

Ученому секретарю
диссертационного совета
Д 212.298.09

454080, г. Челябинск
пр. им. В.И. Ленина, 76

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Карпова Егора Константиновича

**«Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины на
основе перераспределения во времени управляющих силовых
воздействий»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины

Общие тенденции развития современных гусеничных машин на сегодня таковы, что для дальнейшего роста их эксплуатационных показателей требуется автоматизация рабочих процессов управления движением. Увеличение удельной мощности силовых установок современных гусеничных машин обеспечивает повышение их потенциальных скоростных показателей. Однако в реальных дорожных условиях их реализация во многом ограничивается управляемостью. При существующих системах линейно-пропорционального и релейного управления исполнительными элементами, без обратной связи по параметрам движения, уже невозможно дальнейшее повышение этого показателя. Достижения в области микроэлектроники, информационных технологий, теории обработки информации и управления привели к возможности создания современных информационно-управляющих систем. Становятся актуальными вопросы разработки алгоритмов, позволяющих эффективно управлять потоками мощности от двигателя до ведущих колес. В связи с этим цель исследования, сформулированная в диссертации, и **диссертационная работа** в целом, направленная на разработку метода повышения подвижности быстроходной гусеничной машины с применением перераспределения управляющих силовых воздействий во времени с последующим синтезом автоматизированной системы управления движением, **является актуальной.**

Ключевыми задачами работы являются:

- Теоретическое исследование динамики управления движением быстроходной гусеничной машины. Имитационное моделирование процессов движения, анализ динамических свойств системы и оценка возможности их повышения на основе новых алгоритмов управления;

- Экспериментальное исследование динамики управления движением быстроходной гусеничной машины для идентификации параметров системы, оценка адекватности математической модели объекта и корректности принятых допущений;

- Обобщение результатов теоретического и экспериментального исследования, разработка метода повышения подвижности быстроходной гусеничной машины с применением перераспределения управляющих силовых воздействий во времени.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- Уточнена компьютерная математическая модель динамики управляемого движения, позволяющая учитывать параметры конструкции, определяющие собственную частоту системы, её демпфирующие свойства, а также существенные нелинейности в системе управления движением;

- Разработан метод перераспределения во времени управляющих силовых воздействий для повышения подвижности быстроходной гусеничной машины. Для организации функционирования системы управления движением используется, в качестве управляемой координаты, давление рабочей жидкости в магистралях высокого давления гидрообъемного механизма поворота;

- Предложен алгоритм управления на основе обратной связи по параметрам бокового движения машины (скорость, ускорение);

- Предложен метод распознавания типов движения для отдельного регулирования.

Обоснованность правильности решения и достоверность результатов исследований подтверждаются:

- Корректностью постановки задач и применяемых алгоритмов управления на основе методов перераспределения управляющих силовых воздействий, базирующихся на фундаментальных трудах отечественных и зарубежных ученых;

- Результатами численного моделирования динамики системы, с использованием разработанной математической модели, которые согласуются с экспериментальными данными в исследуемом частотном диапазоне. Расхождение, наблюдаемое по частоте и амплитуде момента, не превышает 7...10%, что связано с отклонением начальных условий при моделировании;

- результатами измерений параметров в ходе экспериментальных исследований с использованием современного высокоточного сертифицированного комплекса измерительной аппаратуры.

Значимость для науки и практики результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

- Предложенная компьютерная математическая модель позволяет прогнозировать скоростные качества быстроходной гусеничной машины при

движении на трассах с детерминированным и случайным изменением кривизны траектории;

- Разработанный алгоритм управления движением быстроходной гусеничной машины на основе распределения управляющих воздействий во времени посредством sharp-фильтров, позволяет обеспечить робастность системы;

- Организация обратной связи по скорости движения позволяет адаптировать алгоритм управления быстроходной гусеничной машины. Реализация предложенного алгоритма управления движением позволяет повысить степень реализации потенциальных скоростных качеств транспортной машины на тестовой змейке с длиной полуволны $\Delta S=20\ldots 40$ м до 5 м/с, а на дорогах со случайным интенсивным изменением кривизны траектории до 38 %.

Общее содержание диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырёх разделов основного текста, выводов, списка источников и приложений. Содержание работы изложено на 150 страницах текста, включающих 47 рисунков, 13 таблиц, списка использованных источников из 96 наименований.

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационного исследования, сформулированы цель работы и основные задачи, а также дана краткая информация о методах исследования, научной новизне, практической ценности, реализации и апробации работы, перечислены результаты исследования, выносимые на защиту, т.е. представлена общая характеристика работы.

В первом разделе приводится анализ методов прогнозирования подвижности быстроходной гусеничной машины при криволинейном движении, обзор конструктивных решений, повышающих динамические свойства машин при повороте с ограниченной мощностью системы управления поворотом, критерии устойчивости и управляемости транспортных машин. Особое внимание автор уделяет метод прогнозирования подвижности по фазово-частотной характеристике управляемого объекта. Отмечена необходимость сокращения фазового отставания реакции на основе синтеза корректирующих устройств в системе управления движением.

