

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

«ЮЖНО–УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(национальный исследовательский университет)

Политехнический институт

Факультет «Автотранспортный»

Кафедра «Колёсных и гусеничных машин»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ (И.О.Ф.)
_____ 2019

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент

_____ В.Н. Бондарь
_____ 2019

Методика определения баланса мощности в повороте для быстроходной
гусеничной машины

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-23.04.02.2019.033 ПЗ ВКР

Руководитель

д.т.н., профессор

_____ /С.В.Кондаков/

«__» _____ 2019 г.

Автор работы

студент группы П-206

_____ /И.А. Журавлев/

«__» _____ 2019 г.

Нормоконтролер

к.т.н., доцент

_____ /В.И. Дуюн/

«__» _____ 2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Журавлев И.А. Методика определения баланса мощности в повороте для быстроходной гусеничной машины. – Челябинск: ЮУрГУ, АТ; 2019, 80 с. 33 – ил., 2 – табл., библиогр. список – 199 наим., 14 демонстрационных листов ф. А4

Выпускная квалификационная работа относится к области транспортного машиностроения и может быть использована при синтезе систем управления поворотом быстроходных гусеничных машин с гидромеханической трансмиссией и дифференциальным механизмом поворота с гидрообъемным приводом.

Технический результат заключается в повышении управляемости гусеничных машин.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.					Лит.	Лист	Листов
Провер.						3	80
Реценз.					ЮУрГУ Кафедра КГМ		
Н. контр.							
Утверд.							
Методика определения баланса мощности в повороте для быстроходной гусеничной машины							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДВИЖНОСТИ БЫСТРОХОДНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН	10
1.1 История создания быстроходных гусеничных машин.....	10
1.2 Обзор конструкции БМП-3	13
1.3 Управляемость и устойчивость криволинейного движения гусеничной машины.....	16
Выводы по разделу один	22
2 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ПОВОРОТА БГМ. СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ БГМ	24
Выводы по разделу два.....	34
3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ БЫСТРОХОДНОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ	35
3.1 Реализация математической модели в среде программирования VisSim	42
3.2 Результат исследования математической модели в VisSim. Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины путем реализации алгоритмов управляемого движения в заносе.	50
Выводы по разделу три.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	63

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы: быстроходные гусеничные машины (БГМ) предназначены для решения боевых задач в условиях движения по пересеченной местности под огнем противника. К главным тактико-техническим характеристикам БГМ относят огневую мощь, броневую защиту и маневренность. Показателем маневренности является средняя скорость движения, которая зависит от совершенства конструкции трансмиссии и механизма поворота. Моторно-трансмиссионные установки (МТУ) современных быстроходных гусеничных машин состоят из двигателей внутреннего сгорания с удельной мощностью до 20 кВт/т, двухпоточных гидромеханических трансмиссий с планетарными коробками передач и бесступенчатыми механизмами поворота на базе гидрообъемных передач (ГОП). Среди отечественных машин следует отметить бронемашину пехоты БМП-3, имеющую двухпоточную гидромеханическую трансмиссию с гидрообъемным механизмом поворота. Бесступенчатый механизм поворота существенно снижает потери скорости на криволинейных участках. Повышение удельной мощности двигателей, возможность бесступенчатого регулирования радиуса поворота выдвинуло на первый план проблему управляемости БГМ.

Существующие концепции и методы исследования математических моделей не позволяют вмешиваться в процесс управления с учетом изменяющихся во время движения параметров. Автором выдвинута научная гипотеза о необходимости моделирования процесса криволинейного движения БГМ с учетом основных нелинейностей грунта и гидрообъемной передачи. С учетом особенностей гидрообъемного привода, обладающего внешней автоматичностью и позволяющего реализовать различные алгоритмы управления, в том числе и с обратной связью, и обоснованно подойти к проектированию автоматической системы управления движением, направленной на реализацию максимальной средней скорости движения "на границе заноса". Разработаны новые положения теории поворота гусеничных машин, отражающие специфику движения на больших скоростях.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Цель работы– повышение подвижности быстроходной гусеничной машины на переходных и установившихся режимах криволинейного движения путем автоматизации системы управления криволинейным движением. Разработка количественного критерия оценки управляемости в виде соотношения кривизны траектории, задаваемой штурвалом и реализуемой на местности. Выработка новых законов управления движением на базе дополнительного регулирования насоса ГОП, подачи топлива и торможения забегающего борта при угрозе заноса машины; торможения отстающего борта при перегрузке ГОП по давлению для увеличения точности управления поворотом, предотвращения заноса и роста средней скорости движения машины.

Объект исследования: быстроходная гусеничная машина с двухпоточной-гидродинамической трансмиссией и бесступенчатым гидрообъемным механизмом поворота.

Предмет исследования: закономерности управления двигателем, механизмом поворота, обеспечивающие прохождение криволинейных участков трассы с наибольшей точностью и скоростью.

Методы исследования: имитационное моделирование криволинейного движения с учетом нелинейностей характеристик грунта и гидрообъемной передачи. Оптимизация законов дополнительного регулирования насоса ГОП независимо от положения штурвала на базе количественного критерия оценки управляемости по кривизне траектории.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие теоретические и практические **задачи:**

1) Развить вопросы теории криволинейного движения БГМ на границе заноса на базе комплексного имитационного математического моделирования движения, и системы управления криволинейным движением, отличающегося введением автоматизированного управления насосом гидрообъемного механизма поворота, двигателя и тормозов с целью повышения точности управления, предотвращения заноса и увеличения средней скорости движения;

2)Использовать возможность дополнительного, независимого от штурвала, регулирования насоса ГОП механизма поворота, с целью повышения точности управления;

3)Определить возможности увеличения средней скорости движения быстроходных гусеничных машин, улучшения их управляемости и устойчивости при реализации новых требований управления двигателем, насосом ГОП механизма поворота и отдельными по бортам тормозами на базе предложенного количественного критерия управляемости;

4)Выработать рекомендации по совершенствованию алгоритмов, систем управления и конструкций механизмов поворота некоторых машин.

Научная новизна выпускной квалификационной работы:

– комплексная имитационная математическая модель криволинейного движения быстроходной гусеничной машины, моторно-трансмиссионной установки и системы управления криволинейным движением, отличающаяся введением автоматизированного управления насосом гидрообъемного механизма поворота, двигателя и тормозов с целью повышения точности управления, предотвращения заноса и увеличения средней скорости движения.

– критерий оценки управляемости в виде соотношения кривизны траектории задаваемой штурвалом K_t и реализуемый на местности K_f позволяет количественно оценить точность выполнения маневров гусеничной машиной. Кривизна вычисляется как отношение угловой скорости корпуса относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести машины, к линейной скорости центра тяжести машины, направленной вдоль продольной оси.

– закономерности управления механизмом поворота в виде дополнительного регулирования насоса гидрообъемной передачи, что позволит минимизировать ошибку управления по кривизне траектории.

– оптимизировать закон дополнительного регулирования наклонной шайбы ГОП, обеспечивший приемлемое перерегулирование и быстродействие системы управления поворотом;

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДВИЖНОСТИ БЫСТРОХОДНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

1.1 История создания быстроходных гусеничных машин

Своему возникновению быстроходные танки (БТ) обязаны американскому конструктору Дж. У. Кристи, который предложил оригинальную концепцию быстроходных танков. Тема колёсно-гусеничных боевых машин в конце 1920-х — начале 1930-х была весьма актуальна. Дело в том, что танки той эпохи были невероятно медлительными. Скорость первых "сухопутных дредноутов" не превышала 10 км/ч. На поле боя этого, вроде бы, хватало для сопровождения пехоты и прорыва оборонительной полосы противника. Но вот переброска танков на новый участок становилась головной болью. И дело не только в низкой скорости — ресурс гусениц танков был также невелик: их хватало не более чем на 100 км. Именно с этим, кстати, связано такое обилие броневых автомобилей, выпускавшихся в мире до Второй мировой войны. Военным была крайне необходима боевая машина, обладающая высокой скоростью. И хотя недостатки броневых автомобилей были всем понятны, только они могли занять нишу быстроходных боевых машин. А что касается танков, то приходилось либо смириться с их недостатками, либо подвозить танки к полю боя при помощи тяжёлых грузовиков, что довольно дорого.

Судя по всему, австро-венгерскому офицеру Гюнтеру Бурштыну в 1911 году первому пришла в голову уникальная мысль «скрестить» танк с броневым автомобилем, а как раз — ввести его на колёса. Подобный танк-гибрид имел возможность бы по неплохой проезжей части ехать на колёсах, как автомашину (с соответственной скоростью), а при перемещении по бездорожью колёса поджимались и танк шёл на гусеницах. Мысль Бурштына была продана, но о ней не запомнили. Так, в 1920-е годы во Франции была выпущена серия лёгких танков «Сен-Шамон» с колёсно-гусеничным движителем. Казалось, это был прорыв: в случае если на гусеницах «Сен-Шамоны» имели возможность развить всего 8 км/ч, то на колёсах — 30 км/ч! Не отстали от моды и чехословацкие конструкторы, создав в

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1924 году танк КН50. А Британцы в 1926 году предложили свежее заключение: на танке «Виккерс» поджимался не колёсный движитель, а гусеничный. В надлежщем году был сотворен танк, у которого в одно и тоже время подымалсяраз движитель и спускался иной. Поляки в что же 1927 сделали экспериментальный WB10. В 1931 году шведы отпустили танк La30, у которого смена движителя происходила всего за 20 секунд, причём, операция имела возможность проводиться напрямик на ходу.

Конструкторы множества государств соревновались в изобретательности, пробуя отыскать самое удачное заключение «колёсно-гусеничной проблемы». Впрочем их детища в ведущем оставались только отважными опытами: становление техники не стоит на пространстве и танки (обычные) помаленьку избавлялись от «детских болезней». Скорость хода по шоссе у лёгких танков достигнута 40—50 км/ч. Увеличился ресурс гусениц, а колёсно-гусеничные модификации выделялись сложностью и ненадёжностью.

Революционное заключение внес предложение южноамериканский конструктор Уолтер Кристи: он внес предложение прирастить поперечник опорных катков до объема автоколёс, ввести привод на задние катки, а 2 фронтальных катка устроить управляемыми. Танк со снятыми гусеницами преображался в обычную колёсную машину с колёсной формулой 2×8. Не было практически никаких задач с поднятием-опусканием движителей. Экипаж элементарно снимал гусеницы и закреплял их на над гусеничных полках. Для пушего эффекта конструктор установил на личный танк авиационный движок — при массе 9 тонн автомат эталона 1931 года имела возможность разгоняться до 110 км/ч и более. Похожие характеристики завлекли к новинке забота. Но армия USA танки Кристи отвергла, посчитав ненадёжными. Но несмотря на все вышесказанное в СССР мысль встретила абсолютное осознание. Надобно заявить, как один в начале 1930-х годов в СССР шёл лихорадочный разведка успешной концепции танка. Поползновения сделать танк собственными силами не увенчалась триумфом — русские танкостроители не имели необходимого навыка в разработке военных машин .

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

рое количество выделяется простого, принятого на иных БМП. Боевая автомат пехоты БМП-3 содержит силовой отсек, который установлен в кормовой части машины. Филиал управления располагается в носовой части и не считая пространства механика-водителя тут находятся сиденья ещё 2-ух десантников, которые имеют все шансы производить перестрелку напрямик по направленности перемещения из 2-ух пулеметов ПКТ. Любое пространство (десантников и водителя) в отсеке управления оборудовано личным лючком.

В боевом арсенале, которое располагается в центре машины, оборудованы пространства для оператора-наводчика и командира машины. В башне присутствуют системы вооружения машины, устройство заряжания пушки, приборы исследования, прицельные приспособления и способы связи.

За боевым арсеналом размещен десантный отсек. В нем учтены 7 позиций для десантников. В филиале есть амбразуры, приборы исследования и в том числе уборная.

В кормовой части БМП-3 располагается силовое филиал. Тут располагается движок, составляющие коробки, система замораживания, батареи, емкости с маслом, всевозможные детекторы. Движок БМП-3 владеет высочайшими чертами, собственно что гарантирует машине неплохую маневренность и подвижность. БМП-3 оборудована водометными движителями, которые обеспечивают машине передвижение по воде. Они присутствуют под днищем бронемашинны.

Вооружение БМП-3 произведено из 100-мм орудия 2А70, из которого возможно запускать управляемые ракеты. В одном блоке с данной пушкой располагается 30-мм пушка и пулемет ПКТ. На машину установлен ансамбль управляемого вооружения «Бастион», система управления пламенем, некоторое количество прицелов (включая ночной) и стабилизатор вооружения. С поддержкой 100-мм орудия БМП-3 имеет возможность истреблять бронетехнику и живую мощь врага, применяя управляемые и неуправляемые боеприпасы, не считая такого, автомат имеет возможность производить пламя и низколетящим невесомым целям. В БМП-3 установлена автоматический устройство заряжания. 30-мм пушка 2А72

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

имеет возможность быть применена для ликвидации нетяжелой бронетехники врага, его актуальной силы и производить пламя по низколетящим невесомым целям. Дульная доля 2А72 прикреплена к стволу 2А70. Это присваивает оружию больше высшую кучность перестрелки.

Ниже приведены технические характеристики БМП-3.

Таблица 1.1 Технические характеристики БМП 3

Боевая масса, т	18,7
Экипаж + десант, чел	3+7
Размеры, мм	
Длина	7200/7140
Ширина	3230
Высота	2300-2450
Клиренс	450
Двигатель	
Марка	УТД-29
Тип	дизель
Максимальная мощность, л. с.	450-500
Максимальная скорость, км/ч	
По шоссе	70-72
На плаву	10
Запас хода, км	600
Удельное давление на грунт	0,6
Препятствия, м	
Ров	2,5
Вертикальная стенка	0,7
Брод	плавает
Подъем	30
Крен	25

1.3 Управляемость и устойчивость криволинейного движения гусеничной машины

Вопросами устойчивости и управляемости движения быстроходных гусеничных машин в разное время занимались А.П. Крюков, А.А. Благонравов, О.Н. Брилев, Ю.А. Конев, В.М. Антонов, В.И. Красеньков, В.В. Егоркин, Я.Е. Фаробин, В.А. Колесов, В.В. Гуськов, А.Ф. Опейко, Г.О. Котиев, С.А. Бекетов, В.Б. Держанский и другие ученые.

В технической литературе чаще всего используются такие тактико-технические характеристики, как удельная мощность двигателя, максимальная скорость движения по твердому покрытию, максимальная скорость разворота на месте, время разгона до 60 или 100 км/ч и ряд других. Основным показателем, комплексно характеризующим совершенство шасси БГМ, является средняя скорость движения. Рост удельной мощности БГМ не может быть реализован для повышения средней скорости движения без обеспечения устойчивости и улучшения управляемости БГМ на криволинейных участках трассы.

Опыт эксплуатации БГМ показывает, что более 60% времени машина движется по криволинейной траектории, причем, в большинстве случаев радиусы поворота не совпадают с фиксированными, заложенными в конструкции механизмов поворота. В связи с этим поворот осуществляется с предварительным снижением скорости несколькими включениями механизма поворота. Переход к бесступенчатым механизмам поворота снял часть проблем, существенно увеличил среднюю скорость движения [3–7]. Одновременно породил новые, связанные сначала с перегрузками гидрообъемных передач, а затем с открывшимся многообразием алгоритмов управления, относительной простотой их реализации и поиском оптимального регулирования. Ситуация еще больше обострилась с появлением новой измерительной и микропроцессорной техники, способной легко реализовать любой алгоритм управления.

Требования к механизмам поворота, изложенные в учебнике Балдина В.А. [16], не потеряли актуальности и сегодня: бесступенчатость (возможность реали-

зовать любой радиус по желанию водителя, в этом смысле управляемость), экономичность, полнота использования мощности двигателя, устойчивость прямолинейного движения, легкость в управлении.

В статьях Колесова В.А. [99–101] на основании исследования конструкций механизмов поворота сделан вывод о приоритете управляемости машины над другими требованиями к механизмам поворота.

Для количественной оценки свойств механизмов поворота в статьях [4, 5] предложено использовать критерий управляемости в виде зависимости минимального установившегося радиуса от скорости прямолинейного движения перед входом в поворот $R_{min}(V)$.

Предложенный критерий работает только для установившегося поворота. Легко представить случай, когда в результате резкого поворота штурвала мгновенный радиус траектории станет меньше минимального по статической оценке, машина будет некоторое время находиться в управляемом движении за границей статической устойчивости, затем может вообще попасть за границу устойчивости и потери управляемости.

Условие стойкости поворота гусеничной машины о соответствии тормозного этапа и реактивного этапа (момента сопротивления повороту) в первый раз сформулировано в работе Крюкова А.П. [124].

В работе Благоднарова А.А. и др. [68] введено понятие статической стойкости, «мерой которой считается разницу тангенсов углов наклона касательной к кривой поворачивающего этапа, как функции кривизны, и касательной к статической характеристике». Предписано, собственно что перемещение за границей статической стойкости вплоть до грани бокового заноса «возможно лишь только при нескончаемом и соответствующем регулировке поворачивающего этапа механиком-водителем». Введено понятие маневренности, которое «подразумевает присутствие у БГМ совокупных качеств, которые дают возможность механику-водителю не лишь только выдерживать неизменным, но и менять радиус поворота». На тему стабильность поворота произнесено, собственно что это «... чисто

динамическая черта, связанная в первую очередь с тягово-сцепными качествами гусеницы с грунтом». Тут же замечено, собственно что «...устойчивость и маневренность – 2 свойства танка, которые присутствуют в конкретной связи. Маневренность – это дееспособность правильно откликаться на управляющее воздействие».

