ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента, заведующегокафедрой автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО«Воронежский государственныйлесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» Прядкина ВладимираИльича 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 поспециальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки) в диссертационный совет 35.2.008.01, созданный на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ)

1. Актуальность темы диссертации

В Стратегии развития сельского хозяйства России на период до 2030 года ведущее место отводится инновационной модернизации отрасли. При этом основным фактором повышения эффективности сельского хозяйства является внедрение современных технологий на базе высокоэффективной сельскохозяйственной техники.

Современные тракторы сельскохозяйственного назначения характеризуются высокой энергонасыщенностью и повышенными рабочими скоростями, что приводит к возрастанию интенсивности динамических процессов в агрегатах и узлах силовой передачи. В этих условиях особую актуальность принимает проблема снижения динамической нагруженности как основных узлов и агрегатов, так и трактора в целом. Одним из путей снижения динамической нагруженности является применение упругодемпфирующих механизмовв силовой передаче. Совершенствование тракторов таким способом позволяет не только повысить общий ресурс трактора, но и снизить буксование движителей и их давление на почву, а также улучшить условия труда оператора.

Факторы функционирования тракторов в составе машинотракторных агрегатов отличаются высокой вариативностью. Элементы силовой передачи трактора работают в условиях действия высоких циклических нагрузок, вызванных резким переменным характером режима работы, значительной величиной передаваемых крутящих моментов, а также другими случайными факторами.Специфика и непредсказуемость рабочих режимов обуславливают необходимость применения комплексных теоретико-экспериментальных методов при модернизации и совершенствовании силовых передач.

Проведенные автором исследования выполнены по плану научно-исследовательской работы ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в рамках государственного задания иполностью вписываются в тематику приоритетных направлений РАН.

В связи с этим, диссертационная работа Сенькевича Сергея Евгеньевича, посвященная повышению 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, является актуальной, своевременной, и имеет важное хозяйственное значение для всей тракторной отрасли страны.

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

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов ирекомендаций, сформулированных соискателем, подтверждается применением методологии и методов исследований. Всё это представлено в комплексе эмпирических и теоретических научных исследований. Теоретические методы исследования включали в себя постановку проблемы, построение гипотезы, анализ, синтез, конкретизацию и обобщение

полученных научных фактов об исследуемых процессах функционирования колесного трактора, в силовую передачу которого установлено устройство для изменения динамических характеристик всего трактора. Автор применил теоретические разработки, были использованы методы аналитической динамики, системного анализа, теории вероятностей, математической статистики и обработки информации, методы математического программирования.Теоретико-аналитические исследования выполнены с использованием известных положений теории колёсных и гусеничных машин, теоретической и прикладной механики, теории колебаний, гидромеханики, теории планирования эксперимента, позволяющие определить закономерности формирования возмущающих воздействий, оценки динамических характеристик крутильно-колебательной системы силовой передачи трактора в реальных условиях эксплуатации. Разработанный эмпирический метод исследований опирался на использовании усовершенствованной методики испытания трактора и методов планирования многофакторных экспериментов. Основные расчеты и обработка результатов экспериментов выполнялась с использованием пакета прикладных программ для ЭВМ.

В работе соискатель продемонстрировал углубленное понимание темыи аргументированно предоставил научные результаты. Обоснованность идостоверность выводов обеспечивается корректной постановкой задач, использованием современных методоврасчета, а также разработанного теоретического метода и согласованностью результатов теоретических и экспериментальных данных.

Итоги диссертационной работы обобщены взаключении, где автором сформулировано двенадцать выводов как результаты решения поставленных при исследовании всех задач. Также даны рекомендации и перспективы дальнейших исследований. Все общие выводы достоверны и обоснованы содержащимися в основных главах диссертационной работы результатами

теоретических и экспериментальных изысканий соискателя, а также соответствуют рассматриваемой проблеме, целям и задачам исследований.

Вывод 1 подтверждает целесообразность снижения динамической нагруженности как отдельных элементов конструкции, так и трактора в целом. Вывод основан на проведенном анализе научно-технической информации, а также различных известных подходов снижения динамической нагруженности и эффективности их реализации.

Вывод соответствует первой задаче исследований, корректно её формулирует, подтверждает достоверностьс учетом опыта предшественников.

Вывод 2 обобщает сведения о научно-исследовательских методах и технических решениях совершенствования силовых передач, включая устройства для изменения динамических характеристик. Автор разработал новую классификацию применяемых систем демпфирования крутильных колебаний и динамических нагрузок, а также к созданию на ее основе нового упругодемпфирующего механизма (защищенного патентом).

