

Выполненные исследования свидетельствуют о том, что за счет целенаправленного выбора параметров УДМ обеспечивается также существенное снижение динамической нагруженности двигателя и, как следствие, повышение надежности трактора в целом, что, безусловно, имеет важное практическое значение.

Практическая значимость выполненных автором разработок подтверждается представленными в Приложениях двенадцатью актами внедрения и использования их результатов как в учебном процессе, так и на конкретных значимых предприятиях.

Достоверность результатов выполненных автором теоретических и расчетных исследований подтверждается их сходимостью с результатами экспериментальных исследований на полях учебно-опытного хозяйства Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии.

Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований позволяет судить об адекватности предложенных математических моделей и достоверности результатов проведенных на их основе исследований.

Диссертация Сенькевича Сергея Евгеньевича состоит из Введения, семи глав, Заключение, Списка литературы и девяти Приложений. В Приложениях приведены:

- список международных и всероссийских научных конференций, на которых докладывались основные положения и результаты исследований;
- материалы для проведения теоретических исследований;

- листинг программ для нахождения компромиссного решения и инструкции пользователя;
- материалы проведения экспериментальных исследований;
- методика расчета случайного процесса;
- осциллограммы исследуемых процессов;
- результаты аппроксимации автокорреляционной функции и функции спектральной плотности;
- таблицы экономической эффективности;
- акты внедрения.

Во Введении освещены вопросы актуальности темы работы; проанализирована степень разработанности темы; перечислены российские и зарубежные ученые, труды которых прямо или косвенно затрагивают проблематику работы; представлены формулировки объекта, предмета, цели, задач и новизны исследований, теоретической и практической значимости работы, методологии и методов исследований; представлены положения, выносимые на защиту; охарактеризована степень достоверности и апробации результатов; приведены сведения о публикациях, структуре и объеме диссертации.

Первая глава посвящена обзору, анализу и обобщению результатов исследований в области совершенствования силовых передач тракторов сельскохозяйственного назначения.

Приведены результаты общего анализа состояния отрасли производства тракторов России и количества тракторов зарубежных производителей. Показано, что в общей численности российских тракторов сельскохозяйственного назначения преобладают машины со сроками службы более 20 лет, что свидетельствует о существенном физическом и моральном износе машин. По мнению автора, идеальным выходом было бы полное обновление парка тракторов, однако одномоментно это невозможно, поэтому в качестве одного из выходов предложена модернизация уже существующих образцов путём улучшения характеристик силовых передач, определяющих в основном ресурс машин.

Выполнен анализ функционирования трактора и рабочей машины в условиях колебаний тяговой нагрузки; при этом проанализированы работы российских ученых А.Б. Лурье, С.А. Иофинова, В.Е. Агеева, В.А. Вернигоры, А.А. Юшина, В.И. Кирюшина и В.А. Русанова.

Проанализировано влияние колебаний тяговой нагрузки на работу трактора и рабочей машины, рассмотрены работы российских ученых В.Н. Болтинского, Ю.К. Киртбая, И.Б. Барского, Ю.Н. Ломоносова.

Рассмотрены методы снижения вредных воздействий от колебаний нагрузки на работу трактора и рабочей машины, предложенные в работах Н.Ф. Бочарова, Н.Н. Веремеева, В.И. Кнороза, Р.В. Ротенберга, А.А. Силаева, И.С. Цитовича, А.А. Хачатурова, Н.Н. Яценко, В.П. Лапика, В.В. Шеховцова, З.А. Годжаева, А.И. Свитачева, Д.С. Гапича, В.Я. Аниловича, А.Г. Жутова, В.Г. Ярового, А.Н. Кожуханцева, А.А. Карсакова, В.Л. Строкова и С.Д.

Фомина, В.П. Лапика, Н.Г. Кузнецова, В.В. Котлярова, В.А. Кравченко, Ю.С.Толстоухова, О.И. Поливаева, Д.А. Нехорошева.