В работах Красенькова В.И. [112–118] рассмотрены статическая и динамическая устойчивости и переходные реакции на управление в линейной и нелинейной постановке. Исследование устойчивости и управляемости проведено на основе анализа системы дифференциальных уравнений, описывающих криволинейное движение БГМ на плоскости, определены причины возникновения статической неустойчивости при движении без бокового заноса.

В работах Благодрава А.А. [68] и Красенькова В.И. [112] управляемость оценена по качеству переходных реакций, например, угловой скорости поворота ω_p , на управляющее воздействие, то есть по так называемой характеристике «рывок руля».

В развитие этого подхода оценки управляемости по переходным реакциям в работах Благодрава А.А и Держанского В.Б. [21, 57] использована математическая модель с включением дифференциальных уравнений двигателя и ГОП в механизме поворота, предложен критерий управляемости в виде частной производной угловой скорости поворота по изменению управляющего воздействия – поворота штурвала. В настоящее время все больше внимания уделяется управляемости БГМ на переходных режимах входа-выхода из поворота, в этом смысле заманчива идея оценивать управляемость БГМ по средней скорости или времени прохождения трассы типа «змейки». В этом случае следует проводить ряд испытаний с различными параметрами «змейки» дабы избежать случайного совпадения фиксированных радиусов ступенчатых механизмов поворота с радиусами траектории «змейки».

В работе Держанского В.Б., Тараторкина И.А. [133] систематизированы критерии управляемости, рассмотрены разные способы её оценки, в частности:

1) Оценка управляемости по зависимости кинематических параметров от управляющего воздействия. Показано, что чувствительность кривизны $\partial K/\partial \delta$ с увеличением номера передачи снижается.

2) Динамические характеристики системы управления поворотом могут выступать оценочными параметрами управляемости. К ним отнесены: запаздывание реакции, быстродействие, перерегулирование, длительность переходного процесса, максимальное ускорение, максимальное давление в силовых магистралях.

3) Оценка управляемости по коэффициенту фазовой напряженности, характеризующий интенсивность управляющих воздействий.

В качестве итоговой зависимости приведена связь перечисленных выше критериев управляемости от удельной мощности машины. С ростом удельной мощности машины растет и средняя скорость движения, но в разной степени для деформируемых и недеформируемых грунтов, а также для разных механизмов поворота (с дискретным и непрерывным управлением).

Подробный анализ критериев устойчивости и управляемости, изложенных в работах Колесова В.А., Крюкова А.П., Благодравова А.А., Красенькова В.И., Держанского В.Б., проведен в монографии [149].

В работе Бекетова С.А. [150] проведен анализ граничных условий управляемого криволинейного движения гусеничной машины. Указано, что ранее в качестве критерия характеризующего возникновение граничных условий управляемого движения предлагалось смещение мгновенного центра поворота на уровень переднего опорного катка, начало полного бокового скольжения всей опорной поверхности гусениц. Регистрировать подобную ситуацию возможно с помощью датчиков боковых сил, расположенных на передних и задних опорных катках. Данная система вызывает сомнения в работоспособности, поскольку ходовая часть работает при больших динамических нагрузках и неблагоприятных внешних условиях.

Движение гусеничной машины управляемо до тех пор, пока момент сопротивления повороту не равен нулю, эпюра поперечных сил реакции грунта станет пропорциональной эпюре нормальных нагрузок по длине опорной поверхности

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

гах с интенсивным изменением направления движения и ограниченными сцепными свойствами – на тестовых трассах «змейка», «переставка» и затяжных поворотах, динамические и скоростные качества гусеничных машин, оснащенных дискретными механизмами поворота, существенно ниже, чем с бесступенчатыми. Число включений механизма поворота на километр пути увеличивается в 6...9 раз. Экспериментально установлено, что при появлении «закрытых» поворотов управляемость может быть повышена при быстром переключении передачи на номер ниже и при увеличении частоты вращения вала двигателя близко к максимальной. Первое приводит к повышению чувствительности к управляющему воздействию, а второе увеличивает производительность гидронасоса ГОП. В работе рассмотрен вариант отдельного торможения по бортам. Показано, что торможение отстающего борта способствует увеличению интенсивности входа в поворот и одновременно разгрузке ГОП. Однако заклинивание одной из гусениц приводит к отрицательному эффекту – перегрузке ГОП и разрушению ее деталей. Указано, что для машин с гидрообъемным механизмом поворота ограниченной мощности снижение скорости поступательного движения уменьшением подачи топлива недопустимо, так как приводит к снижению подачи насоса ГОП. Предложена схема бортового поворота с двумя ГОП, позволяющая регулировать подачу рабочей жидкости в каждый мотор по бортам. Таким образом, экспериментальные исследования дают исходную информацию для формирования критериальной базы систем управления поворотом.

Выводы по разделу один

Обзор истории создания БГМ, конструкции БМП-3 и литературных источников показал сложность и разноплановость задач управляемости, разнообразие технических решений, направленность математических моделей быстроходных гусеничных машин на решение других задач, возникающих при криволинейном движении, влияние человеческого фактора на управляемость в повороте. Все это убеждает в необходимости и возможности внедрения автоматических систем в

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

управлении поворотом. Поэтому целью настоящего исследования является обеспечение управляемости БГМ в экстремальных условиях движения при средней квалификации механика-водителя за счет более полной реализации возможностей двигателя, трансмиссии, гидрообъемного механизма поворота, тягово-сцепных свойств грунта и корректировки нерациональных приемов вождения с помощью автоматической системы управления движением. Алгоритмы дополнительного регулирования системы управления поворотом должны повышать точность управления и среднюю скорость преодоления криволинейных участков трассы при средней квалификации механика-водителя.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

2 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ПОВОРОТА БГМ. СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ БГМ

Выпускная квалификационная работа относится к области транспортного машиностроения и может быть использована при синтезе систем управления поворотом быстроходных гусеничных машин (БГМ), оснащенных гидромеханической трансмиссией (ГМТ) и дифференциальным механизмом поворота с гидрообъемным приводом.

Высокий уровень удельных мощностей, установка современных агрегатов системы "двигатель-трансмиссия-ходовая часть" позволяют получить высокие расчетные значения максимальных и средних скоростей движения гусеничных машин на местности. Однако реализация технических возможностей, заложенных в конструкцию гусеничных машин, существенно ограничивается их низкой управляемостью, склонностью к заносу, особенно при движении на высоких скоростях.

Система управления существующих гусеничных машин представляет собой совокупность механизма поворота и приводов управления, с помощью которых водитель осуществляет управление машиной. Например, система управления поворотом боевой машины пехоты БМП-3 содержит управляемый командным органом (штурвалом) гидрообъемный привод, ведущий вал гидронасоса которого соединен с двигателем, а ведомый вал гидромотора соединен с валом дифференциального механизма поворота. На валу расположены шестерни, кинематически соединенные с солнечными шестернями СПР одного борта БГМ через промежуточную шестерню, а второго борта - непосредственно.

Водитель, влияя при помощи приводов управления на гидропривод, изменяет режим его работы и что наиболее изменяет назначение перемещения машины. При данном контроле за поведением машины воплотит в жизнь шофер. Для компенсации образующихся отклонений линии движения механик-водитель влияет на органы управления, пробуя воплотить в жизнь требуемую линию движения

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

перемещения с важной для защищенности точностью. Впрочем вследствие ограниченности психофизиологических качеств водителя, его утомляемости в процессе долговременного перемещения, принятые заключения и реализуемое им управляющее влияние характеризуется большущим численностью промахов.

В связи с тем, именно собственно что весому толика времени движения машины оформляет криволинейное движение, одним из путей наращивания средней скорости движения и снижения смысла требований к квалификации водителя и его утомляемости является автоматизация управления движением машины в повороте. При разработке системы, обеспечивающей контроль поведения машины при движении в повороте, и при возникновении угрозе потери управления движением понадобится автоматически ограничивать скорость и собственно что более предотвращать занос.

Рассматриваемый класс машин и надлежащие системы управления должны выделяться высочайшим уровнем надежности и живучести при эксплуатации в экстремальных критериях. В связи с данным, управление структурными составляющими машинами надлежит реализоваться по 2 каналам управления. Для управления по первому каналу применяются лишь только механические и механикогидравлические прибора. Конструкция подобный «базовой» системы управления перемещением характеризуется малой сложностью. По второму каналу управления реализуется кое-какая надстройка «базовой» системы управления перемещением, которая продаст интегрированную функцию самодействующего управления перемещением БГМ, с внедрением передовых технологий получения и обработки информации.

Главная трудность в разработке 2 канала управления подобный системы заключается в выборе характеристик, по коим бы контролировалось поведение машины при повороте. Разыскиваемые характеристики обязаны верно отображать физиологическую сущность процессов, протекающих при перемещении машины. Еще, большущее смысл содержит простота определения данных характеристик,

например, как это станет предопределять степень трудности и надежности работы системы.

В итоге проделанных теоретических изучений определено, собственно что величины расчетной угловой скорости поворота машины, определяемой скоростями вращения гусениц, и фактической угловой скорости выделяются за счет скольжения гусениц. При достижении скорости перемещения гусеничной машины максимальной по маневренности угловые скорости поворота близки по значению друг к другу. То есть, при появлении опасности заноса отношение угловых скоростей жаждет к единице.

В соответствии с приведенным предложена автоматизированная система управления поворотом БГМ по патенту РФ 2158682 МПК В60К 41/00 от 10.11.2000 (аналог). Эта система содержит гидрообъемную механическую передачу и исполнительные приводы управления этой передачей, датчики частоты вращения гусениц правого и левого бортов, блок конструктивных параметров, датчик угловой скорости поворота гусеничной машины, блок вычисления теоретической угловой скорости поворота машины, блок деления, компаратор, блок опорного сигнала, исполнительный механизм.

Анализируемая система управления поворотом работает таким образом. При перемещении машины сигналы от датчиков частоты вращения гусениц правого и левого бортов поступают в блок вычисления расчетной угловой скорости поворота гусеничной машины и вслед за тем в блок деления. В данный же блок поступает знак от датчика угловой скорости поворота машины, где рассчитывается отношение значений расчетной и фактической угловых скоростей поворота машины. Далее знак поступает в компаратор, где сравнивается с опорным сигналом, поступающим из блока опорного сигнала. В случае если размер сигнала из блока деления равен или же меньше величины опорного сигнала, то компаратор выдает знак управления на исполнительный устройство привода конфигурации режима работы мотора, уменьшающего частоту вращения вала мотора до тех пор, пока же не исчезнет знак от компаратора. Блок конструктивных характери-

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

стик работает для ввода конструкционных характеристик машины, важных для расчета теоретической угловой скорости поворота машины.

Однако вероятность стабилизации перемещения БГМ в повороте с подобной системой ограничена, но система реализуется при минимальном количестве трудности сенсорной части. Как демонстрируют итоги экспериментального изучения динамики управляемого перемещения БГМ, в повороте невозможно снижать частоту вращения вала мотора, нужно ехать на завышенном высокоскоростном режиме его работы. Это связано с тем, собственно что при сокращении частоты вращения вала мотора до порогового смысла, при котором случается разблокировка гидротрансформатора, понижается частота вращения эпициклов суммирующих планетарных линий. В данных критериях поворот машины случается с «закручиванием» линии движения в спираль, т.е. ещё наибольшему отклонению линии движения от требуемой. Это ориентируется в мощь качеств системы управления поворотом гидрообъемным приводом - при понижении скорости растёт аффектация кривизны линии движения к управляющему влиянию. Этим образом, для обеспечения действенного эффективного управления нужно предопределять не лишь только отношение угловых скоростей, но и соответствие кривизны линии движения перемещения. Данную функцию система исполнить не имеет возможность.

Предотвращение заноса имеет возможность быть обеспечено компенсирующим управлением водителя или же автоматической системы по регулировке угловой скорости и кривизны при одновременном торможении машины. Впрочем в процессе торможения вращение основных колес обоих бортов случается одновременно, а аффектация машины компенсирующему управлению поворота в данном режиме равна нулю. Уменьшение частоты вращения вала мотора понижает и смысл данной угловой скорости поворота в согласовании со качествами гидропривода, собственно что например же наращивает аномалия от линии движения.

Особенности функциональной зависимости параметров кривизны k от угла поворота штурвала $\alpha_{шт}$, номера включенной передачи m_j , передаточного отно-

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

шения $i_{ГТ}$ гидротрансформатора (ГТ)- $k=k(a_{шт}, m_j, i_{ГТ})$ и угловой скорости ω от $a_{шт}$, угла положения педали подачи топлива $a_{пт}$, частоты вращения вала двигателя $n_{д}-\omega=\omega(a_{шт}, a_{пт}, n_{д})$ БГМ с двухпоточной ГМТ, в которой гидрообъемный привод системы управления поворотом (СУП) осуществляется от двигателя, приводят к тому, что при перегрузке двигателя падает $n_{д}$ и автоматически разблокируется ГТ. В этом режиме уменьшается угловая скорость поворота машины $\omega \neq \omega(a_{шт})$, увеличивается кривизна траектории $k \neq k(a_{шт})$, не компенсируемая обратной связью, так как $a_{шт} \rightarrow \max$, $a_{пт} \rightarrow \max$, $a_{т}=0$.

Это приводит к движению БГМ по спиралевидной траектории. Внешне движение БГМ подобно заносу, однако вызвано другими причинами, может происходить при ограниченной скорости и требует компенсирующего управления, отличающегося от заноса. Однако мониторинг и идентификацию этого режима известная система осуществить не может.

Наиболее близкой по технической сути и достигаемому результату является система стабилизации движения автомобиля фирмы Bosch ESAS, ESP® plus, ESP® premium [Konrad Reif (Hrsg). Bremsen und Bremsregelsysteme. Bosch Fachinformation Automobil. - Berlin: Vieweg + Teunber, 2010. - Bild. 2,3 s.121-122]. Эта система включает так называемый сенсор G параметров бокового движения (угловой скорости поворота автомобиля и его бокового ускорения), датчики угловой скорости вращения колес, положения рулевого колеса, датчики давления в тормозной системе, частоты вращения вала двигателя, скорости движения v , соединенных с электронным блоком контроллера (БК). Выход БК соединен с электронными блоками управления двигателем, коробкой передач, рулевого управления, а также с модуляторами управления давлением в тормозной системе колес.

На базе сигналов датчиков $n_{д}$, v , $a_{шт}$ контроллер определяет требуемый режим перемещения в повороте (угловую скорость поворота автомашины и его боковое ускорения). В случае если характеристики перемещения автомашины в повороте, определяемые по сигналам G-сенсора, выделяются от данных (расчетных), то БК воплотит в жизнь идентификацию отклонений, к примеру, занос.

В зависимости от величины отличия, БК подает команду на подруливание управляемых колес, притормаживание отдельных колес. В одно и то же время на блок управления движком поступает команда на уменьшение подачи горючего, в соответствии с этим и сокращение вращающего этапа. При надобности в Коробка автомат врубается больше невысокая предоставление или же «зимний» режим, в случае если он учтен.

Однако эта система не может стабилизировать движение БГМ. Особенность движения таких машин в повороте состоит в том, что оно сопровождается боковым отклонением траектории. Для измерения величины этого отклонения необходимо два датчика бокового ускорения, устанавливаемых в носовой и кормовой частях корпуса машины. Мерой бокового заноса является превышение бокового ускорения кормовой части корпуса относительно ускорения носовой. В связи с этим в предлагаемую систему вводятся два датчика бокового ускорения, располагаемых в кормовой и носовой частях корпуса.

Таким образом, известной системе стабилизации управляемого движения присущи следующие недостатки:

1 В процессе предотвращения бокового заноса снижать скорость движения торможением гусеничной машины или уменьшением подачи топлива не представляется возможным. Торможение недопустимо, так как в этом режиме может осуществляться только прямолинейное движение. Уменьшение подачи топлива приводит к снижению производительности гидропривода, уменьшению поворачивающего момента и угловой скорости поворота.

2 Управление траекторией движения по соотношению расчетной и фактической угловой скорости поворота недостаточно информативно и не всегда эффективно.

3 Невозможен мониторинг и идентификация режима движения машины по спирали при разблокировке гидротрансформатора.

4 Невозможен мониторинг и идентификация бокового заноса.

Требуемая точность линии движения перемещения, компенсация неверных действий водителя гарантируется предлагаемой системой. Она выделяется тем,

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

сти перемещения v и номера включенной передачи m_j поступают в бортовой компьютер. На базе данных сигналов ориентируются характеристики управляемого перемещения: расчетная угловая скорость поворота $\omega_r(\alpha_{шт}, \alpha_{пт})$, боковое ускорение носовой и кормовой частей корпуса машины. При данном вполне вероятно перемещение машины по избранной шофером линии движения или же с отклонением перемещения – с боковым сносом или же по спиралевидной линии движения. На базе прогноза управляющих воздействий водителя и характеристик G детектора в бортовом компьютере выполняется идентификация облика отличия линии движения.

Движение с боковым сносом, которое трудно управляемо, идентифицируется по следующим условиям:

1 Фактическая угловая скорость ω_f и кривизна траектории поворота БГМ кф, их чувствительность (частная производная) к управляющему воздействию превышают расчетные:

2 Боковое ускорение кормовой части корпуса превышает ускорения носовой части, т.е.:

3 Фактический курсовой угол превышает расчетное значение: $\phi_f > \phi_r$

Для ограничения сноса система создает следующие компенсирующие управления.