Вывод соответствует первой задаче исследований и обладает новизной.

Вывод 3 основан на теоретическом обосновании методов совершенствования тракторов моноблочной компоновки сельскохозяйственного назначения. Автор доказал, что установка упруго-демпфирующего механизма эффективно снижает резонансный отклик колебательной системы трактора в зависимости от тягового класса (и колеблется от 30% до 58%).

Вывод соответствует второй задаче исследований и обладает новизной.

Вывод 4 доказывает, что для снижения динамической нагруженности тракторов и повышения надежности их элементов конструкции необходима установка упруго-демпфирующего механизма. Это позволило изменить частоты собственных колебаний тракторов различных тяговых классов (от 33% до 60%).

Вывод соответствует второй задаче исследований и обладает новизной.

Вывод 5 опирается разработанный метод и алгоритм исследования динамических процессов, обеспечивающий синтез совокупности различных режимов и условий работы колесного трактора на базе комплексного научного подхода.

Разработанный метод исследований динамических процессов, проведенных с применением специально разработанной программы, базирующейся на применении метода неопределенных множителей Лагранжа (метод нелинейного математического программирования) позволил осуществить синтез различных режимов и условий работы колёсного трактора с механической силовой передачей, на примере трактора моноблочной компоновки, в конструкции силовой передачи которого установлено устройство для изменения динамических характеристик (упруго-демпфирующий механизм), при агрегатировании с основными технологическими машинами. Полученные результаты исследований динамических процессов, показали снижение динамической нагруженности двигателя в среднем до 32%.

Разработанный метод обладает научной новизной и отличается от традиционно принятых. Вывод соответствует третьей задаче исследований и обладает новизной.

Вывод 6 показывает, что автор, решая четвертую задачу исследований получил векторно-целевую функцию оптимизации модифицированной колебательной системы колесного трактора с компонентой изменения динамических характеристик в конструкции силовой передачи. Осуществленный синтез различных режимов и условий работы трактора позволил сформировать исходные данные для построения векторно-целевой функции (компромиссно-оптимальной модели), с помощью которой определены физические значения конструктивных параметров устройства для изменения динамических характеристик.

Вывод соответствует четвертой задаче исследований и обладает новизной.

Вывод 7 получен на основе разработанной методики и алгоритма экспериментальных исследований динамики движения колесного трактора. Проведенный автором анализ полученных вероятностных характеристик экспериментальных данных показал общее снижение нагрузки на конструктивные элементы силовой передачи трактора. Экспериментальные исследования доказали снижение силы тягового сопротивления в среднем до 8,5%, снижение буксования движителей – до 7,2%, что позволило увеличить производительность в среднем на 8%.

Вывод соответствует пятой задаче исследований и обладает новизной.

Вывод 8 даёт оценку согласованности теоретических и практических результатов исследований. Автор выполнил анализ вероятностных характеристик динамической нагруженности и надежности элементов конструкции, при установившихся и неустановившихся режимах движения в рамках комплексного научного подхода к исследованию динамических процессов колесного трактора сельскохозяйственного назначения.

Автор аппроксимировал функциональные зависимости автокорреляционной функции и функции спектральной плотности процессов буксования, с помощью Гауссовой функции и функции Фурье преобразования. Они обладают коэффициентом детерминации 0,95 и выше, полиномом третьей степени автор аппроксимировал, функциональные зависимости взаимной спектральной плотности процессов изменения угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя иугловой скорости вращения ведущего колеса. Эти зависимости обладают коэффициентом детерминации 0,88 и выше.

Вывод соответствует шестой задаче исследований и обладает новизной.

Вывод 9 доказывает, что долговечность элементов конструкции силовой передачи трактора, оснащенного упруго-демпфирующим механизмом, в среднем в 2,5 раза выше, чем у аналогичных элементов конструкции серийного трактора. Вывод доказывает, что установка упруго-

демпфирующего механизма в силовую передачу трактора повышает безотказность работы более чем на 21%.

Вывод соответствует шестой задаче исследований и обладает новизной.

Вывод 10 констатирует тот факт что расчетно-теоретические и экспериментальные исследования тракторов позволили оценить снижение динамической нагруженности элементов конструкции и рассчитать экономическую эффективность применения упруго-демпфирующего механизма как устройства для совершенствования силовых передач сельскохозяйственных тракторов моноблочной компоновки.

Вывод соответствует седьмой задаче исследований.

Вывод 11 основан на оценке технико-экономическойэффективности применения устройства изменения динамических характеристик силовой передачи для улучшения характеристик одной машины. Эта оценка показывает, что применение опытного трактора позволяет получить экономию эксплуатационных издержек за год в размере 208076,80 руб., срок окупаемости дополнительных инвестиций составляет 0,68 года.