В этой главе рассмотрены также устройства, предназначенные для улучшения условий функционирования трактора и рабочей машины – гидромеханические силовые передачи, силовые передачи с разделением потока мощности, центробежные соединительные муфты с упругими динамическими связями, гидравлические амортизаторы крутильных колебаний, эластичные сцепные устройства, упруго-демпфирующий привод, муфты с упругими динамическими связями, приводы с пневмогидравлическим упругим элементом, использование УДМ в силовой передаче. Проанализированы достоинства и недостатки каждого такого устройства.

Далее автором рассмотрены теоретические зависимости для анализа улучшения условий функционирования трактора за счет применения УДМ.

Выводы по главе пространные, но достаточно объективно отражающие результаты обзора и анализа исследований российских ученых в области совершенствования силовых передач тракторов.

Вторая глава посвящена определению динамических характеристик многомассовой системы трактора с механической силовой передачей.

На основе анализа ряда работ российских ученых автором разработана и описана классификация систем стабилизации и демпфирования динамических нагрузок в силовой передаче трактора. Приведено также описание предложенного технического решения УДМ, на которое получен ряд патентов, с анализом его достоинств.

Приведена общая методика определения частот и форм собственных и вынужденных крутильных колебаний в силовой передаче трактора, при использовании которой выполнено определение частот и форм собственных колебаний силовых передач тракторов тяговых классов 0.6, 0.9 и 1.4, в том числе с установленными УДМ. В результате определены частоты, на которых в каждой из этих силовых передач могут возникать резонансы. Показано положительное влияние установки УДМ на изменение частот и форм собственных колебаний.

Приведены выводы по главе, объективно отражающие результаты исследований.

Третья глава посвящена описанию разработанного метода теоретических исследований.

Автором предложен и описан метод проведения теоретических исследований путем синтеза совокупности параметров элементов конструкции при разных условиях работы трактора. Созданы схема и алгоритм проведения исследований из 14 этапов.

Приведено описание комплекса моделей, описывающих трактор и внешнюю нагрузку силовой передачи серийного трактора и трактора с УДМ с заданием упругих, инерционных и демпфирующих параметров элементов. Выполнено математическое описание параметров возмущающих воздействий со стороны двигателя, муфты сцепления, главной передачи, ведущего моста,

колесного движителя, остова трактора, внешней нагрузки и элементов УДМ — планетарного редуктора, пневмогидроаккумулятора и дросселя демпфирующей части.

Приведено также описание комплекса математических моделей процесса функционирования трактора как системы «Двигатель-Силовая передача-Движитель-Внешняя нагрузка». Созданы математические модели трактора с серийной силовой передачей и с установленным УДМ. Предложены методики решения уравнений движения трактора, в том числе методики проведения вычислительных экспериментов для определения влияния конструктивных факторов упруго-демпфирующего механизма в силовой передаче трактора в агрегате с плугом, с культиватором и сеялкой на показатели его работы.

Предложена методика проведения оптимизационного синтеза совокупности параметров элементов конструкции при различных условиях работы трактора с упруго-демпфирующим механизмом в силовой передаче.

Листинги разработанных программ приведены в Приложениях к работе.

Выводы по главе объективно отражают обобщенные результаты выполненных разработок.

В четвертой главе приведено описание разработанной методики проведения экспериментальных исследований трактора.

Созданы схема и алгоритм экспериментальных исследований трактора при работе с основными технологическими машинами. Экспериментальные исследования режимов движения трактора (разгон и установившийся режимы) в составе с основным комплексом технологических машин проводились на различных фонах: бетонной полосе, на грунтовой дороге, на стерне и в поле, подготовленном к посеву.

Исследовался процесс функционирования колесного трактора тягового класса 1,4, в силовую передачу которого установлен УДМ. Нагрузка на крюке формировалась при помощи: тяговой лаборатории ТЛ-3, плуга ПЛН-3-35, культиватора КПС-4, сеялки СЗ-5,4А, транспортного прицепа ПТС-6 и тензометрической лаборатории ТЛ-2.