1) Управляет торможением БГМ - наполнением ГЗ при. Для предохранения двигателя от перегрузки в процессе торможения с помощью электромагнитного клапана осуществляется опорожнение ГТ.

2) Увеличивает угловую скорость и кривизну траектории в сторону заноса, управляя гидронасосом гидропривода до прекращения заноса.

3) Переключает в АКП передачу на номер ниже ($m_j \rightarrow m_j - 1$), опорожняя ГТ, разгоняет двигатель, увеличивая $n\delta$.

Идентификация движения БГМ по спиралевидной траектории из-за пере

грузки двигателя и разблокировка ГТ осуществляется по следующим условиям:

1) Частота вращения вала двигателя меньше порогового значения, при котором происходит разблокировка ГТ, т.е. , а передаточное отношение ГТ меньше единицы ($i_{ГТ} < 1$).

2) Фактическая скорость движения меньше расчетной: $v_{ф} < v_{р}(n_{д}, m_j, \alpha_{пт})$

3) Фактическая кривизна траектории и ее чувствительность к управляющему воздействию выше расчетных:

При идентификации этого отклонения система создает режим движения на повышенной частоте вращения вала двигателя, переключая передачу в АКП на номер ниже, уменьшает расчетную кривизну регулированием угла наклона шайбы гидронасоса ГП СУП по сигналу, подаваемому на второй канал управления ГП.

Система стабилизации движения быстроходной гусеничной машины, содержащая бортовой компьютер, со входом которого соединены сенсоры положения и перемещения органов управления движением машины (положения педали подачи топлива α угла поворота штурвала α , положения педали управления тормозом α), частоты вращения вала двигателя n и скорости движения V , а также сенсор параметров, определяющих боковое и вращательное движение машины G-сенсор (линейная и угловая скорости движения машины, боковое ускорение), а выход бортового компьютера соединен с электронными каналами управления подачей топлива E-Gas, гидропривода системы управления поворотом, золотниковой коробкой управления автоматической коробкой передач и модулятором управления остановочными тормозами, отличающаяся тем, что в систему дополнительно введен гидрозамедлитель и электромагнитный клапан управления наполнением гидрозамедлителя и опорожнением гидротрансформатора, соединенный с выходом бортового компьютера, вход бортового компьютера соединен с сенсором номера включенной передачи, а номенклатура сенсора параметров, определяющих боковое и вращательное движение машины, расширена, то есть дополнительно введены сенсоры для определения ускорений продольного, боковых носовой и кормовой частей корпуса.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Выводы по разделу два

Реализация предлагаемой системы позволяет повысить скорость движения БГМ при выполнении условий вписываемости в ограниченный коридор. Введение гидрозамедлителя с электромагнитным клапаном управления его заполнением и опорожнением ГТ придает БГМ новые свойства: возможность торможения машины позволяет тормозить гусеничную машину, сохраняя возможность управления поворотом. Это свойство особенно эффективно не только при ошибочном превышении водителем скорости входа в поворот, но и при движении машины на спусках по серпантину, т.к. сохраняется управляемость и исключается "заброс" двигателя по оборотам. Расширение номенклатуры датчиков G сенсора - установка датчиков бокового ускорения в кормовой части корпуса - позволяет более точно идентифицировать условия бокового заноса. Кроме того, снижается уровень требований к квалификации водителя и его утомляемость при длительном движении по дорогам ограниченной ширины и низкими сцепными свойствами.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

где X, Y – декартовы координаты, α – курсовой угол, МЦВ – мгновенный центр вращения, F_1, F_2 – силы сопротивления на отстающем и забегающем борту, V_c – линейная скорость центра тяжести, Δ – продольное смещение полюса поворота, L – продольная база машины, B – поперечная база машины, x_1 – поперечное смещение полюса поворота отстающей гусеницы, x_2 – поперечное смещение полюса поворота забегающей гусеницы, $V_{c \text{ бок}}$ – составляющая V_c , направленная перпендикулярно оси корпуса машины, $V_{c \text{ пр}}$ – составляющая V_c , направленная вдоль оси корпуса машины, T_{x1}, T_{y1} – составляющие результирующей силы трения отстающей гусеницы о грунт, T_{x2}, T_{y2} – составляющие результирующей силы трения забегающей гусеницы о грунт, $M_{т1}, M_{т2}$ – результирующие моменты трения отстающей и забегающей гусениц относительно полюсов поворота C_1 и C_2 соответственно, $\omega = d/dt$ – угловая скорость поворота корпуса, V_{c1}, V_{c2} – скорости полюсов поворота отстающей и забегающей гусениц соответственно

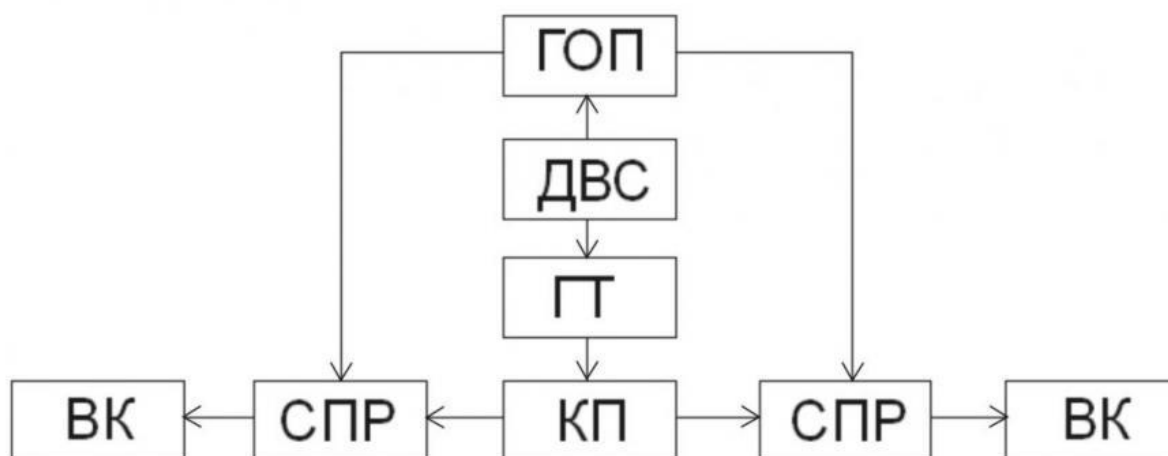


Рисунок 3.2 – Расчетная схема

Перераспределение нормальных сил при повороте: C – центр тяжести, h_c – координата центра тяжести по вертикали, G – сила веса, $F_{ИБ}$ – боковая составляющая силы инерции, N_1 и N_2 – нормальные силы реакции под отстающей и забегающей гусеницей.

В работах Позина Б.М., Гуськова В.В. и Опейко А.Ф. показано, собственно

что для гусеничных машин, у которых пятно контакта гусеницы с грунтом содержит соответствие длины к ширине более 4, позволительно облегчить выражение для сил и этапа трения до одинарных интегралов лишь только по длине. Это приводит к ошибке в некоторое количество %, но кардинальным образом упрощает заключение. Не считая такого, для недеформируемых грунтов, этих как бетон, лед или же укатанная заснеженная проезжая часть, а как раз тут в первую очередь есть угроза заноса, приведены зависимости, в коих числятся неизменными коэффициент трения скольжения и обычное нажим на площадке. С учетом указанных допущений в расчетах математической модели участвуют выражения:

$$M(x, y) = \int_{-L/2}^{L/2} \mu_x q \frac{(y-\eta)^2}{\sqrt{x^2+(y-\eta)^2}} d\eta + \int_{-L/2}^{L/2} \mu_y q \frac{x^2}{\sqrt{x^2+(y-\eta)^2}}, \quad (1)$$

где x и y – коэффициенты взаимосвязи гусениц с грунтом для анизотропного трения,

q – удельное давление на грунт,

x, y – величины смещения полюса поворота относительно центра тяжести машины,

μ – текущая координата по длине опорной поверхности.

В связи с приведенными аргументами в математической модели использованы следующие выражения для боковой силы сопротивления, тяговых усилий на отстающей P1 и забегающей P2 гусеницах и момента сопротивления повороту:

$$R_6 = T_{x1} + T_{x2}; P_1 = T_{y1}; P_2 = T_{y2}; \quad (2)$$

$$M_c = M_{T2} + M_{T1} - T_{y2}(B/2+x_2) + T_{x2}(y) + T_{x1}(y) + T_{y1}(B/2-x_2); \quad (3)$$

Разработанная математическая модель имеет вид:

$$\frac{d^2 X_c}{dT^2} = [(P_2 + P_1 - Pf_1 - Pf_2) \sin \varphi + R_6 \cos \varphi] \frac{g}{G}, \quad (4)$$

$$\frac{d^2 Y_c}{dT^2} = [(P_2 + P_1 - Pf_1 - Pf_2) \cos \varphi + R_6 \sin \varphi] \frac{g}{G}, \quad (5)$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dT^2} = \left[(P_2 - P_1 + Pf_1 - Pf_2) \frac{B}{2} - \text{sign} \frac{d\varphi}{dT} M_c \right] \frac{1}{J_c}, \quad (6)$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dT^2} = [M_\partial i_1 - M_H - M_{ГН} i_2] \frac{1}{J_1}, \quad (7)$$

$$\frac{d\omega_m}{dT} = \left[M_m - \frac{(P_2 + P_1) R_{BK} k}{i_{6\Pi} i_k (k+1)} \right] \frac{1}{J_2}, \quad (8)$$

$$\frac{d\omega_M}{dT} = \left[M_{Гm} - \frac{(P_2 - P_1) R_{BK} k}{i_{6\Pi} i_5 (k+1)} \right] \frac{1}{J_3}, \quad (9)$$

$$\frac{dP_{Гоп1}}{dT} = (Q_{H1} - Q_{M1} - Q_{K11} - Q_{K21} + Q_{K31} - Q_{K41}) \frac{E}{V_1}, \quad (10)$$

$$\frac{dP_{Гоп2}}{dT} = (Q_{M2} - Q_{H2} - Q_{K12} - Q_{K22} + Q_{K32} - Q_{K42}) \frac{E}{V_2}, \quad (11)$$

$$\frac{dP_5}{dT} = (Q_{HB} - Q_{\partial p1} - Q_{KЛ5} - Q_{MY}) \frac{E(P_5, B_5, n_5)}{V_1}, \quad (12)$$

$$\frac{dP_6}{dT} = \frac{dP_3}{dT} + A, \quad (13)$$

$$\frac{dP_3}{dT} = (Q_{\partial p1} - Q_{K31} - Q_{K32} + Q_{K21} + Q_{K22}) \frac{E}{V_3}, \quad (14)$$

$$\frac{dP_7}{dT} = \left(Q_{ш1} - Q_{ш3} - F_n R_n \left(\frac{d\beta_H}{dT} \right) \right) \frac{E(P_7, B_7, n_7)}{V_7}, \quad (15)$$

$$\frac{dP_8}{dT} = \left(-Q_{ш2} - Q_{ш3} - F_n R_n \left(\frac{d\beta_H}{dT} \right) \right) \frac{E(P_8, B_8, n_8)}{V_8}, \quad (16)$$

$$\frac{d^2 \beta_H}{dT^2} = \frac{1}{J_{ш}} \left[(P_7 - P_8) F_n R_n - \Psi \frac{d\beta_H}{dT} - M_{нас} - M_{ну} - M_{тр} \right], \quad (17)$$

где T – текущее время;

s – координаты центра тяжести БГМ;

m – курсовой угол, рад.;

n, t, m – частоты вращения насосного колеса ГТ, турбинного колеса ГТ и мотора ГОП, рад/с;

G – вес машины, Н;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

P_1, P_2 – силы тяги на отстающем и забегающем борту, Н;

Pf_1, Pf_2 – сопротивление передвижению отстающего и забегающего

борта, Н;

R_b – сила сопротивления боковому перемещению, определяемая как сумма поперечных составляющих сил трения гусениц о грунт;

J_C, J_1, J_2, J_3 – момент инерции корпуса относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести, моменты инерции двигателя, турбины ГТ и мотора ГОП, кгм²;

$M_C, M_D, M_H, M_T, M_{GH}, M_{GM}$ – моменты сопротивления, двигателя, насоса ГТ, турбины ГТ, насоса ГОП, мотора ГОП соответственно, Нм;

R_{BK} – радиус ведущего колеса, м;

$i_K, i_1, i_2, i_5, i_{BP}$ – передаточные числа в трансмиссии;

k – параметр суммирующего планетарного ряда;

$P_{гоп1}, P_{гоп2}$ – давления рабочей жидкости в силовых магистралях, МПа;

P_5 – давление рабочей жидкости в магистрали вспомогательного насоса, МПа;

P_6 – давление рабочей жидкости в камере между дросселем и подпиточным клапаном, МПа;

P_7, P_8 – давления рабочей жидкости в силовых цилиндрах механизма управления, МПа;

n – угол поворота наклонной шайбы насоса ГОП, град.;

$E(P, V, n)$ – модуль упругости жидкости, зависящий от давления P , газосодержания V и показателя политропы n ;

Q_i – расходы насоса и мотора ГОП, клапанов, дросселей и др., м³/с;

V_i – объемы соответствующих магистралей м³;

$F_{п}, R_{п}$ – геометрические параметры механизма управления наклонной шайбы м², м;

$J_{ш}$ – момент инерции наклонной шайбы, кгм²;

$M_{НАС}, M_{КУ}, M_{ПР}$ – моменты на элементах механизма управления наклонной шайбы,

N_m – коэффициент вязкого трения наклонной шайбы.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Главные допущения, принятые в математической модели: не предусмотрена упругость составляющих мотора, коробки и ходовой системы; не рассмотрены выборочные свойства дизельного двигателя, всепостоянство данных грунта в любом варианте расчета, статические свойства мотора и гидротрансформатора. Задачам, попавшим в главные допущения предоставленной работы, приурочены к изучению Ф.А. Опейко, А.А. Благонравова, В.И. Красенькова, Б.М. Позина, И.Я. Березина, В.Б. Держанского и иных научных работников. Создатель считает, собственно что автономно от воздействия перечисленных выше характеристик, задача изучения, состоящая в усовершенствовании маневренности БГМ на базе улучшения систем управления, имеет возможность быть достигнута на основе изучения предложенной математической модели. Учет всех перечисленных выше характеристик значительно усложняет математическую модель и нацеливает на заключение иных задач.

Описание работы модели: задающим воздействием в модели является поворот штурвала, например, так как показано на рисунке (см.рисунок 3.1). Поворот штурвала осуществляется за 0,2–0,3 с, машина входит в поворот, затем штурвал удерживается в постоянном положении, машина некоторое время находится в повороте, в момент времени 3 с штурвал выводится в нейтральное положение, машина выходит из поворота. График $U_H(T)$ может иметь любой вид, например синусоиды, единичного скачка возмущений или произвольной функции. Поворот штурвала приводит к изменению моментов на насосе и моторе ГОП по следующим уравнениям:

$$M_{\text{ГОПн}} = P_{\text{ГОП1}} q_n u_n - P_{\text{ГОП2}} q_n u_n - \Delta M_{\text{Гн}}, \quad (18)$$

$$M_{\text{ГОПм}} = P_{\text{ГОП1}} q_m u_m - P_{\text{ГОП2}} q_m u_m - \Delta M_{\text{Гм}}, \quad (19)$$

где $M_{\text{ГОПн}}$ и $M_{\text{ГОПм}}$ – моменты на насосе и моторе ГОП;

$P_{\text{ГОП1}}$ и $P_{\text{ГОП2}}$ – давления в магистралях нагнетания и всасывания ГОП;

q_n и q_m – объёмные постоянные насоса и мотора;

ин и им – параметр регулирования насоса и мотора.

В трансмиссии БМП-3 регулируется насос, связанный через систему управления наклонной шайбой ГОП (см. дифференциальное уравнение 19), со штурвалом. Параметр регулирования мотора остается постоянным и равным единице.

Расходы насоса и мотора формируются уравнениями:

$$Q_{н1} = q_{н} u_{н} \omega_{гопн} - \Delta Q_{гн}, (20)$$

$$Q_{м1} = q_{м} u_{м} \omega_{гопм} - \Delta Q_{гм}, (21)$$

Далее наряду с расходом предохранительного клапана и клапана подпитки они входят в правую часть дифференциального уравнения (12) и формируют давление в магистрали нагнетания $P_{гоп1}$. Аналогично формируется правая часть уравнения (13) для магистрали всасывания.

Факторы насоса и мотора, конкретные уравнениями (19) и (20), входят в правые части дифференциальных уравнений (7) и (9). Частоты вращения мотора, насоса гидротрансформатора и насоса ГОП связаны неизменными передаточными количествами, складываются дифференциальным уравнением (7), и в собственную очередь определяют момент мотора по его статической характеристике. Частоты вращения мотора и мотора ГОП в одно и тоже время определяют частоты вращений основных зубчатых колес. Тяговые старания на забегающем P2 и отстающем P1 борту именно входят в правые части дифференциальных уравнений (4), (5), (6), (8), и (9), а в уравнение (7) – опосредовано сквозь уравнения, описывающие момент на турбине и насосе гидротрансформатора. Нагружающие и модифицирующие качества ГТ числятся по статическим чертам. Давления P5 в трассе дополнительного насоса, P6 в видеокамере меж дросселем и подпиточным клапаном, P7 и P8 в силовых цилиндрах механизма управления ГОП встраиваются в уравнениях (12), (13), (14), (15).

