

В диссертационный совет 24.2.437.09  
ФГБАОУ ВО «Южно-Уральский  
государственный университет (НИУ)»,  
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76

### **Отзыв официального оппонента**

Беляева Александра Николаевича, доктора технических наук, доцента,  
на диссертационную работу Жакова Андрея Олеговича на тему:  
«Оценка курсовой устойчивости прямолинейного движения гусеничного  
трактора путем учета силового влияния со стороны рабочего орудия»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства  
и комплексы

#### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Возрастающие в настоящее время требования к техническим, эксплуатационным, эргономическим показателям сельскохозяйственных тракторов требуют, в том числе, и сохранения устойчивости движения машинно-тракторного агрегата при выполнении технологических операций.

Известные исследования устойчивости прямолинейного движения машинно-тракторного агрегата, как правило, выполнены для отдельного трактора, без учета влияния рабочего оборудования. Между тем, внецентренное тяговое сопротивление, действующее на трактор со стороны рабочих органов, является причиной его постоянного неуправляемого отклонения от заданной курсовой траектории.

На основании вышеизложенного, тема диссертации Жакова А.О. «Оценка курсовой устойчивости прямолинейного движения гусеничного трактора путем учета силового влияния со стороны рабочего орудия» является актуальной, так как посвящена исследованию влияния и поиску путей корректировки силового воздействия со стороны рабочего орудия на устойчивость движения машинно-

тракторного агрегата, что будет способствовать повышению производительности труда, улучшению условий работы оператора, как управляющего звена, сохранению физико-механических свойств почвы, снижению расхода топлива и динамических нагрузок на детали и узлы трансмиссии и двигателя.

### **Общая характеристика, структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка, содержащего 176 источников, и двух приложений. Диссертация изложена на 114 страницах машинописного текста, включает 61 иллюстрацию, 17 таблиц, 48 формул.

Содержание диссертации построено в логической последовательности, научное изложение грамотное. Оформление и структура диссертации соответствуют требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

**Во введении** обоснована актуальность темы, показана научная новизна и практическая значимость работы, приведены сведения об апробации, реализации и структуре диссертации, поставлены цель и задачи исследования.

**В первой главе** проведён обзор актуальных исследований по теме диссертации, показаны методики исследования криволинейного движения гусеничных машин, описаны существующие подходы для описания силовых факторов в контакте гусеничного движителя с грунтом, а также рассмотрены конструктивные инженерные решения в области неуправляемого отклонения тракторного агрегата от заданного прямолинейного направления движения.

**Во второй главе** представлена математическая модель движения гусеничного трактора с управляемым прямолинейным движением и неуправляемым криволинейным отклонением за счет внешней внецентренной силы со стороны рабочего орудия. За основу описания сил в контакте гусеничного движителя с грунтом принята теория трения, модернизация которой позволяет определить значение радиуса кривизны в зависимости от внешней сдвигающей силы. В ре-

зультате построены силовой годограф предельной внешней силы и прогнозируемые траектории движения.

**Третья глава** посвящена экспериментальным исследованиям предельного силового равновесия агрегата. В результате испытаний по сдвигу гусеничного трактора Т-10 в различных направлениях проведено сравнение теоретического и практического годографов предельной сдвигающей силы.

**Четвёртая глава** посвящена экспериментальным исследованиям курсовой устойчивости машинно-тракторного агрегата под действием внешней внецентренной силы. В результате опытов производился замер траекторий движения, что позволило оценить адекватность разработанной математической модели.

**В пятой главе** представлены рекомендации и техническое решение, позволяющие производить оценку траектории движения и в перспективе моделировать систему управления движением гусеничной машины. Эти рекомендации и техническое решение внедрены в производство.

Выполнены расчёты траекторий движения для машинно-тракторных агрегатов с оборотными плугами. Приведена конструкция тензометрической рамы, позволяющая контролировать значения внешней силы со стороны рабочего орудия. Посредством разработанного программного комплекса проведена оценка неуправляемого отклонения гусеничного тракторного агрегата от прямолинейного курса при выполнении технологических операций.

**В заключении** приведены выводы по результатам исследований, рекомендации по использованию результатов, перспективы дальнейшей разработки темы.

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

Соискатель изучил и проанализировал теоретические и практические разработки других исследователей в области повышения устойчивости движения

колесных и гусеничных машин, что подтверждается ссылками на источники информации, представленные в списке литературы (176 наименований), большая часть которых – это актуальные научные статьи.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается теоретическими исследованиями движения машинно-тракторного агрегата, построенными с применением фундаментальных положений теоретической механики, теории трения, а также экспериментальными исследованиями, выполненными с применением сертифицированных измерительных приборов.

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается методологической базой, обеспечивающей воспроизводимость результатов исследований, проведением системного анализа решаемых задач, использованием современных средств вычислительной техники и программного обеспечения, поверенных измерительных приборов, выполненными оценками по критериям Стьюдента и Пирсона, обоснованностью принятых допущений, а также качественным и количественным совпадением теоретических результатов с результатами экспериментальных исследований, результатами внедрения в производство, а также обсуждением основных положений и результатов диссертации на научных конференциях.