Вывод соответствует седьмой задаче исследований и обладает новизной.

Вывод 12 основан на полученном расчете экономической эффективности для парка тракторов, который был выполнен с использованием алгоритмо-программного комплекса, базирующегося на симплекс-методе с целочисленным модулем. Расчет показал, что экономия эксплуатационных затрат за полевой сезон работы составила 1950,7 тыс. руб. Размер чистого дисконтированного дохода в новом варианте составил 4231,9 тыс. руб., что в расчете на гектар пашни составило – 423,2 руб. Срок окупаемости проекта 3,5 года при ставке дисконта 0,85 и внутренней норме доходности – 27,8%.

Вывод соответствует седьмой задаче исследований и обладает новизной.

3. Научная новизна и практическая ценность полученных результатов диссертационной работы

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- Впервые представлена системная классификация устройств стабилизации и демпфирования динамических нагрузок, отличающаяся иерархией конструктивных признаков и топологией их размещения в конструкции трактора моноблочной компоновки с учетом зависимости эффективности демпфирования колебаний от пространственной удаленности механизмов относительно источников возмущения.

- Научно обоснован принцип адаптивной стабилизации динамических нагрузок трактора в составе агрегата, отличающийся активным управлением параметрами жесткости и инерционности силовой передачи в реальном времени (патент №2739100), для направленного изменения собственных частот привода в дополнение к демпфированию.

- Сформулирован комплексный научно-методический подход к стабилизации динамических нагрузок колесных тракторов моноблочной компоновки, отличающийся применением поиска единого оптимального решения для широкого спектра стохастических режимов работы трактора в составе агрегата и обеспечением математической инвариантности параметров адаптивного механизма к вариативности внешней нагрузки.

- Разработан метод оптимизационного синтеза конструктивных параметров устройства изменения динамических характеристик силовой передачи, отличающийся применением аппарата математического программирования для поиска седловых точек функции Лагранжа, устанавливающий закономерности между конструктивными параметрами устройства и динамическими характеристиками силовой передачи трактора моноблочной компоновки в условиях эксплуатационных ограничений.

- Разработана комплексная расчетно-экспериментальная методика исследования динамики трактора в составе агрегата, отличающаяся интеграцией алгоритмов спектрального анализа в процесс обработки

тензометрических данных для прямой идентификации параметров силовой передачи в условиях стохастического нагружения.

- Закономерности изменения динамических характеристик силовых передач тракторов моноблочной компоновки, устанавливающие аналитическую зависимость между параметрами применяемых адаптивных упруго-демпфирующих механизмов и частотным спектром внешнего воздействия, отличающиеся учетом взаимного влияния переменной жесткости связи и стохастической структуры нагрузки на установившихся и неустановившихся режимах движения.

- Научно обоснованная совокупность критериев технико-экономической эффективности применения адаптивных систем стабилизации и демпфирования динамических нагрузок, отличающаяся установленной количественной связью между снижением уровня вибронагруженности силовой передачи и параметрами надежности элементов силовой передачи трактора, находящегося в составе МТА в условиях интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Практическая ценность результатов заключается в следующем:

- Устройство изменения динамических характеристик и совершенствования силовых передач трактора на основе разработанных технических решений защищённых патентами РФ на изобретения (№2398147, №2299135, №2252148, №2222440, №83458, №2020619748, № 2739100);

- Расчетно-экспериментальная методика исследований динамических процессов при работе трактора, позволяющая получить новые научные результаты для совершенствования силовых передач и полнокомплектной машины в целом на стадии проектирования и модернизации.

- Результаты и методологические основы в виде методических рекомендаций по исследованию тягово-сцепных свойств и динамических процессов тракторов различных тяговых классов используются тракторными заводами, Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики

Дагестан, а также в учебном процессе для студентов инженерных специальностей и для слушателей повышения квалификации кадров инженерных специальностей.

Исходя из вышеизложенного, диссертационная работа обладает научной новизной и практической значимостью. Это подтверждается использованием результатов работы при совершенствовании силовых передач колесных тракторов моноблочной компоновки тягового класса 0,6-1,4 при оценке оптимальных упруго-демпфирующих иинерционно-массовых характеристик ряда тракторов, разрабатываемыхв ОАО «МТЗ» Республика Беларусь, в ООО «МИКОНТ», на заводе ООО «Трактор» города Еманжелинск, в ООО «Агросервис» Ставропольского края, результаты исследований переданы и используются Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Дагестан, а также в учебном процессе ведущих агроинженерных ВУЗов.