Наклонная шайба ГОП соединена со штурвалом дифференциальной свя-

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

зью, позволяющей независимо от водителя подворачивать её на дополнительный угол. Обратная связь организована по правилам теории автоматического регулирования с включением интегрирующего звена:

$\psi = k_1 \text{шт} + k_2(\text{Кшт} - \text{Кд})dt + k_3(\text{Кшт} - \text{Кд})$, где ψ – относительный угол поворота шайбы насоса ГОП; шт – относительный угол поворота штурвала управления поворотом; Кшт – кривизна траектории по штурвалу; Кд – действительная кривизна траектории центра масс на местности, k_1, k_2, k_3 – постоянные коэффициенты.

3.1 Реализация математической модели в среде программирования VisSim

Система дифференциальных уравнений и уравнения связей приведенные в предыдущей главе, реализованы в программном продукте в среде VisSim, что позволяет наглядно иллюстрировать в виде графиков результаты имитационного моделирования.

В среде VisSim каждое уравнений представляется блок схемой.

Для примера ниже приведены несколько блок схем, основных дифференциальных уравнений и алгебраический уравнений связей:

- блок схема вычисления буксований по бортам;
- дифференциальное уравнение. Определение ускорений центра тяжести по оси X.

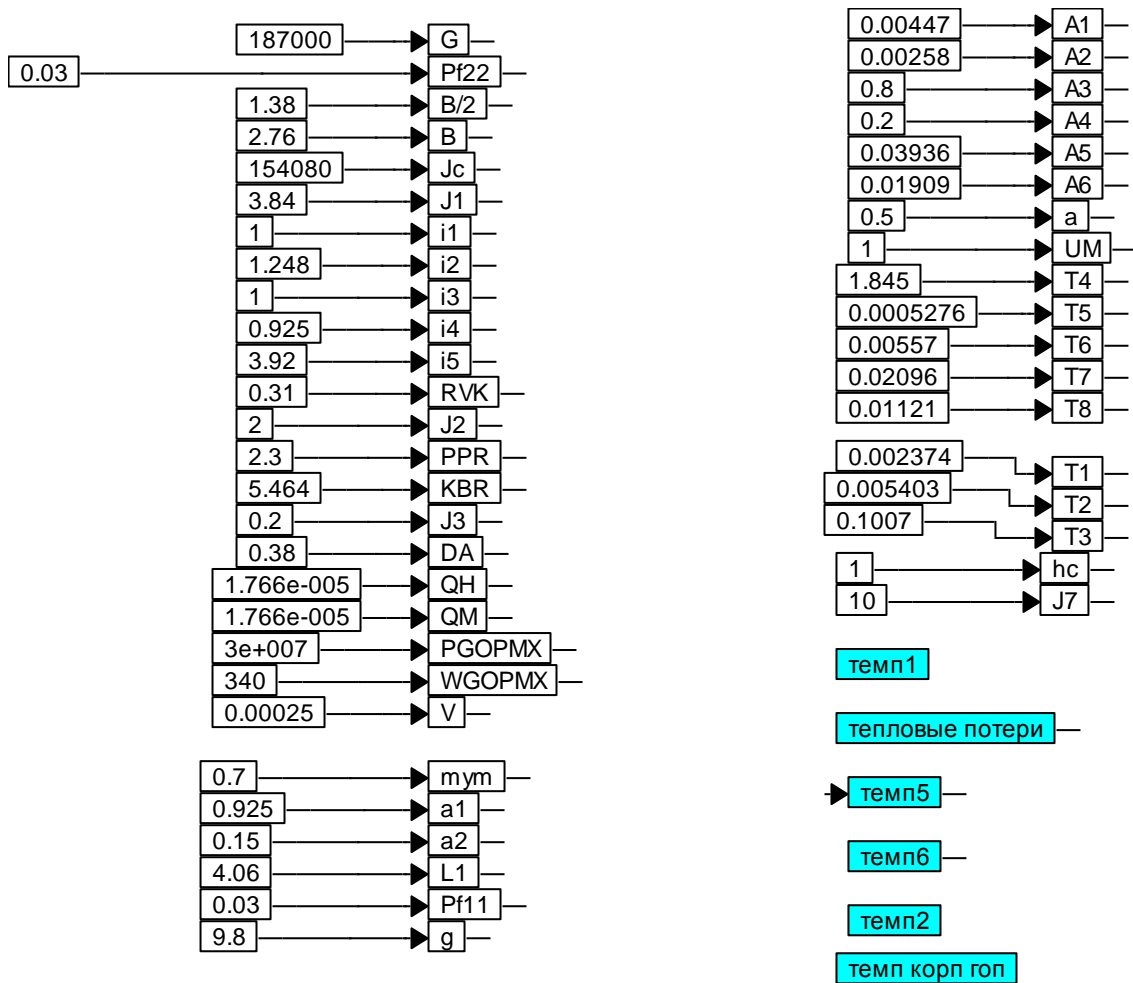


Рисунок 3.3 – Исходные данные

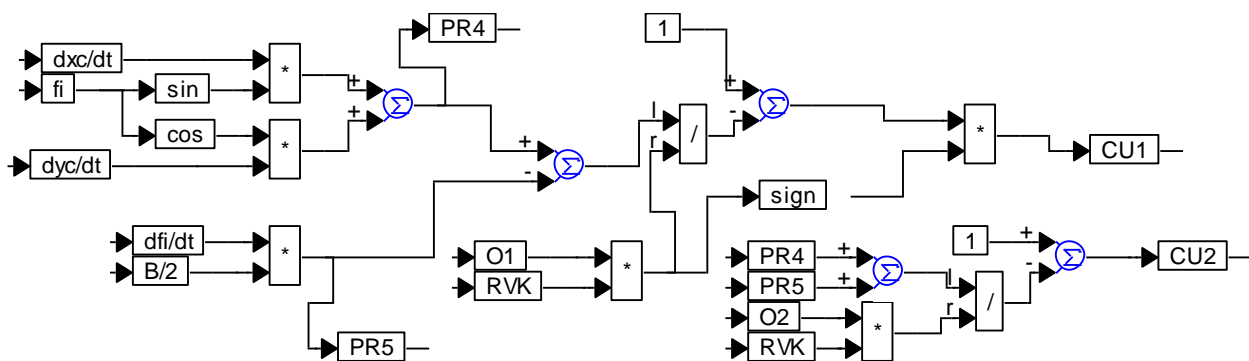


Рисунок 3.4 – Блок схема вычисления буксований по бортам

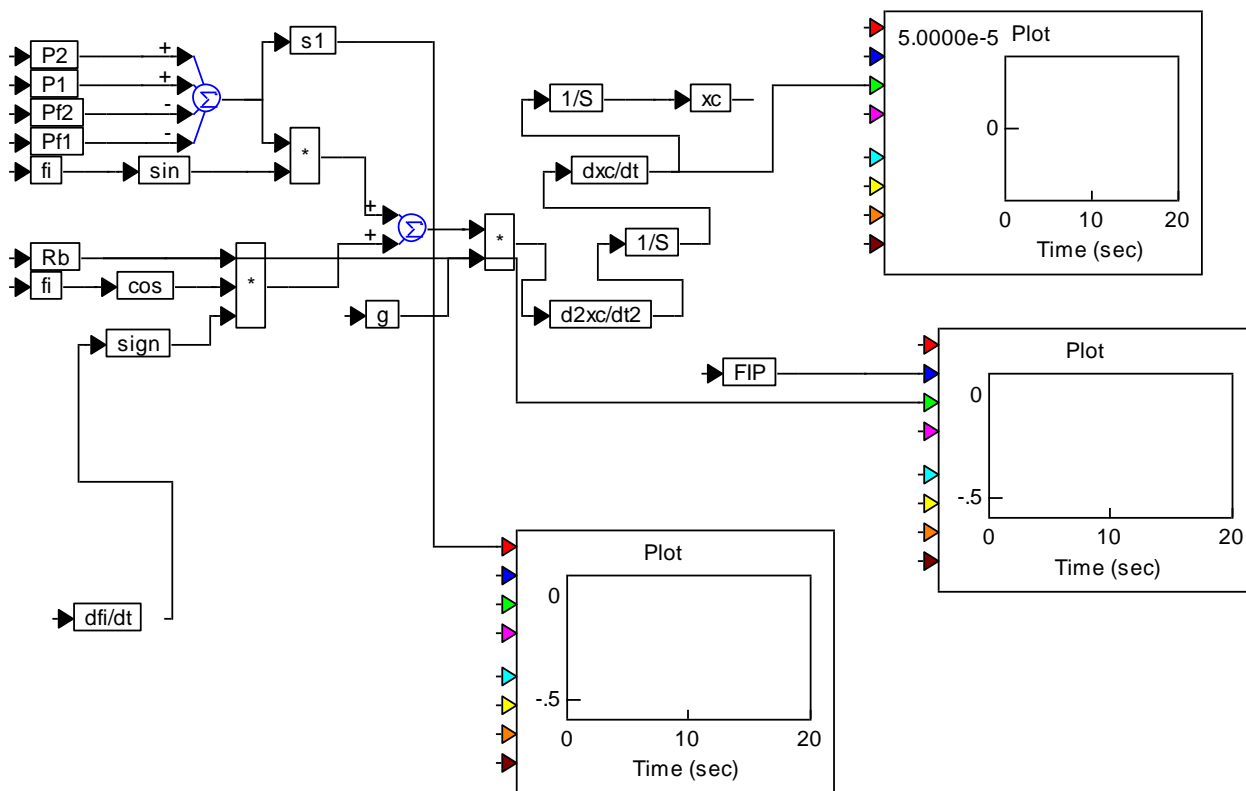


Рисунок 3.5 – Дифференциальное уравнение. Определение ускорений центра тяжести по оси X

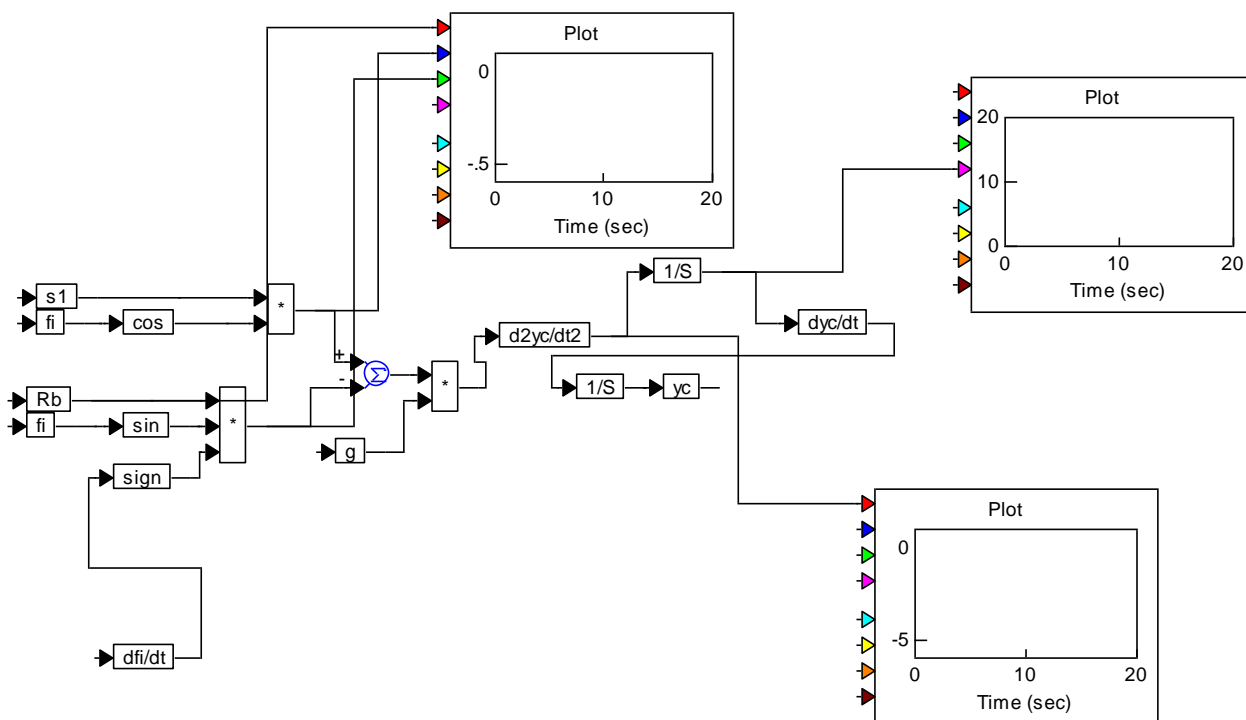


Рисунок 3.6 – Дифференциальное уравнение. Определение ускорение центра тяжести по оси Y