Во втором разделе рассматривается общая структурная схема БГМ как управляемого объекта и математическое описание структурных составляющих, компьютерное моделирование процесса движения машины с учётом характерных нелинейностей и анализ результатов. Автор рассматривает математическую модель плоскопараллельного движения гусеничной машины с постоянной линейной скоростью, учитывающую динамические свойства системы управления поворотом, включая инерционные, упругие и демпфирующие свойства элементов трансмиссии с

бесступенчатой передачей механизма поворота, взаимодействие гусениц с грунтом. Проводится синтез корректирующих устройств основанных на новых информационных подходах, анализируется фазово-частотная характеристика системы и устанавливается зависимость основных параметров автоматизированного регулятора от динамических свойств объекта. Боковые силы определяются в соответствии с гипотезой о боковом уводе шин опорных катков, и определяют демпфирование в системе и устойчивость её движения. При этом отмечено, что устойчивость движения ограничивается, колебаниями величины боковых сил и повышением эластичности шин опорных катков при повышением их температуры. Предложен алгоритм управления на основе формирования управляющего сигнала в виде последовательности импульсов. В качестве управляемой координаты принято давление рабочей жидкости в силовых магистралях гидрообъемного привода системы управления поворотом гусеничной машины. В результате численного моделирования получена реакция быстроходной гусеничной машины с различными системами управления в виде зависимости перерегулирования переходного процесса от параметров импульсного задающего воздействия. Также выполнено численное моделирование реакции машины на гармоническое воздействие при движении по траектории типа «змейка», в результате чего определена зависимость фазового отставания от частоты возмущений. По результатам численного моделирования автор отмечает, что применение предложенного алгоритма управления, позволит повысить предельную скорость на 25–30%, при которой сохраняется управляемость движения.

В третьем разделе приводятся основные результаты экспериментального исследования. В качестве объекта экспериментальных исследований использовалась быстроходная гусеничная машина массой 14 т с гидромеханической трансмиссией и дифференциальным механизмом поворота с гидрообъемным приводом. Были определены характеристики управляемого движения машины по траектории типа «змейка», параметры вертикальных колебаний опорных катков и распределения температуры шин опорных катков при движении по малодеформируемой поверхности.

В четвертом разделе приводится обобщение результатов теоретического и экспериментального исследования, корректировка математической модели управляемого движения машины и оценка эффективности предложенных алгоритмов управления поворотом. Подтверждена обоснованность выбора в качестве управляемой координаты давления рабочей жидкости в силовых магистралях гидрообъемного привода. Предложен алгоритм коррекции управляющего воздействия, который должен обеспечить требуемое быстродействие и предотвратить возбуждение угловых колебаний машины в плоскости движения, при ограниченной мощности гидрообъемного привода механизма поворота. На основе полученных результатов автор делает вывод, что принцип

автоматизированного управления движением быстроходной гусеничной машины, основанный на перераспределении во времени управляющих силовых воздействий, обеспечивает повышение её быстродействия, сокращение фазового отставания реакции и подавление колебаний системы. Отмечена необходимость введения обратной связи по параметрам бокового движения, в частности линейной скорости, а также отдельного регулирования конкретных типов движения. Предложены структурные схемы системы управления движением быстроходной гусеничной машины.

♦ **Общие замечания по диссертационной работе:**

1. Не представлено обоснование допущения о постоянстве линейной скорости при выборе математической модели для компьютерного моделирования плоскопараллельного движения машины.
2. Не приведено обоснование выбора численных значений критериев качества переходных процессов при управлении поворотом гусеничной машины.
3. Не указаны параметры дорожно-грунтовых условий, при которых достигнуто повышение предельной скорости управляемого движения при реализации предложенного алгоритма.
4. Представленный тезис о параметрическом характере колебаний опорных катков при движении гусеничной машины по малодеформируемой поверхности требует дополнительного обоснования.
5. Из описания предложенного алгоритма неясно, каким образом система управления будет реагировать на изменение скорости и направления перемещения органа управления поворотом машины.
6. Из описания результатов моделирования динамики управляемого движения неясно, в каком диапазоне частот изменения кинематических параметров движения возможна организация обратной связи по указанным параметрам.

Отмеченные недостатки не снижают качество проведенных исследований и не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключение.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно на достаточном научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

В диссертации изложены новые **научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития страны**, позволяющие повысить технический уровень, показатели подвижности и управляемости перспективных и модернизированных образцов быстроходных гусеничных машин за счет внедрения автоматизированной

системы управления движением, предусматривающей алгоритм управления давлением рабочей жидкости в силовых магистралях гидрообъёмного привода и наличие обратной связи по параметрам бокового движения. В целом, диссертация соответствует требованиям пункта 7 "Положения о порядке присуждения ученых степеней".

В соответствии с вышеизложенным считаю, что диссертационная работа «Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины на основе перераспределения во времени управляющих силовых воздействий» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК России, а ее автор, Карпов Егор Константинович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины.

Официальный оппонент:
кандидат технических наук
директор-генеральный конструктор
ООО «Главное специализированное
конструкторское бюро по гусеничным
и колёсным машинам», г. Чебоксары

18 декабря 2014 г.



/М.В. Вязников/