Результаты диссертационной работы используются ООО «Челябинский компрессорный завод» и ООО «Завод буровой техники» при совершенствовании существующих и разработке новых систем управления тракторных агрегатов.

Статьи, опубликованные по теме диссертации, получили положительные отклики в научной общественности.

Соискателем в диссертационной работе в результате проведения теоретических исследований разработаны математическая модель для определения силовых факторов в контакте движителя с грунтом на основе теории трения путем учёта анизотропии и упругих свойств грунта и математическая модель движения гусеничного тракторного агрегата с учетом неуправляемого отклонения от заданного прямолинейного движения за счет действия внешних сил со

стороны рабочего оборудования, дополняющие теорию устойчивости движения гусеничных машин.

Экспериментальные исследования неуправляемого движения машинно-тракторного агрегата при внецентренном действии тяговой нагрузки позволили впервые получить значения предельной сдвигающей силы в зависимости от линии ее действия.

В диссертации и опубликованных работах приведены новые научные результаты по специальности 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.

### **Значимость полученных результатов для практики и науки**

Практическая значимость диссертационного исследования подтверждена внедрениями в ООО «Челябинский компрессорный завод» и ООО «Завод буровой техники» программных комплексов (свидетельства Российской Федерации о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610824 и № 2020615467) для расчета значений предельной сдвигающей силы и траектории движения машинно-тракторного агрегата с учетом действия внешней внецентренной силы.

Представлены практические рекомендации и технические решения (имеются акты внедрения в производство), позволяющие производить оценку траектории движения и в перспективе моделировать систему управления движением гусеничной машины.

Теоретическая значимость заключается в разработке математической модели движения гусеничного машинно-тракторного агрегата с учетом неуправляемого отклонения от прямолинейного курса под действием внешних сил со стороны рабочего орудия; совершенствовании описания силового взаимодействия гусеничного движителя с грунтом на основе теории трения за счет учёта анизотропии и упругих свойств грунта; обосновании методики расчёта бокового отклонения машины и предельного значения внешней сдвигающей силы.

### **Анализ публикаций автора по теме исследования**

По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе: три статьи в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, четыре статьи в зарубежных изданиях, индексируемых в базе Scopus, и два свидетельства Российской Федерации о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **Соответствие автореферата диссертации**

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации и её результаты, охватывает все разделы и отвечает действующим требованиям. Оформление и структура автореферата соответствуют требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

### **Соответствие паспорту научной специальности**

Диссертационная работа Жакова Андрея Олеговича «Оценка курсовой устойчивости прямолинейного движения гусеничного трактора путем учета силового влияния со стороны рабочего орудия» соответствует паспорту научной специальности 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы, в частности пунктам:

пункт 3 «Экспериментальные исследования и испытания транспортно-технологических средств и их комплексов, а также отдельных систем, агрегатов, узлов, деталей и технологического оборудования»;

пункт 5 «Математическое моделирование рабочих процессов транспортно-технологических средств, в том числе в их узлах, механизмах, системах и технологическом оборудовании при взаимодействии с опорной поверхностью и с рабочими средами (объектами)»;

пункт 7 «Процессы взаимодействия с рабочей средой механизированного навесного, прицепного и другого технологического оборудования наземных транспортно-технологических средств и их комплексов».

### **Замечания по диссертации**

1. Наименования некоторых глав и пунктов диссертации не раскрывают суть рассматриваемых в них вопросов. Например, 1. Состояние вопроса; 1.2. Анализ предшествующих исследований; 2. Теоретические исследования; 2.4. Уравнения движения.

2. Пункты 2 и 3 задач исследования можно объединить.

3. Не указаны размерности величин при их расшифровке в формулах.

4. На с. 33 автор пишет: «Замена двойного интеграла (2.17) на одинарный (2.18) значительно упрощает решение задачи (сокращает время вычислений)». Для используемого автором современного программного пакета MathCad вопрос сокращения времени на решение задач любой сложности не актуален.

5. При моделировании движения трактора тяговое усилие принято постоянным. Данное допущение требует обоснования.

6. Не в достаточном объеме определены и представлены физико-механические характеристики почвы.

7. Не обоснован выбор рабочего оборудования для проведения экспериментальных исследований.

8. Не понятно, на чем основан выбор рабочих скоростей агрегата.

9. Разработанная конструкция тензометрической установки не подтверждена правообладателями документами.

10. Автор заявляет о повышении производительности и снижении расхода топлива, но не приводит их прогнозируемые численные результаты, по которым можно было бы оценить экономический эффект от использования результатов проведенных исследований.

11. Пункт 4 заключения громоздкий.

Данные замечания не снижают научной и практической значимости полученных соискателем результатов.