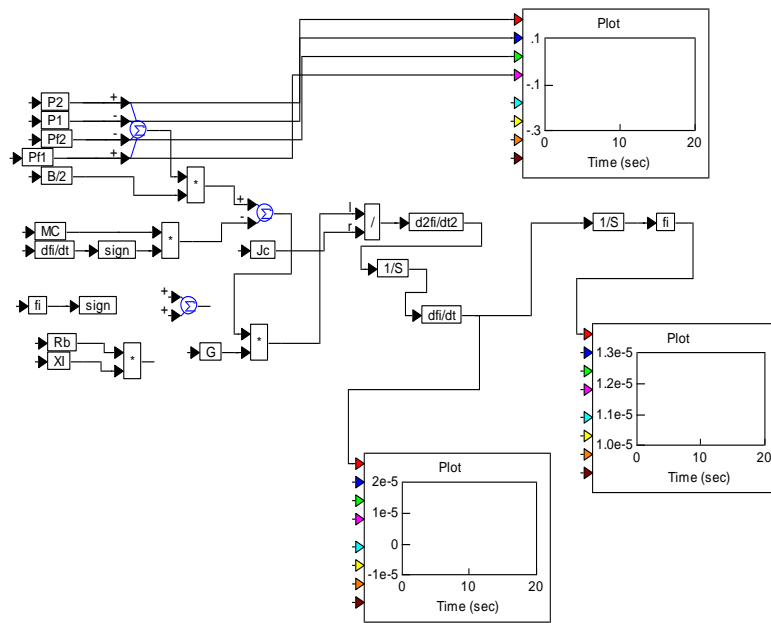


Рисунок 3.7 – Угловое ускорение корпуса машины

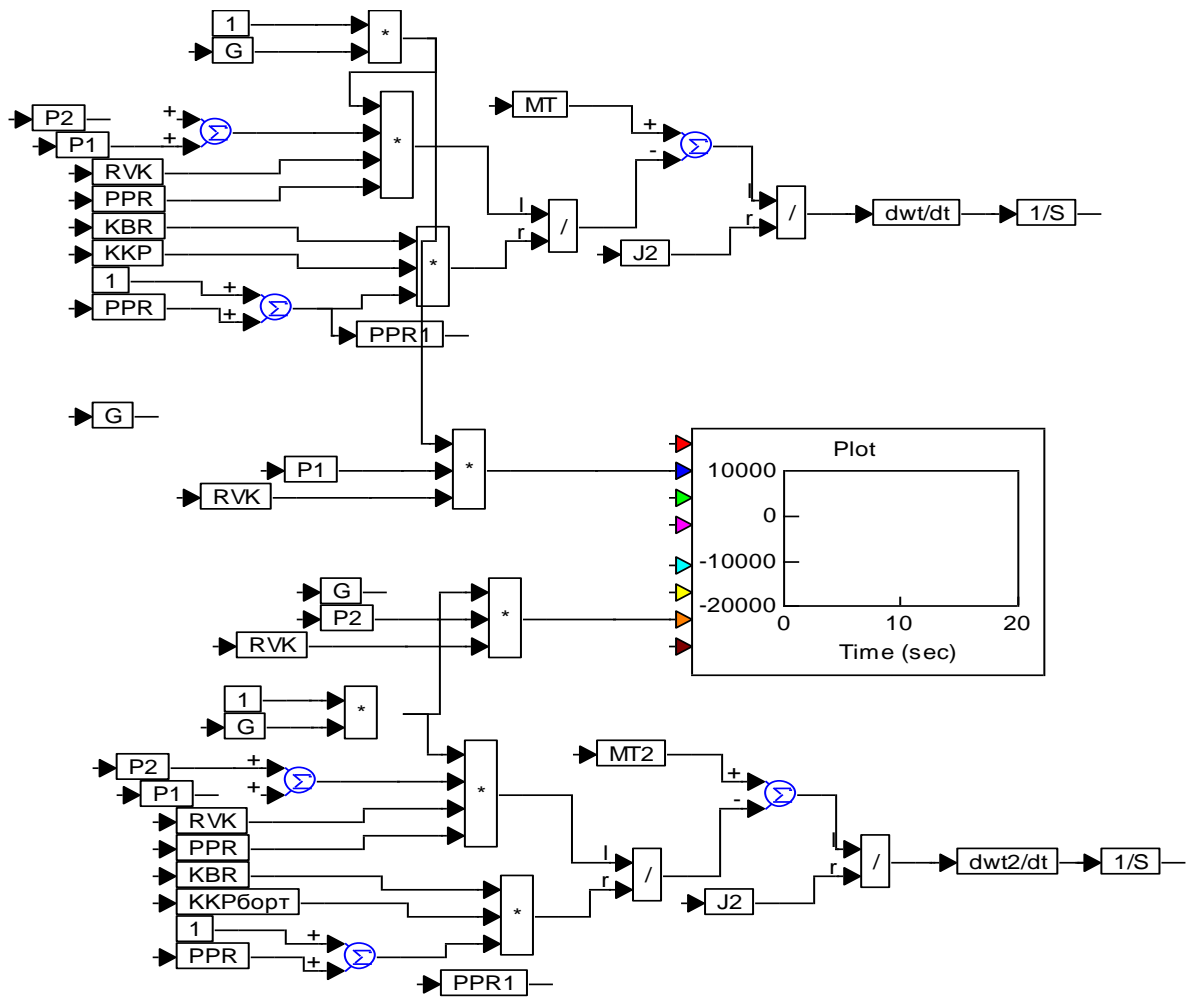


Рисунок 3.8 – Скорость турбины гидротрансформатора

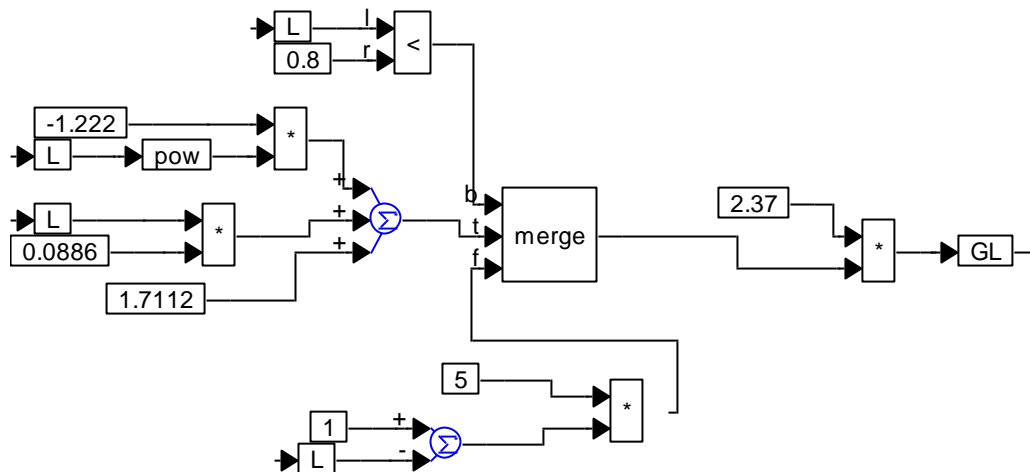


Рисунок 3.12 – Коэффициент момента ГТ

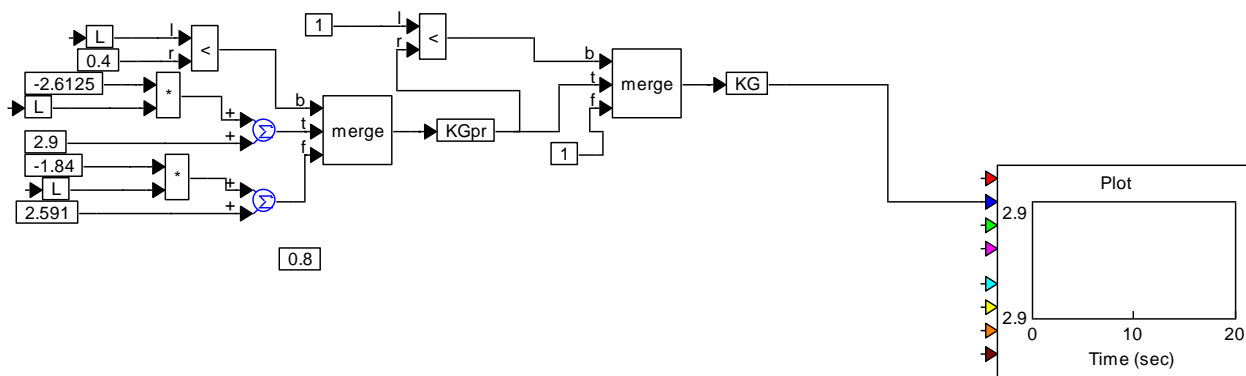


Рисунок 3.13 – Коэффициент трансформации ГТ

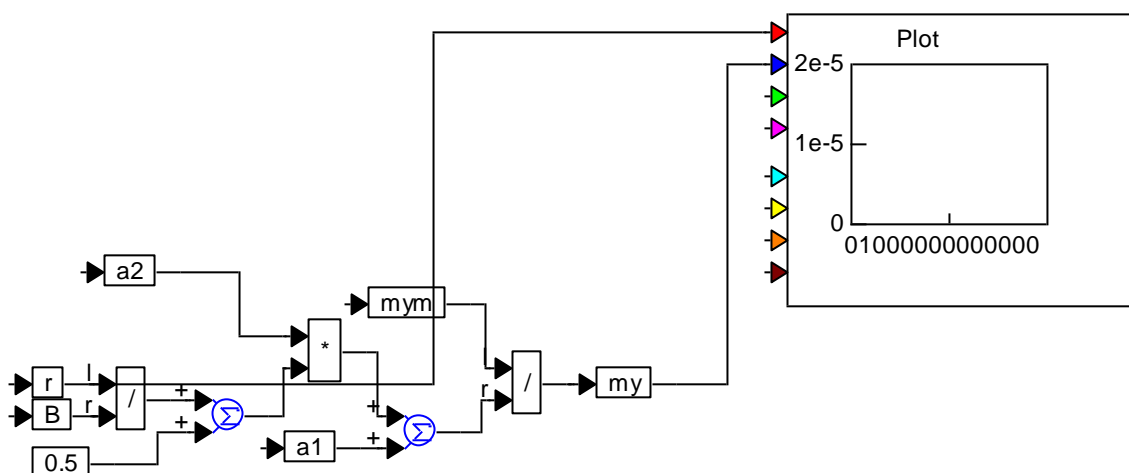


Рисунок 3.14 – Коэффициент сопротивления повороту

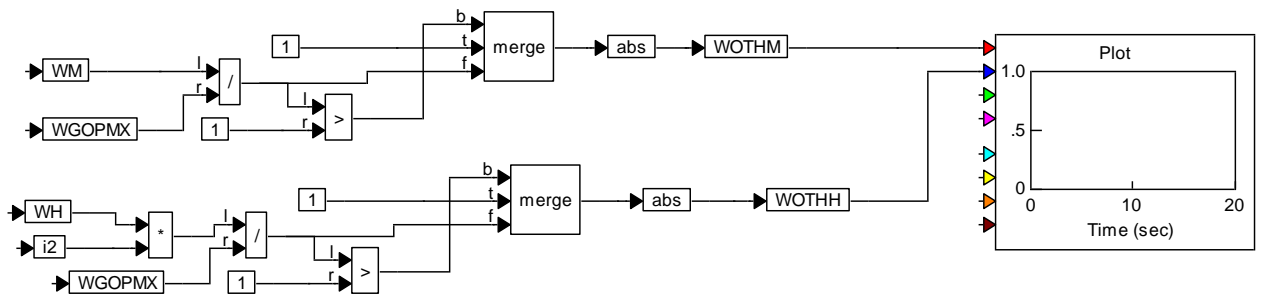


Рисунок 3.18 – Относительная скорость мотора ГОП

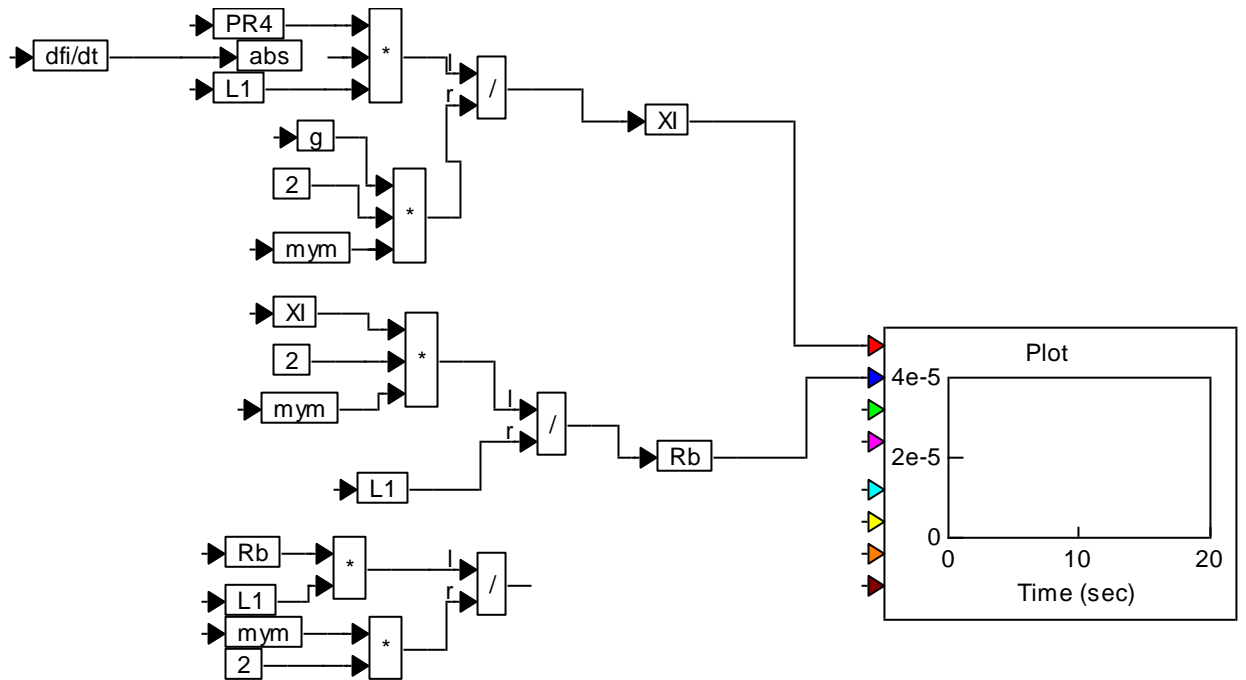


Рисунок 3.19 – Смещение полюса поворота XI

Им введено понятие «динамической управляемости», в развитие термина «управляемости» как бы «статической».

Авторами данной статьи разработан алгоритм управления БГМ в условиях криволинейного движения (поворота), по теории движения [55] считающимся движением за границами заноса.

Первое, что требуется доказать – это энергетическая «выгода» движения на границе или за границей заноса. Для этого проведен ряд математических экспериментов на модели [15] при различных начальных условиях. Условия: поворот на 90 градусов с радиусом 16 метров при скоростях движения БМП-3 на четырех передачах этой машины: 4,7,11,18 м/с. Оценочный параметр – затраченная на маневр энергия. Результаты сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1– Результаты эксперимента при различных начальных условиях.

Передача в КПП	Скорость, м/с	Энергия, прошедшая через магистраль нагнетания ГОП, кДж	Рекуперативная энергия (вернувшаяся через магистраль всасывания) кДж	Затраченная ДВС энергия, кДж
1	4			
2	7	227	45	182
3	11	148	40	108
4	18	108	70	38

Следует иметь в виду, что процесс входа в поворот сопровождается уже установленная АС управления наклонной шайбой насоса ГОП [81]. Давление в магистралях ГОП в процессе входа в поворот показано на рисунке 3.21.

входа в поворот, БГМ достигает соответственно при 18 м/с в момент 6,82 с.; 11 м/с – 2,72 с.; 7 м/с – 10,63 с.

Энергетические показатели поворота с разными скоростями однозначно указывают на облегченность поворота на границе заноса. Трудность состоит в том, что управлять движением БМП на границе заноса проблематично, поэтому целью данной работы является отработка алгоритма управления механизмом поворота с ГОП в автоматическом режиме так, чтобы двигаться на максимально возможной скорости при сохранении устойчивости поворота.

Вторая передача.

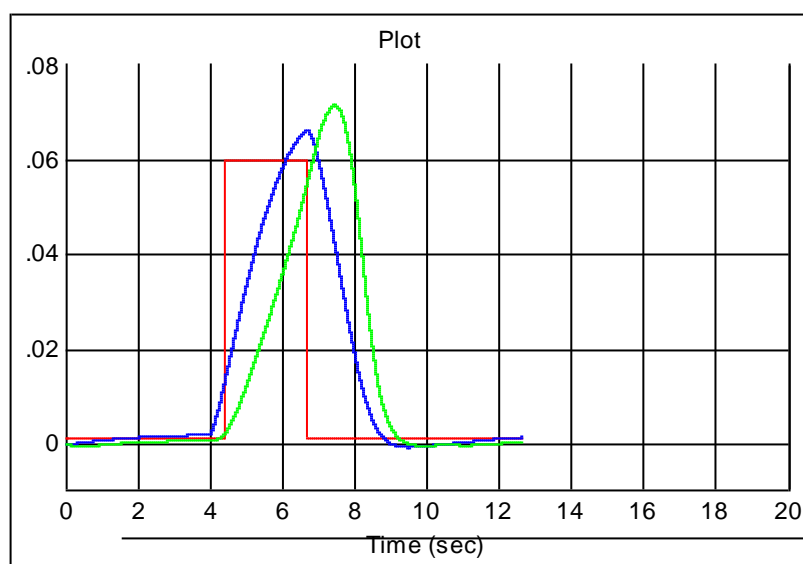


Рисунок 3.23 – Кривизна дороги (красная - кривизна заданной траектории. синяя по штурвалу при 7 м/сек.)

На рисунках 3.23 – 3.25 приведены графики кривизны траектории при движении на разных передачах и совершении одного и того же маневра: поворота на 90 градусов с кривизной 0.06 м^{-1} .

Третья передача.

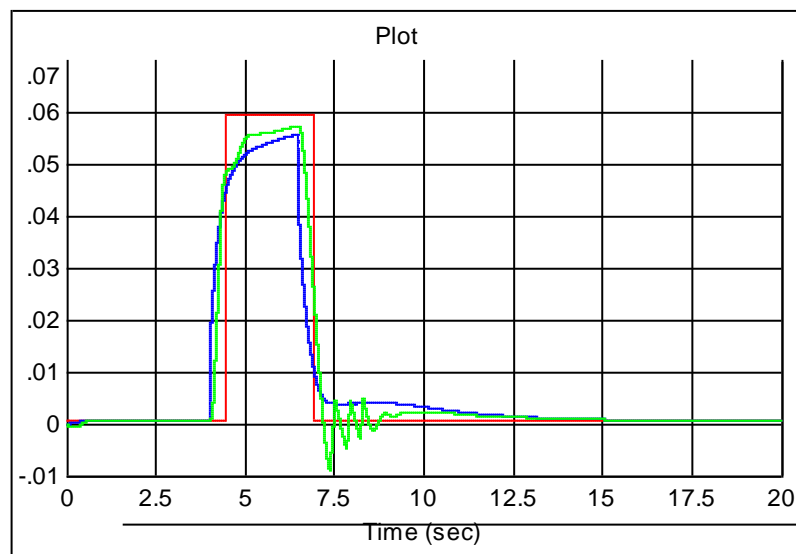


Рисунок 3.24 – Красная – кривизна заданной траектории, синяя – по рулю, зеленая – ЦТ при 11м/сек.

Интересно, что траектория на местности в XY координатах стала похожа на правду:

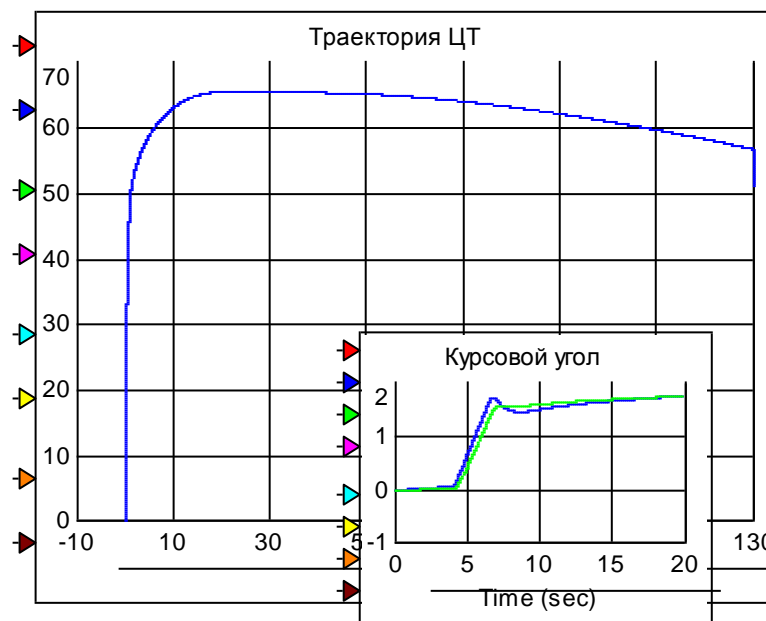


Рисунок 3.25 – Траектория движения БГМ на третьей передаче. Курсовой угол

Курсовой угол $-1,57$ рад – равен повороту на 90 градусов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Далее введено управление двигателем по нормальному ускорению в повороте. Получилось поворачивать на 4 передаче, при скорости 17 м/с за границами заноса. Условие такое: если нормальному ускорению больше 7 м/сек^2 , то снижай подачу топлива до К рейки =0,5.