Описана методика проведения исследований по выявлению действия конструктивных факторов на показатели работы трактора на бетонном треке и в полевых условиях в агрегате с плугом, с культиватором, с сеялкой и с транспортным прицепом, в соответствии с которой определены оптимальные параметры УДМ в силовой передаче.

Представлены также методики:

- проверки математической модели на адекватность и сходимость результатов с использованием таких критериев как «коэффициент корреляции», «коэффициент Стьюдента» и «критерий Фишера»;

- проведения корреляционно-спектрального анализа результатов экспериментальных исследований;

- расчета на надёжность элементов силовой передачи.

Выводы по главе в целом отражают суть выполненных разработок.

В пятой главе представлены результаты выполненных автором теоретических исследований, в том числе:

- результаты проверки математической модели на адекватность и сходимость результатов;
- результаты проведения вычислительных экспериментов по оценке влияния УДМ в силовой передаче трактора на показатели его работы;
- результаты проведения вычислительных экспериментов по оценке влияния УДМ в силовой передаче трактора на показатели его работы в агрегате с плугом, культиватором и сеялкой;
- результаты проведения исследований методом оптимизационного синтеза совокупности параметров элементов конструкции при разных условиях работы трактора с УДМ в силовой передаче.

Выполнение расчетных исследований осуществлялось по программам, созданным в среде MATLAB. Произведен анализ результатов каждого из этих исследований, который в обобщенном виде отражен в Выводах по главе.

В шестой главе представлены результаты экспериментальных исследований трактора с серийной силовой передачей и с передачей с установленным УДМ при работе с основными технологическими машинами:

- результаты проведения натурных исследований по выявлению воздействия конструктивных факторов на показатели работы трактора на бетонном треке;
- результаты проведения полевых исследований, в том числе при агрегатировании трактора с плугом, с культиватором, с сеялкой и с транспортным прицепом.

Выполнен анализ результатов каждого из этих исследований, сформулированы выводы по каждому случаю.

Приведены результаты расчета на надёжность элементов силовой передачи (долговечность и безотказность).

Выполнена аппроксимация экспериментальных характеристик влияния устройства стабилизации динамических нагрузок в силовой передаче на функциональные свойства трактора с использованием методики анализа быстропеременного процесса. Аппроксимация проведена в среде MATLAB.

Рассмотрены результаты аппроксимации автокорреляционной функции и функции спектральной плотности процесса буксования трактора.

Рассмотрены также результаты аппроксимации функции взаимной спектральной плотности некоторых процессов опытного и серийного тракторов.

Автором в этой главе приведены также результаты оценки агротехнических показателей пахотного агрегата с УДМ и без УДМ, культиваторного и посевного агрегатов.

Выводы по 6 главе пространные, с множеством цифрового материала, подтверждающего практическую полезность представленных в главе разработок и исследований.

Седьмая глава посвящена оценке результатов исследований.

Автором выполнена технико-экономическая оценка эффективности применения опытной конструкции УДМ в силовой передаче трактора. Для этого:

- определены исходные данные для оценки эффективности применения модернизированной силовой передачи;
- выполнен расчет технико-экономических показателей.

Выполнена оценка эффективности применения УДМ в силовой передаче трактора находящегося в парке тракторов модельного хозяйства, для чего:

- приведены краткие сведения о модельном хозяйстве при определении экономической эффективности;
- представлены результаты расчета базового и нового вариантов.

Выводы по седьмой главе представляют в обобщенном виде суть и результаты выполненных исследований.

В Заключении по работе подробно представлены обобщенные результаты выполненных автором разработок и исследований, свидетельствующие о достижении цели работы и выполнении заявленных задач исследований.

Список литературы включает в себя 327 позиций, в том числе 67 позиций на иностранных языках, что свидетельствует о хорошей проработке автором современных российских и зарубежных научно-технических источников.

3. Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат соответствует материалу диссертации и отражает в обобщенном виде содержание и результаты выполненных автором разработок.

4. Публикации

Автором по результатам выполненных исследований опубликовано 46 научных работ, в том числе: 8 статей – в журналах, входящих в Russian Science Citation Index, Web of Science, Scopus; 15 статей в изданиях ВАК категорий К1 и К2; получено 7 патентов на изобретения и полезные модели, включая свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Таким образом, результаты выполненных автором исследований известны российской и зарубежной научной общественности.