Результаты работы и эффективность примененной упруго-демпфирующего механизма как средства совершенствования тракторов сельскохозяйственного назначения подтверждается семью патентами на изобретения и полезные модели, включая свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

4. Оценка содержания диссертационной работы и ее завершенность

Диссертационная работа изложена на 466 страницах, состоит из введения, семи глав, иллюстрированных 156 рисунками и включающих 97 таблиц, заключения, списка литературы из 387 наименований и содержит 9 приложений. На заимствованные материалы и работы, выполненные в соавторстве, сделаны соответствующие ссылки.

Во введении отражена актуальность проблемы исследования, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи научных исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, а также изложены положения,

выносимые на защиту, в том числе степень достоверности и апробацию результатов.

В первой главе выполнен обзор, общий анализ состояния отрасли производства тракторов, состояние функционирования трактора и рабочей машины в условиях колебаний тяговой нагрузки, исследованы проблемы и перспективы отрасли, намечены пути улучшения условий функционирования трактора и рабочей машины, приведены устройства для улучшения условий функционирования трактора и рабочей машины.

Во второй главе разработана классификация систем стабилизации и демпфирования динамических нагрузок, включая уменьшения крутильных колебаний, приведено описание схемы и работы предложенного упруго-демпфирующего механизма, определены частоты и формы собственных крутильных колебаний силовой передачи тракторов класса тяги 0,6т, класса тяги 0,9т и класса тяги 1,4т.

В третьей главе изложен метод и алгоритм теоретических исследований проведения оптимизационного синтеза совокупности параметров элементов конструкции при разных условиях работы трактора, базирующийся на основе математического метода нелинейного программирования (метод неопределённых множителей Лагранжа). Приведена методика решения системы уравнений движения и методика проведения вычислительных экспериментов для определения влияния конструктивных факторов упруго-демпфирующего механизма в силовой передаче трактора в составе с основными технологическими машинами. Приведена последовательность проведения исследований методом оптимизационного синтеза совокупности параметров элементов конструкции при различных условиях работы трактора, базирующийся на получении оптимального решения.

В четвёртой главе приведена методика и алгоритм экспериментальных исследований, описаны условия проведения экспериментальных исследований и объект исследований; подробно описана измерительная

аппаратура и комплект первичных преобразователей; приведена методика проведения исследований по выявлению действия конструктивных факторов на показатели работы трактора на бетонном основании; приведена методика проведения полевых исследований трактора в составе с плугом, с культиватором, с сеялкой и с транспортным прицепом; приведена методика проверки математической модели на сходимость результатов и методика проведения корреляционно-спектрального анализа результатов экспериментальных исследований, также определена точность измерений, методика расчета на долговечность элементов силовой передачи вследствие снижения динамической нагруженности.

В пятой главе приведены результаты исследований методом оптимизационного синтеза совокупности параметров элементов конструкции при разных условиях работы трактора с упруго-демпфирующим механизмом в конструкции силовой передачи на основе метода неопределенных множителей Лагранжа, как элемента математического метода нелинейного программирования. Проведены расчеты на математической модели и решение задач оптимизации, а также результаты решения задач оптимизации.

В шестой главе приведены результаты экспериментальных исследований трактора при работе с основными технологическими машинами. Глава содержит результаты проведения натурных исследований по выявлению воздействия конструктивных факторов на показатели работы трактора на бетонном основании, в полевых условиях при агрегатировании трактора с плугом, культиватором, сеялкой и транспортным прицепом, приведены результаты расчета на долговечности элементов силовой передачи, а также аппроксимация экспериментальных характеристик влияния устройства стабилизации динамических нагрузок в силовой передаче на функциональные свойства трактора.

В седьмой главе приведены технико-экономический расчет эффективности совершенствования одной машины и расчет эффективности

применения устройства для изменения динамических характеристик силовой передачи при совершенствовании парка тракторов модельного хозяйства.

Технико-экономическая эффективность применения устройства для улучшения динамических характеристик силовой передачи одной машины, позволяет получить годовой экономический эффект в размере 567504,70 руб., срок окупаемости дополнительных инвестиций – 0,68 года.

Применение парка усовершенствованных тракторов находящихся в составе агрегата и работающих в южной подзоне Ростовской области позволит получить чистый дисконтированный эффект в размере 437 млн. руб. Срок окупаемости проекта – 3,5 года.

Все разделы завершаются выводами, отражающими основное содержание работы.

В заключении представлены основные результаты работы, отвечающие поставленной цели и поставленным задачам исследования. В приложении имеются материалы теоретических и экспериментальных исследований, а также акты внедрения.