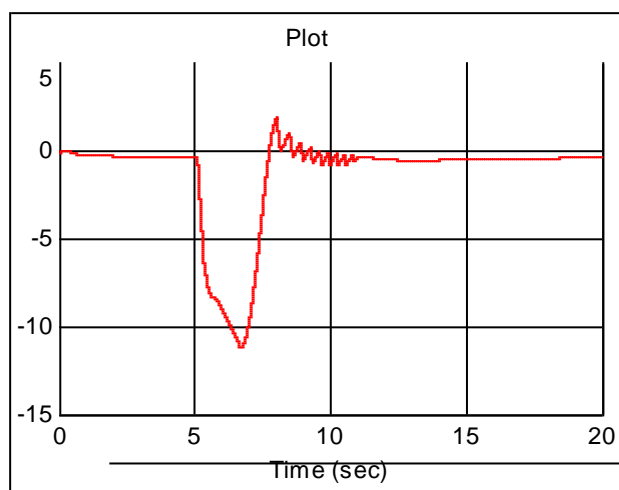


Рисунок 3.26 – Боковое ускорение замеренное в центре тяжести БГМ м/с^2

На графике бокового ускорения видно, что ускорение равно $1g$, это ускорение сопоставимое с самолетными. Да, оно больше 10 м/с^2 , но БМП выкарабкивается из поворота. При чем XI на полтора метра уходит за передние опорные катки.

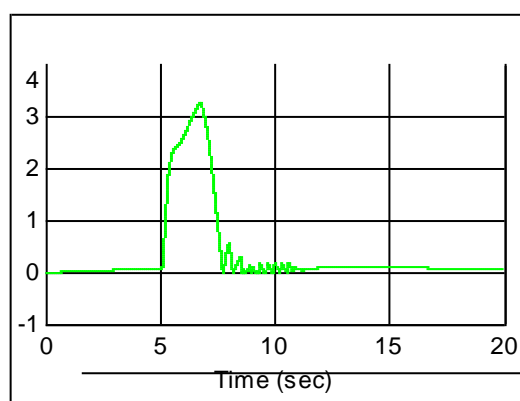


Рисунок 3.27 – Смещение полюса поворота БГМ, в метрах

В классической теории поворота танка считается, что смещение полюса поворота дальше передних опорных катков (в данном случае 2метра) считается

движение с заносом.

В данном случае смещение полюса поворота X почти 3.5 метра, БГМ находится в управляемом заносе.

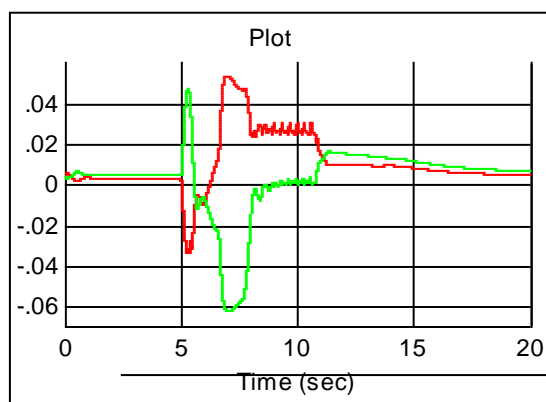


Рисунок 3.28 – Буксование по бортам

Как и предполагалось отстающий борт нагружен положительной силой тяги на рисунке 3.28 красная кривая линия. В классической теории поворота гусеничной машины считается, что тяга на забегающей гусенице положительная, а на отстающей – отрицательная. В теории вообще не рассматриваются переходные процессы входа - выхода из поворота, поэтому и не предполагалось смена направления силы тяги при входе в поворот, а тем более при движении с заносом. Наличие процессов буксования изображенных на рисунке (см. рисунок 3.28) свидетельствует о правильности выбранного управления БГМ в повороте на большой скорости.

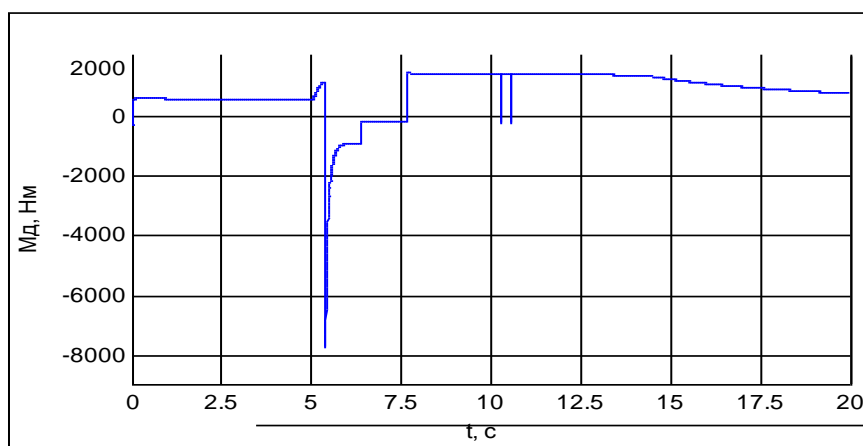


Рисунок 3.29 – ДВС разгружен между 5.5 и 7.5 секунды, во время заноса

По рисунку 3.31 видно, что наклонная шайба ГОП сначала поворачивается сначала в положительную сторону, за тем в отрицательную, т.е. рабочая жидкость сначала поступает в одну магистраль ГОП, ускоряя забегающий борт, а затем в другую магистраль ГОП, ускоряя наоборот отстающий борт БГМ. Надо сказать, что этому способствует встроенный в математическую модель алгоритм управления АС наклонной шайбы насоса ГОП следующим образом: для предотвращения неуправляемого заноса, наклонная шайба насоса ГОП поворачивается сначала в положительную сторону, за тем в отрицательную. Именно это обеспечивает управляемость в заносе (например, как поворот руля в сторону заноса на автомобиле.)

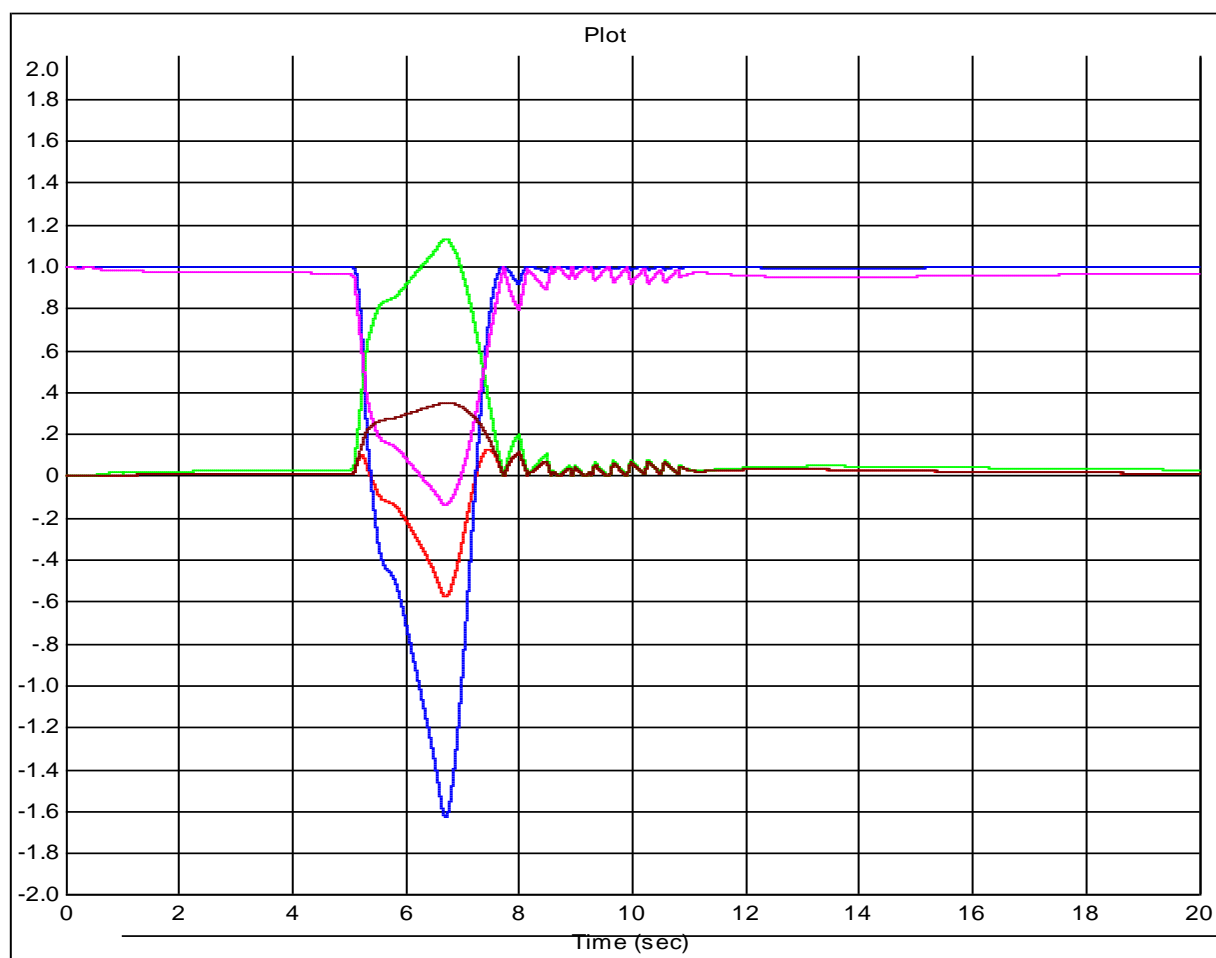


Рисунок 3.32 – Коричневая – момент сопротивления, синяя – момент от силы инерции.

В результате суммарный M_c становится отрицательным, поэтому ГОП с ним борется, качая в магистраль отстающего борта. По рисунку 3.32 видно момент сопротивления грунта гораздо меньше инерционных сил, что позволяет отключить поток мощности от ДВС (см. рисунок 3.29) снижая нагрузку ДВС и обеспечивает поворот БГМ за счет инерционных сил.

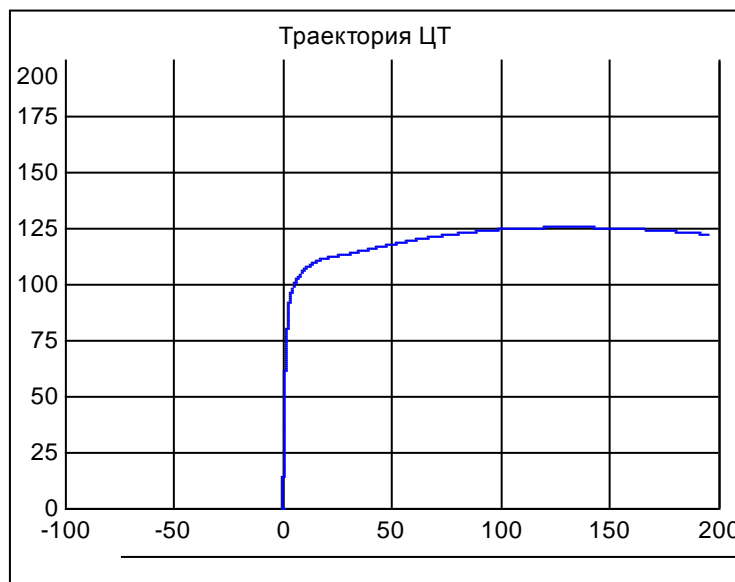


Рисунок 3.33 – Траектория движения центра тяжести

Траектория движения «за угол» по радиусу примерно 16 метров. При этом энергетический выигрыш составляет 160 кДж между 200 КДж (на 2 передаче) и 40 КДж (на 4 передаче). Это обеспечивает экономическую выгоду в экономии топлива .

Выводы по разделу три

Таким образом можно констатировать , что цель и задачи поставленные перед магистерской диссертации выполнены. В результате можно сформулировать признаки движения за границей заноса, полученные в результате математического моделирования управляемого движения в заносе:

- 1 полюс поворота перед передними опорными катками;
- 2 фактическая угловая скорость поворота больше теоретической;

- 3 нагружена магистраль всасывания, она становится магистралью нагнетания, сопротивляется заносу;
- 4 инерционные силы больше, чем силы сопротивления повороту от грунта;
- 5 ДВС разгружен, более того тормозим двигателем при чрезмерном нормальном ускорении, сносящем машину вбок.

При этом работают две АС:

- управления насосом ГОП – по соотношению теоретической и фактической угловым скоростям;
- управления двигателем внутреннего сгорания по нормальному ускорению корпуса в повороте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развита комплексная имитационная математическая модель криволинейного движения быстроходной гусеничной машины, моторно-трансмиссионной установки и системы управления криволинейным движением, отличающаяся введением автоматизированного управления насосом гидрообъемного механизма поворота, двигателя с целью повышения точности управления, обеспечения управляемого движения в заносе и увеличения средней скорости движения.

Установлено, что предложенный критерий оценки управляемости в виде соотношения кривизны траектории задаваемой штурвалом K_t и реализуемой на местности K_f позволяет количественно оценить точность выполнения маневров гусеничной машиной. Кривизна K_f вычисляется как отношение угловой скорости поворота машины в плане, измеряемой гироскопическим датчиком, к продольной теоретической скорости центра тяжести машины, оцененной по частоте вращения выходного вала коробки передач.

Выработаны новые законы управления подачей топлива для управляемого движения в заносе, которые позволили увеличить среднюю скорость выполнения маневров различной кривизны.

Применение автоматизированной системы управления поворотом при разных сцепных свойствах опорной поверхности предотвращает сход машины с заданной штурвалом траектории.

Применение разработанных законов регулирования поворотом для гидро-механической трансмиссии с приводом насоса ГОП механизма поворота от двигателя показало эффективность в поддержании заданной штурвалом кривизны траектории: при увеличении сопротивления движению ошибка управления по кривизне снижается с 50...80% до 5...8% на разных трассах и разных грунтовых условиях.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Абызов, А.А. Моделирование процесса корректирования скорости и траектории движения быстроходной гусеничной машины по местности в соответствии с изменяющимися дорожными условиями / А.А. Абызов, И.Я. Березин // Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: краткие научные сообщения Всероссийской научно-технической конференции. – Курган: Изд. КГУ, 2003. – С. 153–156.

2 Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Марков, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

3 Акишев, Е.С. Способ оценки характеристик механизмов поворота военных гусеничных машин / Е.С. Акишев, В.М. Антонов, Ю.К. Домбровский // Вестник бронетанковой техники. – 1990. – № 6. – С. 51–53.

4 Акишев, Е.С. Новые пути совершенствования зарубежных трансмиссий / Е.С. Акишев, В.М. Антонов, В.И. Разжигаев // Вестник бронетанковой техники. – 1991. – № 2. – С. 65–70.

5 Акишев, Е.С. Оценка трансмиссий военных гусеничных машин с использованием математической модели / Е.С. Акишев // Вестник бронетанковой техники. – 1989. – № 1. – С. 39–42.

6 Акишев, Е.С. Комплексная оценка трансмиссий зарубежных бронемашин пехоты / Е.С. Акишев, В.И. Разжигаев // Вестник транспортного машиностроения. – 1992. – № 4. – С. 60–64.

7 Акишев, Е.С. Методика системной оценки трансмиссий / Е.С. Акишев, В.М. Антонов // Вестник транспортного машиностроения. – 1992. – № 2. – С. 49–52.

8 Александров, Е.Е. Основы автоматики транспортных машин / Е.Е. Александров, В.П. Аврамов. – Киев: Вища шк., 1986. – 86 с.

9 Алымов, Е.Н. Моделирование переходных процессов в гидрообъемном приводе механизма поворота / Е.Н. Алымов, Ю.А. Анимов // Вестник бронетанковой техники. – 1989. – № 4. – С. 39–41.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

10 Анализ результатов моделирования процессов нагружения ГОП МП-300РУ изделия 195 и предложения по совершенствованию механизма поворота: Отчет в рамках НИР № 01030013. – С-Пб.: Изд. ВНИИТрансмаш. – 2001. – 65 с.

11 Анализ возможности применения гидродинамического трансформатора для трансмиссий промышленных тракторов различного назначения / В.Л. Довжик, М.И. Злотник, С.В. Кондаков, Ф.А.Черпак // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – № 12. – С. 13 – 15.

12 Антонов, А.С. Армейские гусеничные машины. Ч. 1. Теория / А.С. Антонов. – М.: Воениздат, 1974, – 432 с.

13 Антонов, А.С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин / А.С. Антонов. – М.: Машиностроение, 1975. – 480 с.

14 Антонов, В.М. Испытания экспериментальной гусеничной машины с гидрообъемной трансмиссией / В.М. Антонов, В.И. Разжигаев // Вестник бронетанковой техники. – 1975. – № 4. – С. 9–15.

15 Апанасик, В.Г. Задача страгивания в теории поворота транспортных и тяговых машин / В.Г. Апанасик, Б.М. Позин, И.П. Трояновская // Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: Краткие научные сообщения Всероссийской научно-технической конференции. – Курган: Изд. КГУ, 2003. – С. 156 –159.

16 Балдин, В.А. Теория и конструкция танков / В.А. Балдин. – М.: Изд. Министерства обороны, 1975. – 442 с.

17 Балдин, В.А. К вопросу определения момента инерции подрессоренного корпуса среднего танка / В.А. Балдин // Вестник бронетанковой техники. – 1961. – № 4. – С. 15–19.

18 Башта, Г.М. Гидравлика, гидромашины и гидропривод / Г.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов. – 2 изд., перер. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

19 Березин, И.Я. Концепция и методы имитационных испытаний мобильной техники (сообщение 1, 2) / И.Я. Березин, А.А. Абызов // Динамика, прочность и износостойкость машин: Международный журнал на электронных носителях. –

Челябинск: Изд. ЧГТУ. – 1996. – Вып. 2, – С. 61–68; 1997. – Вып. 3. – С. 75–82.