5. Достоинства и недостатки работы

Достоинствами работы считаю следующие:

- автором выполнен беспрецедентно большой по объему и подробный анализ работ российских и зарубежных источников по теме диссертации, что

позволило определить цель и задачи работы в направлении дальнейшего совершенствования силовых передач тракторов;

- выполнен также впечатляющий объем теоретических разработок; создана по-возможности наиболее полная математическая модель трактора, включающая в себя модели основных нагруженных узлов и агрегатов и модель агрегатируемых орудий; с использованием модели выполнен расчетный анализ работы силовой передачи на разных режимах и при разном агрегатировании, позволивший получить подтверждение эффективности установки УДМ в силовую передачу;

- создан комплекс необходимого оборудования и выполнен ряд экспериментальных исследований; показавший, что трактор с установленным в силовую передачу УДМ обладает лучшими энергетическими показателями по сравнению с трактором с серийной силовой передачей, а также то, что динамическая нагруженность силовой передачи опытного трактора на тех же операциях ниже (по данным автора, в среднем на 16 %), чем у серийного, то есть и долговечность силовой передачи опытного трактора существенно выше;

- выполнена проверка адекватности используемых математических моделей с использованием статистических критериев;

- автором в составе коллектива получено 3 патента на технические решения УДМ, а на результаты работы получено аж 12 актов внедрения.

Среди недостатков можно отметить следующее:

- хотя автором большинство полученных числовых данных в результате расчетных исследований вынесено в Приложения, при составлении регрессионных уравнений для исследований методом оптимизационного синтеза совокупности параметров элементов конструкции при разных условиях работы трактора на страницах 246-253 диссертации приведено избыточное количество числовых данных для определения коэффициентов уравнений регрессии. Приведение числовых данных более уместно при решении инженерных задач.

6. Замечания по диссертации и автореферату

1. В названии диссертации недостаточно конкретно отображается суть выполненной диссертантом работы. Должно быть как-то расшифровано даже в названии, в чем заключается этот «комплексный научный подход». Основные теоретические и экспериментальные исследования автора направлены на изучение возможностей и эффективности использования в силовой передаче сельскохозяйственного трактора классической компоновки упруго-демпфирующего механизма (УДМ). Упоминание о нем в названии работы позволило бы получить более конкретное представление о сути работы.

2. В тексте диссертации достаточно часто нарушаются правила пунктуации в части, касающейся расстановки запятых – они отсутствуют в тех местах, где должны быть, а присутствуют там, где не нужны.

3. В ряде случаев использованы выражения, в которых значения одних понятий подменяются другими, например:

– на странице 113 диссертации указано: «Значения точек пересечения собственных частот с частотами вращения коленчатого вала ... показало...». То же про точки и на страницах 120 и 128. Пересекаться могут графики функций, но не точки;

– на странице 114 диссертации указано: «Определение коэффициента динамичности показало, что имеются комплексные числа у некоторых масс ...». Массы, имеющие комплексные числа?

– на странице 265 диссертации указано: «Характер протекания спектральной плотности опытного трактора свидетельствует о ...». Сама по себе спектральная плотность не может протекать.

– на странице 266 диссертации указано: «Рисунки 67 и 68 показывают, что корреляция между частотой вращения коленчатого вала двигателя и ведущим колесом в опытном варианте стремится к нулю». Какая корреляция может быть между частотой вращения и колесом?

4. Допущен сбой в нумерации рисунков – на странице 110 диссертации за рисунком под номером 2.10 следует рисунок под номером 2.8.

Так же и в Выводах по 1-й главе – за выводом под номером 12 идет вывод под номером 7.

5. На странице 101 диссертации указано: «...общая формула определения коэффициента I_i будет иметь вид (2.10). А формула (2.10) определяет получение коэффициента I_k .

6. В таблицах 2.11 и 2.12 вместо табличных данных приведены графики.