Автореферат выполнен в соответствии с установленными правилами и полностью отражает научные положения диссертационной работы. Опубликованные научные работы содержат основные положения и научные результаты диссертации, выносимые на защиту.

5. Замечания по работе

1. Соискатель подробно и уважительно рассмотрел опыт предшественников, поэтому первая глава имеет завышенный объем (более 60 стр.). На мой взгляд, следовало бы сократить некоторые подразделы в главе.

2. Требует пояснения, в чем заключается методология модернизации и полная реализация комплексного подходак стабилизации динамических нагрузок колесных тракторов моноблочной компоновки?

3. В общей характеристике работы соискателем приведены научная и рабочая гипотезы. В связи с этим требует пояснения, в чем их различие и какова необходимость в дополнительной формулировке рабочей гипотезы.

4. В главе 3 приведена математическая модель трактора оборудованного упруго-демпфирующим механизмом в трансмиссии(формулы 3.61), однако оценка адекватности данной модели не представлена.

5. В пункте 4 заключения соискатель указывает, что установка упруго-демпфирующего механизма позволило изменить собственные частоты колебаний трактора тягового класса 1,4 до 60%. Однако, количественная оценка данных частот не приведена, не указано в какую сторону произошло смещение частот в сторону низких или высоких.

6. В пункте 6 заключения соискателем сделан вывод, что в результате оптимизации выбранных параметров упруго-демпфирующего механизма удалось снизить колебания в силовой передаче на 30%. Однако из рис. 5.20 не ясно по каким критериям был обоснован оптимальный объем пневмогидравлического аккумулятора. Также требует пояснения, по каким критериям были выбраны другие параметры упруго-демпфирующего механизма – это площадь сечения дросселя и давление заправки пневмогидравлического аккумулятора.

7. В выводе 9 по главе 6 (стр. 323) показано, что установка упруго-демпфирующего механизма в силовую передачу трактора повышает безотказность опытного трактора более чем на 21%. Однако никаких сравнительных подтверждающих результатов исследований не представлено, что делает этот вывод не до конца обоснованным.

8. В заключении соискатель рекомендует разработчикам при проектировании силовых передач тракторов моноблочной компоновки тяговых классов 0.6, 0.9 и 1.4 производить подбор параметров жесткости и демпфирования упруго-демпфирующего механизма по компромиссно-оптимальной модели, представляющей собой математическое описание условий работы трактора, а также с учетом конструктивных параметров

упруго-демпфирующего механизма. Однако, в работе и в приложениях численное значение параметров жесткости и демпфирования упруго-демпфирующего механизма не приведено.

9. По тесту диссертации имеются неудачные формулировки и опечатки, на отдельных графиках отсутствуют размерности на осях.

6. Заключение

Диссертационная работа Сенькевича Сергея Евгеньевича, выполненная на тему: «Совершенствование силовых передач колесных сельскохозяйственных тракторов путем комплексного научного подхода», представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения по совершенствованию силовых передач колесных сельскохозяйственных тракторов, имеющие существенное значение для развития сельского хозяйства нашей страны.

Предложенный комплексный научный подход к теоретическим и экспериментальным исследованиям для создания функциональной целостности совершенствования тракторов посредством изменения динамических характеристик силовых передач с целью стабилизации динамических нагрузок в широком диапазоне подтвердил свою эффективность.

Предлагаемые мероприятия по совершенствованию силовых передач приводят к снижению вредного воздействия от динамических нагрузок. Установка упруго-демпфирующего механизма не требует существенных конструктивных изменений силовой передачи трактора, но улучшает показатели производительности и условия труда оператора.

Совокупность новых, научно обоснованных решений обладает теоретической и практической значимостью для развития колесных тракторов для отечественного сельскохозяйственного машиностроения.

Диссертационная работа отвечает направлениям исследований паспорта научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование

для агропромышленного комплекса(технические науки), изложенных в пунктах 5, 6, 9, 14, 15, 16 и 20, соответствует критериям,изложенным в пунктах 9, 10, 11, 12, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства России №842 от 24.09.2013 г., а ее автор Сенькевич Сергей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степенидоктора технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины иоборудование для агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент: доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» Прядкин Владимир Ильич

Место работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»)
Структурное подразделение	Кафедра автомобилей и сервиса
Почтовый адрес	394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8
Официальный сайт	https://vgltu.ru
Телефон	8(473)253-78-47
e-mail	vip16.vgltu@mail.ru

Подпись Прядкина В.И. удостоверяю
26.08.2026 г.