20 Березин, И.Я. Регулирование скорости в задаче моделирования движения транспортной машины по случайному профилю / И.Я. Березин, С.Ю. Будинский, П.В. Усольцев // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин. – Челябинск: Изд. ЧПИ, 1985. – С. 118–121.

21 Благонравов, А.А. Динамика управляемого движения гусеничной машины: учебное пособие / А.А. Благонравов, В.Б. Держанский. – Курган: Изд. Курганского машиностроительного института, 1995. – 162 с.

22 Благонравов, А.А. Механические бесступенчатые передачи нефрикционного типа / А.А. Благонравов. – М.: Машиностроение, 1977. – 143 с.

23 Благонравов, А.А. Адаптивное переключение передач транспортных машин / А.А. Благонравов, В.Б. Держанский // Вестник академии транспорта. – Вып. 1. Уральское Межрегиональное отделение, – 1999. – С. 140–143.

24 Благонравов, А.А. Повышение подвижности гусеничного транспортного средства на основе синтеза оптимального управления / А.А. Благонравов, В.Б. Держанский // Динамика и прочность автомобиля: Тезисы доклада IV Всесоюзного научно-технического совещания ИПМ АН СССР, 1990. – С. 33–34.

25 Благонравов, А.А. Математическое моделирование динамики управляемого движения гусеничной машины / А.А. Благонравов, В.Б. Держанский // Динамика систем, механизмов и машин. – Омск: ОмГТУ, 1995. – С. 45–46.

26 Благонравов, А.А. Применение неавтоматических бесступенчатых передач в схемах механизмов поворота / А.А. Благонравов, О.Н. Брилев // Вестник бронетанковой техники. – 1963. – № 4. – С. 44–50.

27 Благонравов, А.А. Определение оптимальных параметров механизма поворота танка / А.А. Благонравов // Вестник бронетанковой техники. – 1960. – № 3. – С. 9–16.

28 Благонравов, А.А. Новые бесступенчатые механические передачи / А.А. Благонравов // Вестник бронетанковой техники. – 1969. – № 5. – С. 19–23.

29 Боевая машина пехоты БМП-3. Тематический сборник статей // Вест

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

ник бронетанковой техники. – 1991. – № 5.

30 Бондарь, В.Н. Обобщенная схема двухпоточного электромеханического редуктора / В.Н. Бондарь, С.В. Кондаков, А.Е. Новосельский // Наука и технологии. Часть 2. Труды XXV Российской школы и XXXV Уральского семинара, посвященные 60-летию Победы. – М., 2005. – С. 394–399.

31 Брилев, О.Н. Исследование динамики поворота танка: автореферат дисс. ... канд. техн. наук / О.Н. Брилев. – М.: Изд-во Академии бронетанковых войск, 1954. – 23 с.

32 Бурцев, С.Е. Основы применения гидрообъемных вариаторов в танковых трансмиссиях / С.Е. Бурцев. – Киев: Изд-во Киевского высшего танкового командного училища, 1983. – 225 с.

33 Быков, Э.М. Выбор параметров бесступенчатого механизма поворота / Э.М. Быков, Л.В. Григоренко, Г.Н. Морозовский // Вестник бронетанковой техники. – 1969. – № 3. – С. 9–12.

34 Вагин, С.Н. Исследование двухпоточных гидромеханических передач силовой установки промышленного трактора: дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Вагин. – Челябинск, 1976. – 185 с.

35 Вараксин, Ю.Н. Влияние гидромеханической трансмиссии на проходимость танков по слабым грунтам / Ю.Н. Вараксин, В.В. Кадобнов // Вестник бронетанковой техники. – 1961. – № 3. – С. 1–7.

36 Васильченков, В.Ф. Военные гусеничные машины: учебник: в 2 частях. Часть I. Трансмиссия и приводы управления. Часть II. Ходовая часть, системы управления, жизнеобеспечения и коллективной защиты / В.Ф. Васильченков. – Рыбинск: Изд. ОАО «РДП», – Рязань: ВАИ, 1998. – 560 с. (Ч. I), – 448 с. (Ч. II).

37 Великанов, А.В. Гиротахометрические платформы для системы управления огнем и системы управления движением военных гусеничных машин / А.В. Великанов, Г.А. Пейсахович, Р.И. Свердлов // Вопросы оборонной техники. – Серия XX. – Выпуск 105. – 1982. – С. 8–12.

38 Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

39 Военные гусеничные машины: учебник: в 4 т. – Т. 1. Устройство. Кн. 2. – М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 1990. – 336 с.

40 Волков, Ю.П. Условия автоматического переключения передач в ступенчатой трансмиссии военных гусеничных машин / Ю.П. Волков, А.А. Дмитриев // Вестник бронетанковой техники. – 1986. – № 1. – С. 04 – 43.

41 Вооруженные силы зарубежных стран: Справочные данные // Зарубежное военное обозрение. – 2006. – № 2 – С. 49 – 79.

42 Воронин, Т.В. Исследование гидрообъемного механизма поворота / Т.В. Воронин, А.К. Сухоруков // Вестник бронетанковой техники. – 1980. – № 3. – С. 31–33.

43 Вязников, М.В. Проблемы повышения управляемости перспективных гусеничных шасси / М.В. Вязников // Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: Краткие научные сообщения Всероссийской научно-технической конференции. – Курган: Изд. КГУ, 2003. – С. 141–144.

44 Гавриленко, Б.А. Гидравлический привод / Б.А. Гавриленко. – М.: Машиностроение, 1968. – 503 с.

45 Гавриленко, Б.А. Гидравлические муфты и трансформаторы / Б.А. Гавриленко, И.Ф. Семичастнов. – М.: Машиностроение, 1969. – 392 с.

46 Герасимов, Г.В. Гидрообъемная трансмиссия гусеничной машины с блокирующей гидропередачей / Г.В. Герасимов // Вестник бронетанковой техники. – 1969. – № 6. – С. 35–40.

47 Гинзбург, Ю.В. Промышленные тракторы / Ю.В. Гинзбург, А.И. Швед, А.П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986. – 293 с.

48 Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учебное пособие / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2002. – 405 с.

49 Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – 11-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2005. – 479 с.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

50 Горшков, Ю.Г. Повышение эффективности функционирования системы «дифференциал – пневматический колесный движитель – несущая поверхность» мобильных машин сельскохозяйственного назначения: дис. ... канд. техн. наук / Ю.Г. Горшков. – Челябинск: ЧГАУ, 1999. – с.

51 Грибанов, Ю.И. Спектральный анализ случайных процессов / Ю.И. Грибанов, В.Л. Мальков. – М.: Энергия, 1974. – 239 с.

52 Гусеничные транспортеры тягачи // под ред. В.Ф. Платонова. – М.: Машиностроение, 1978. – 351 с.

53 Гуськов, В.В. Теория поворота гусеничных машин / В.В. Гуськов, А.Ф. Опейко. – М.: Машиностроение, 1984. – 332 с.

54 Дворниченко, А.А. Исследование процесса схода опорных катков с гусеницы при повороте быстроходной гусеничной машины: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Дворниченко. – Челябинск, 1974. – 159 с.

55 Деденко, Л.Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента / Л.Г. Деденко, В.В. Керженцев. – М.: Изд-во МГУ, 1977. – 112 с.

56 Держанский, В.Б. Оценка и повышение управляемости транспортной гусеничной машины с бесступенчатой трансмиссией на основе синтеза оптимального управления: дис. ... канд. техн. наук / В.Б. Держанский. – Курган: КМИ, 1992. – 152 с.

57 Держанский, В.Б. Критерии управляемости гусеничной машины и синтез оптимального управления: дис. ... д-ра техн. наук / В.Б. Держанский. – Курган, 1997. – 350 с.

58 Держанский, В.Б. Динамика управляемого движения гусеничной машины с информационно-управляющей системой / В.Б. Держанский // Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: Краткие научные сообщения Всероссийской научно-технической конференции. – Курган: Изд. КГУ, 2003. – С. 12 –17.

59 Держанский, В.Б. Экспериментальные исследования динамики поворота гусеничной машины / В.Б. Держанский, К.С. Жебелев, Ю.К. Маркина // Механика

ка и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: Краткие научные сообщения Всероссийской научно-технической конференции. – Курган: Изд. КГУ, 2003. – С. 183–186.

60 Держанский, В.Б. Динамика перемещения подрессоренной массы машины при трогании с места / В.Б. Держанский, С.В. Абдулов // Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: Краткие научные сообщения Всероссийской научно-технической конференции. – Курган: Изд. КГУ, 2003. – С. 206–208.

61 Держанский, В.Б. Имитационная модель динамики процесса трогания гусеничной машины с места / В.Б. Держанский, С.В. Абдулов // Математическое и программное обеспечение научных исследований и обучения: Сборник научных трудов. – Курган: Изд. КГУ, 2000. – С. 134–139.

62 Держанский, В.Б. Алгоритм адаптивного переключения / В.Б. Держанский // Проблемы проектирования неоднородных конструкций: Тезисы доклада XVIII Российской школы. – Миасс, 1998. – С. 25–26.

63 Держанский, В.Б. Экспериментальное исследование динамики прицепной транспортной системы / В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин, А.В. Юркевич // Тезисы докладов XXII Российской школы. – Миасс, 2002. – С. 39.

64 Держанский, В.Б. Динамика процесса трогания гусеничной машины с места / В.Б. Держанский, К.С. Жебелев, А.В. Рылеев // Вестник академии транспорта РФ. Уральское межрегиональное отделение. Выпуск 3 – 4. – Курган: Изд. КГУ, 2001. – С. 304–310.

65 Держанский, В.Б. Устройство для определения параметров буксования при повороте гусеничной машины: А. с. 282698 СССР. – 1987.

66 Держанский, В.Б. Исследование динамики управляемого движения быстроходных гусеничных машин / В.Б. Держанский, К.С. Жебелев, И.А. Тараторкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2006. – Вып. 8. – № 11 (66). – Челябинск: Изд. ЮУрГУ. – С. 114–121.

67 Держанский, В.Б. Адаптивное управление переключением передач

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

гидромеханической трансмиссии на основе мониторинга технического состояния и режимов функционирования / В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2005. – Вып. 7 – № 14 (54). – Челябинск: Изд. ЮУрГУ. – С. 75–84.

68 Динамика быстроходного танка / А.А. Благонравов, С.Е. Бурцев, А.А. Дмитриев и др. – М.: Изд. АБТВ, 1968. – 505 с.

69 Дитрих, Я. Проектирование и конструирование. Системный подход: Пер. с польского / под ред. В.М. Бородянского. – М.: Мир, 1981. – 454 с.

70 Дмитриев, А.А. Выбор момента переключения передачи при автоматизации управления военной гусеничной машины / А.А. Дмитриев, В.Ф. Зубков // Вестник бронетанковой техники. – 1981. – № 2. – С. 48–49.

71 Довжик, В.Л. Исследование совместной работы двигателя и гидротрансформатора промышленного трактора: дис. ... канд. техн. наук / В.Л. Довжик. – Челябинск: ЧПИ, 1974. – 168 с.

72 Дорогин, С.В. Комплексные показатели подвижности танка / С.В. Дорогин // Вестник бронетанковой техники. – 1985. – № 6. – С. 6–8.

73 Демидович, Б.П. Численные методы анализа / Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. – М.: Наука, 1967. – 368 с.

74 Евсеенко, Л.Н. Американская гидромеханическая трансмиссия ХТ-1400 / Л.Н. Евсеенко // Вестник бронетанковой техники. – 1962. – № 1. – С. 40–44.

75 Егоркин, В.В. К определению времени переключения передач в трансмиссии транспортных машин / В.В. Егоркин, В.И. Красеньков // Вестник бронетанковой техники. – 1964. – № 5. – С. 20–23.

76 Егоров, Л.И. Исследование некоторых вопросов управляемости гусеничных машин: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Л.И. Егоров. – М., 1972. – 16 с.

77 Ермишкин, Б.И. О кинематике поворота гусеничной машины с учетом юза и буксования гусениц / Б.И. Ермишкин // Вестник бронетанковой техники. – 1959. – № 4. – С. 19 – 20.

78 Ефремов, А.С. Повышение средней скорости танка Т-80 за счет установки гидрообъемной передачи в трансмиссию / А.С. Ефремов // Вестник бронетанковой техники. – 1990. – № 9. – С. 11–14.

79 Жуковский, Н.Е. Условие равновесия твердого тела опирающегося на неподвижную плоскость некоторой площадкой и могущего перемещаться вдоль этой плоскости с трением / Н.Е. Жуковский // Труды Отделения физических наук Общества любителей естествознания. – т. IX. – вып.1. – 1897.

80 Забавников, Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин / Н.А. Забавников. – М.: Машиностроение, 1968. – 396 с.

81 Зеленин, А.Н. Основы разрушения грунтов механическим способом / А.Н. Зеленин. – М.: Машиностроение, 1968. – 375 с.

82 Злотник, М.И. Разработка основных предпосылок, создание и исследование опытного образца гидромеханической трансмиссии трактора класса 6 тонн: дис. ... канд. техн. наук / М.И. Злотник. – Челябинск: ЧПИ, 1966. – 163 с.

83 Злотник, М.И. Научные основы применения гидродинамических трансформаторов в трансмиссиях гусеничных промышленных тракторов: дис. ... д-ра техн. наук / М.И. Злотник. – М.: НАТИ, 1987. – 385 с.

84 Злотник, М.И. Обобщенная схема двухпоточной гидромеханической передачи с простым планетарным рядом / М.И. Злотник, С.В. Кондаков. – М., 1984. – 10 с. – Деп. в ВИНТИ, № 2887-84 деп.

85 Злотник, М.И. Обобщенный критерий оптимизации нагружающих свойств гидродинамического трансформатора / М.И. Злотник, С.В. Кондаков. – М., 1984. – 9 с. – Деп. в ВИНТИ, № 505тс // Библиографический указатель ВИНТИ «Депонированные научные труды». – 1984. – № 12. – С. 177.

86 Злотник, М.И. Трансмиссии современных промышленных тракторов / М.И. Злотник, И.С. Кавьяров. – М.: Машиностроение, 1971. – 248 с.

87 Измерительный комплекс для ходовых испытаний трансмиссий военных гусеничных машин / А.А. Благоднаров, В.В. Болотов, А.К. Сухоруков. // Вестник бронетанковой техники. – 1983. – № 2. – С. 35–38.

88 Исаков, П.П. Теория и конструкция танка. – Т. 5. Трансмиссии / П.П. Исаков. – Л.: Машиностроение, 1985. – 367 с.

89 Исаков, П.П. Электромеханические трансмиссии гусеничных тракторов / П.П. Исаков. – Л.: Машиностроение, 1981. – 302 с.

90 Исследование динамических нагрузок в подвесках танков / И.Я. Березин, В.А. Козюков, С.Р. Лазуренко. // Вестник бронетанковой техники. – 1968. – № 5–6. – С. 37–41.

91 Исследование двухпоточного дифференциального механизма поворота военной гусеничной машины / А.А. Благоднравов, А.К. Сухоруков, М.П. Саломатина // Вестник бронетанковой техники. – 1987. – № 7. – С. 33 – 37.

92 Исследование переходных процессов в гидрообъемном приводе механизма поворота / Е.Н. Алымов, Ю.С. Бородин, Н.В. Горбатюк // Вестник бронетанковой техники. – 1991. – № 6. – С. 50 – 53.

93 Исследование характеристик криволинейного движения мобильного робототехнического комплекса / В.В. Серебряный, Г.О. Котиев, И.В. Рубцов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2002. – № 4.

94 Кадобнов, В.В. О динамических нагрузках в гидромеханической трансмиссии, возникающих при трогании танка с места / В.В. Кадобнов // Вестник бронетанковой техники. – 1961. – № 2. – С. 17–24.

95 Кадобнов, В.В. Влияние типа трансмиссии на величину перегрузок, возникающих при переключении передач / В.В. Кадобнов // Вестник бронетанковой техники. – 1961. – № 6. – С. 36–40.

96 Кацыгин, В.В. О закономерности сопротивления почв сжатию / В.В. Кацыгин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1962. – № 4. – С. 28–31.

97 Кацыгин, В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров сельскохозяйственных машин и орудий / В.В. Кацыгин // Вопросы сельскохозяйственной техники. – Т. 13. – Минск, 1964. – С. 5 – 147.

98 Кирдяшев, Ю.Н. Многопоточные передачи дифференциального типа /

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Ю.Н. Кирдяшев. – Л.: Машиностроение, 1981. – 222 с.

99 Колесов, В.А. Управление поворотом современных отечественных гусеничных машин / В.А. Колесов // Вестник бронетанковой техники. – 1972. – № 6. – С. 10–13.

100 Колесов, В.А. Развитие механизмов поворота танков / В.А. Колесов // Вестник транспортного машиностроения. – 1993. – № 1. – С. 33–42; – 1993. – № 3–4. – С. 67–73; – 1994. – № 1. – С. 42–48.

101 Колесов, В.А. Состояние и пути совершенствования трансмиссий и систем управления движением военных гусеничных машин / В.А. Колесов // Вестник бронетанковой техники. – 1989. – № 8. – С. 40 – 42.

102 Комбинированный гидрообъемный механизм поворота для танка с бортовыми коробками передач / П.П. Исаков, В.А. Иванов, В.А. Колесов // Вестник бронетанковой техники. – 1984. – № 4. – С. 35–38.