7. В таблицах 2.13 и 2.14, 2.26 и 2.27, а также на рис. 2.11* и 2.12 в качестве единицы измерения частоты вращения вала двигателя $\omega_{дв}$ использовано «рад/с». Лучше было бы показать либо в «Гц», либо в «об/мин» – так гораздо понятнее.

8. Собственный частотный спектр силовой передачи является ее важнейшей характеристикой, на основе которой определяется возможность появления резонансных нагрузочных режимов в эксплуатации. Значение каждой собственной частоты ее колебаний зависит от инерционных и жесткостных параметров каждого элемента модели. Автором в таблицах 2.1 и 2.2 приведены значения моментов инерции масс силовых передач тракторов класса 0.6, 0.9 и 1.4 и крутильной жесткости их связей. Также в таблицах 2.17, 2.30, а в Приложении Б приведены значения моментов инерции всей силовой передачи (что это?) и ее отдельных элементов, а также значения крутильной податливости связей между ними. Нигде не указано, как получены эти значения – определены расчетным или экспериментальным путем либо откуда-то позаимствованы? Между тем от точности определения этих параметров элементов силовой цепи зависит точность определения значений собственных частот.

9. Во 2-й главе описан использованный автором способ определения частот и форм собственных колебаний масс моделей силовых передач

матричным методом. Это чрезвычайно сложный, громоздкий и неудобный метод. В инженерной практике наиболее распространены методы Толле, Терских, Хольцера и др., которые легко поддаются алгоритмизации и позволяют выполнять то же самое с трудоемкостью, в десятки раз меньшей. Имеются также созданные на их основе готовые программы для компьютера, в том числе в ВолгГТУ.

10. На странице 102 диссертации указано: «При исследовании крутильной системы необходимо учитывать сопротивление движению элементов системы, то есть силы трения, вызывающие рассеивание (диссипацию) энергии, что в свою очередь, приводит со временем к уменьшению амплитуд колебаний». Далее все выкладки (формулы 2.13 – 2.27) не включают в себя параметров диссипации.

11. На странице 105 диссертации приведена формула (2.28) для поиска резонансных частот колебаний масс силой передачи. В соответствии с этой формулой, условием резонанса является совпадение одной из собственных частот колебаний системы силовой передачи с одной из гармонических составляющих крутящего момента двигателя. Но, кроме двигателя, на силовую передачу действует также множество динамических (в том числе периодических) возмущений с высокими амплитудами со стороны ходовой системы и агрегатируемой машины, с частотами которых также могут совпадать собственные частоты колебаний системы силовой передачи. При этом интенсивность резонансных явлений может быть выше, чем при возмущениях от двигателя.

12. На графиках рис. 2.10 и 2.23 приведены формы колебаний, причем при колебаниях с первой собственной частотой ω_1 форма колебаний получается двухузловая, а при колебаниях со второй собственной частотой ω_2 – одноузловая. Такая же картина и на графиках, приведенных в Приложении Б. В соответствии с теорией колебаний должно быть наоборот – первой собственной частоте соответствует одноузловая форма, второй – двухузловая.

13. Вывод под номером 3 в Выводах по главе 3 содержит общеизвестную информацию, которая не получена автором лично.

7. Заключение

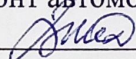
Перечисленные выше замечания не снижают в целом высокий научный уровень и положительную оценку представленной на отзыв диссертации. По актуальности темы, постановке и решению задач исследований, новизне научных результатов и их практической значимости диссертация соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней и является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены новые научно обоснованные технические решения по совершенствованию силовых передач колесных сельскохозяйственных тракторов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие сельскохозяйственного тракторостроения и сельского хозяйства Российской Федерации.

По своему содержанию и наполнению диссертация соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842. Автор диссертационной работы, Сенькевич Сергей Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент,

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры

«Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей» ВолгГТУ

 Виктор Викторович Шеховцов

400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28. Волгоградский государственный технический университет.

E-mail: shehovtsov@vstu.ru

Тел (8442)-24-81-16

Докторская диссертация Шеховцова В.В. по специальности
05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