103 Кондаков, С.В. Методика определения КПД гидрообъемной передачи / С.В. Кондаков // Областная научно-практическая конференция «Вклад молодых ученых и специалистов в решение задач технического перевооружения предприятий области: Тезисы докладов и сообщений. – Челябинск, 1989. – С. 27–28.

104 Кондаков, С.В. Выбор параметров моторно-трансмиссионной установки бульдозера с учетом переходных режимов: Дис. ... канд. техн. наук / С.В. Кондаков. – Челябинск: ЧПИ, 1986. – 112 с.

105 Кондаков, С.В. Влияние динамики нагружения на выбор параметров моторно-трансмиссионной установки промышленного трактора / С.В. Кондаков, В.Л. Довжик, М.И. Злотник // Тракторы и сехозмашины. – 1988. – № 1. – С. 17–20.

106 Кондаков, С.В. Влияние регулирования заполнения гидротрансформатора на динамические процессы в гидромеханической трансмиссии / С.В. Кондаков // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин: сб. науч. тр. – Челябинск: ЧПИ, 1983. – С. 116–118.

107 Конев, Ю.А. Управление движением танка при исследовании его управляемости / Ю.А. Конев // Вестник бронетанковой техники. – 1972. – № 4. – С. 14–18.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

108 Конев, Ю.А. Об устойчивости криволинейного движения танка / Ю.А. Конев // Вестник бронетанковой техники. – 1974. – № 2. – С. 18–23.

109 Конструктор Н.Л.Духов и его школа: массово-политическое издание / сост. А.П. Моисеев, В.А. Путин. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 2004. – 448 с.

110 Конструктор танковых дизелей И.Я. Трашутин. Уральская школа двигателестроения: монография / сост. В.А. Путин, В.Н. Бондарь, Ю.В. Рождественский. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 2006. – 560 с.

111 Котиев, Г.О. Принцип адаптивного изменения закона выбора передач, предотвращающего цикличность переключений в автоматической ступенчатой трансмиссии / Г.О. Котиев, М.В. Нагайцев, А.А. Ергин // Многоцелевые гусеничные и колесные машины: разработка, производство, боевая эффективность, наука и образование: Материалы международной научно-технической конференции. – Омск: Изд. ОТИИ, – 2002. – С. 78–79.

112 Красеньков, В.И. Основы теории управляемости транспортных гусеничных машин / В.И. Красеньков. – М.: МВТУ им. Баумана, 1977. – 264 с.

113 Красеньков, В.И. Устойчивость и управляемость гусеничной машины в нелинейной постановке / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин // Вестник бронетанковой техники. – 1970. – № 6. – С. 6–13.

114 Красеньков, В.И. Статическая устойчивость и управляемость гусеничных машин / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин // Вестник бронетанковой техники. – 1970. – № 2. – С. 8–16.

115 Красеньков, В.И. Динамическая устойчивость гусеничной машины и переходные реакции на управление / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин // Вестник бронетанковой техники. – 1970. – № 5. – С. 16–22.

116 Красеньков, В.И. Кинематическое управление криволинейным движением гусеничной машины / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин // Вестник бронетанковой техники. – 1971. – № 5. – С. 17–22.

117 Красеньков, В.И. Динамические характеристики системы «гидрообъёмный механизм поворота – гусеничная машина / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин // Вестник бронетанковой техники. – 1971. – № 6. – С. 13–19.

118 Красеньков, В.И. Сравнительная оценка систем управления гусеничной машины по фазовым частотным характеристикам / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин // Вестник бронетанковой техники. – 1972. – № 4. – С. 10–14.

119 Красеньков, В.И. Влияние упругости трансмиссионных валов и гусениц на управляемость военных гусеничных машин / В.И. Красеньков // Вестник бронетанковой техники. – 1978. – № 6. – С. 5–7.

120 Красеньков, В.И. Имитационное моделирование движения транспортной гусеничной машины и оценка ее реакций на возмущения / В.И. Красеньков, С.А. Харитонов, А.В. Кузявкин // Вопросы расчета и конструирования гусеничных машин: труды МВТУ № 506. – М. – 1988. – С. 126–160.

121 Красеньков, В.И. Динамика криволинейного движения транспортной гусеничной машины / В.И. Красеньков, С.А. Харитонов // Вопросы расчета и конструирования гусеничных машин: труды МВТУ № 339. – М. – 1980.

122 Кристи, М.К. Новые механизмы трансмиссии / М.К. Кристи, В.И. Красеньков. – М.: Машиностроение, 1967. – 216 с.

123 Крюков, А.Д. Выбор трансмиссий гусеничных и колесных машин / А.Д. Крюков, А.Д. Харченко. – М.; Л.: Машиностроение, 1963. – 320.

124 Крюков, А.П. Некоторые вопросы устойчивости радиуса поворота гусеничных машин / А.П. Крюков // Вестник танковой промышленности. – 1949. – № 2. – С. 35–46.

125 Крюков, А.П. Оценка потерь мощности в механизмах поворота с гидрообъёмными передачами / А.П. Крюков // Вестник бронетанковой техники. – 1981. – № 1. – С. 25–28.

126 Куликов, Н.К. Определение оптимальных режимов двигателя внутреннего сгорания с гидродинамическим трансформатором / Н.К. Куликов // Автомобильная и тракторная промышленность. – 1953. – № 2. – С. 22–24.

127 Курков, Б.А. Основные боевые танки / под ред. Б.С. Сафонова, В.И. Мураховского. – М.: Арсенал-Пресс, 1993. – 192 с.

128 Лаптев, Ю.Н. Автотракторные гидротрансформаторы / Ю.Н. Лаптев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.

129 Лаптев, Ю.Н. Динамика гидромеханических передач / Ю.Н. Лаптев. – М.: Машиностроение, 1983. – 104 с.

130 Литвинов, А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.

131 Ловцов, Ю.И. Об использовании гидрообъемной передачи в качестве танковой трансмиссии / Ю.И. Ловцов, Б.А. Пылов // Вестник бронетанковой техники. – 1970. – № 4. – С. 16–21.

132 Ловцов, Ю.И. Имитационное моделирование движения гусеничных машин / Ю.И. Ловцов, В.К. Маслов, С.А. Харитонов. – М.: Изд. МГТУ, 1989. – 60 с.

133 Методика оценки управляемости быстроходных гусеничных машин по экспериментальным данным / В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин // Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 190202 – Многоцелевые гусеничные и колесные машины. – Курган: Изд. Курганского государственного университета, 2006. – 48 с.

134 Мицын, Г.П. Кинематические соотношения при повороте колесной (гусеничной) транспортной машины / Г.П. Мицын, Б.М. Позин, И.П. Трояновская // Техника и технология строительства и эксплуатации автомобильных дорог: сб. науч. тр. МАДИ (ТУ). – М., 2000. – С. 83 – 87.

135 Мицын, Г.П. Модель стационарного поворота транспортной (тяговой) машины / Г.П. Мицын, Б.М. Позин, И.П. Трояновская // Техника и технология строительства и эксплуатации автомобильных дорог: сб. науч. тр. МАДИ (ТУ). – М., 2000. – С. 88 – 92.

136 Мицын, Г.П. Уравнения связей для некоторых случаев стационарного поворота транспортной (тяговой) машины / Г.П. Мицын, Б.М. Позин, И.П. Троя-

новская // Вестник Уральского межрегионального отделения академии транспорта РФ. – Курган: Изд-во КГУ. – 2001. – Вып. 3–4. – С. 274–277.

137 Нарбут, А.Н. Гидротрансформаторы / А.Н. Нарбут. – М.: Машиностроение, 1966. – 216 с.

138 Нарбут, А.Н. О расчете неустановившихся режимов движения автомобиля с гидротрансформатором / А.Н. Нарбут // Автомобильная промышленность. – 1973. – № 1. – С. 29–32.

139 Никитин, А.О. Коэффициент сопротивления μ и тяговый баланс танков при повороте / А.О. Никитин // Вестник танковой промышленности. – 1945. – № 4. – С. 1–8.

140 Никитин, А.О. О механизме поворота для тяжелого танка / А.О. Никитин // Вестник танковой промышленности. – 1945. – № 5–6. – С. 4–9.

141 Никитин, А.О. О рабочем и тяговом балансе танка при повороте / А.О. Никитин // Вестник танковой промышленности. – 1946. – № 1. – С. 6–9.

142 Норенков, И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем / И.П. Норенков. – М.: ВШ, 1980. – 340 с.

143 Об улучшении управляемости быстроходных гусеничных машин / А.М. Кауфман, Д.Б. Каган, В.В. Костромин // Вестник бронетанковой техники. – 1972. – № 3. – С. 7–9.

144 Об устойчивости транспортных (тяговых) машин в режиме стационарного поворота / В.Г. Апанасик, Г.П. Мицын, Б.М. Позин, И.П.Трояновская // Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: Краткие научные сообщения Всероссийской научно-технической конференции. – Курган: КГУ, 2003. – С. 144–147.

145 Объемные гидромеханические трансмиссии / под ред. Е.С. Кисточкина. – Л.: Машиностроение, 1987. – 256 с.

146 Опейко, Ф.А. Колесный и гусеничный ход / Ф.А. Опейко. – Минск: Изд. Академии сельскохозяйственных наук Белорусской ССР, 1960. – 228 с.

147 Опейко А.Ф. Исследование динамики поворота гусеничного хода. –

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

дис. канд. тех. наук / А.Ф. Опейко. – Минск, 1976. – 234 с.

148 Оценка технического уровня трансмиссий зарубежных танков / А.И. Лукьянов, В.А. Сорокин, А.П. Софьин и др. // Вестник бронетанковой техники. – 1984. – № 3. – С. 44 – 47.

149 Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии транспортных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.

150 Петров, В.А. Автоматические системы транспортных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1974. – 336 с.

151 Платонов, В.Ф. Динамика гусеничного движителя / В.Ф. Платонов. – М.: Машиностроение, 1973. – 207 с.

152 Платонов, В.Ф. Гусеничные и колесные транспортные машины / В.Ф. Платонов, Г.Р. Леиашвили. – М.: Машиностроение, 1986. – 296 с.

153 Поворотливость и быстроходность танка с бортовыми коробками передач и гидрообъемной передачей в двухрежимном механизме поворота / В.А. Колесов, В.И. Разжигаев, Е.А. Лебедев, Ю.К. Домбровский // Вопросы оборонной техники. – Серия 6. Бронетанковая техника, 1984. – Вып. 5 (117). – С. 3–7.

154 Повышение средней скорости танка Т-80 за счет установки гидрообъемной передачи в трансмиссию / А.С. Ефимов, А.Н. Макоклюев, А.Ф. Перепелица, В.Н. Соколенко // Вестник бронетанковой техники. – 1990. – № 9. – С. 11–14.

155 Позин, Б.М. Основные конструктивные параметры гусеничных тракторов и их ограничение по повороту: дис. канд. техн. наук / Б.М. Позин. – Челябинск: ЧПИ, 1967. – 188 с.

156 Позин, Б.М. Совершенствование параметров промышленных тракторов (теория, эксперимент, внедрение): дис. д-ра техн. наук в форме доклада / Б.М. Позин. – М.: МАДИ, 1991. – 62 с.

157 Позин, Б.М. Кинематические соотношения при взаимодействии движителя с грунтом на повороте / Б.М. Позин, И.П. Трояновская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2005. – Вып. 7 – № 14 (54). – Челябинск: Изд. ЮУрГУ. – С. 93 – 96.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

158 Позин, Б.М. О применении метода Даламбера к составлению уравнений криволинейного движения транспортной машины / Б.М. Позин, И.П. Трояновская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2006. – Вып. 8 – № 11 (66). – Челябинск: Изд. ЮУрГУ. – С. 37–39.

159 Прокофьев, В.Н. Гидравлические передачи колесных и гусеничных машин / В.Н. Прокофьев. – М.: Воениздат, 1960. – 246 с.

160 Рождественский, Ю.Л. О формировании реакций при качении упругого колеса по недеформируемому основанию / Ю.Л. Рождественский, К.Ю. Машков // Труды МВТУ. – 1982. – № 390. – С. 56–64.

161 Савочкин, В.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых машин / В.А. Савочкин, А.А. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1993. – 320 с.

162 Свешников, А.А. Прикладные методы теории случайных функций / А.А. Свешников. – М.: Наука, 1968. – 464 с.

163 Сергеев, Л.В. Теория танка / Л.В. Сергеев. – М.: Изд. Академии бронетанковых войск, 1973. – 494 с.

164 Сергеев, Л.В. Построение характеристики поворота гусеничной машины, снабженной гидромеханической трансмиссией, с учетом потерь мощности в силовой передаче и гусеничном движителе / Л.В. Сергеев, В.В. Кадобнов // Вестник бронетанковой техники. – 1959. – № 6. – С. 1–12.

165 Смолин, В.В. Управляемость военных гусеничных машин / В.В. Смолин, А.П. Софьян // Вестник бронетанковой техники. – 1981. – № 2. – С. 5–7.

166 Степанов, А.Д. Поворот гусеничной машины с электротрансмиссией / А.Д. Степанов // Вестник танковой промышленности. – 1945. – № 12. – С. 11–18; 1947. – № 1. – С. 10–18.

167 Солодовников, В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования: учебное пособие. // В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев. М.– Машиностроение. – 1985. – 536 с.

168 Тарасик, В.П. Математическая модель трактора для исследования тяговой динамики / В.П. Тарасик // Тракторы и сельхозмашины. – 1981. – № 4.

169 Тарасов, В.В. О действительном радиусе поворота танка / В.В. Тарасов // Вестник бронетанковой техники. – 1962. – № 5. – С. 18–22.

170 Тараторкин, И.А. Прогнозирование вибронагруженности дотрансформаторной зоны трансмиссии транспортной машины и синтез гасителей крутильных колебаний: дис. ... канд. тех. наук / И.А. Тараторкин. – Курган, 2003. – 193 с.

171 Технический потенциал моторно-трансмиссионной установки промышленного трактора с двигателем постоянной мощности / В.Л. Довжик, М.И. Злотник, С.В. Кондаков, В.В. Кийко // Исследование гидротрансмиссий тракторов и сельхозмашин: сб. науч. тр. НПО НАТИ. – М.: НАТИ, 1988. – С. 4 – 10.

172 Трояновская, И.П. Повышение эффективности малогабаритного погрузчика путем улучшения его поворотливости: дис. ... канд. техн. наук / И.П. Трояновская. – Челябинск: ЧГАУ, 2002. – 228 с.

173 Турецкий, И.Ю. Технические требования к сферическим элементам гидрообъемных передач танков и колесных машин высокой проходимости и технологические методы их обеспечения / И.Ю. Турецкий, А.Г. Петрова // Вестник бронетанковой техники. – 1966. – № 5. – С. 37–46.

174 Управление танком с бортовыми коробками передач и ГОП в двухрежимном механизме поворота / В.А. Колесов, В.М. Антонов, В.И. Разжигаев, Ю.К. Домбровский // Вопросы оборонной техники. – Серия 6. Бронетанковая техника, 1984. – Вып. 5 (117). – С. 7–10.

175 Устьянцев, С.В. Боевые машины УВЗ. Танк Т-72 / С.В. Устьянцев, Д.Г. Колмаков. – Н.Тагил: Издательский дом «Медиа-принт», 2004. – 200 с.

176 Фаробин, Я.Е. Теория поворота транспортных машин / Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1970. – 212 с.

177 Фаробин, Я.Е. Некоторые вопросы синтеза схем бесступенчатых механизмов поворота тяжелых гусеничных машин / Я.Е. Фаробин // Вестник бронетанковой техники. – 1960. – № 3. – С. 24–28.

178 Фаробин, Я.Е. О вариации радиуса поворота гусеничных машин / Я.Е. Фаробин // Вестник бронетанковой техники. – 1963. – № 5. – С. 31–38.

179 Фаробин, Я.Е. Анализ и оценка бесступенчатого механизма поворота танка «Леопард» / Я.Е. Фаробин // Вестник бронетанковой техники. – 1969. – № 2. – С. 50–53.

180 Холодов, А.М. Основы динамики землеройно-транспортных машин / А.М. Холодов. – М.: Машиностроение, 1968. – 156 с.

181 Чобиток, В.А. Теория движения танков и БМП / В.А. Чобиток. – М.: Военное изд., 1984. – 263 с.

182 Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. – 2 изд., перер. и доп. – М.: Колос, 1972. – 384 с.

183 Hydrostatic transmission for steering high speed military track laying fighting vehicles / Bagget F.W. “Int. Conf. Integr. Engine Transmiss. Syst., Bath, 8–9 July, 1986”. London, 1986. – P. 163 – 176.

184 Guided weapon control systems / P.Garnell, D.J.East. – Pergamon press. Oxford. New York. Toronto. Sydney. Paris. Frankfurt. – 1977. – 282 p.

185 Jane’s defense weekly. Volume 42. Issue 1 – 52. – 2005.

186 Jane’s defense weekly. Volume 43. Issue 1 – 52. – 2006.

187 Jane’s intelligence review. Volume 11. – N 3, – N 12. – 1999.

188 Jane’s intelligence review. Volume 12. – N 1, – N 2. – 2000.

189 Jane’s international defense review. – N 2 – 5, 2001.

190 Бекетов, С.А. Повышение средней скорости движения танка за счет улучшения управляемости. – Дисс. ... канд. техн. наук – М.: ВА БТВ, 1992. – 139 с.

191 Заславский, В.И. Краткий курс расчета танков и их механизмов. – М.: Воениздат, 1932. – 128 с.

192 Львов, Е.Д. Тракторы, их конструкция и расчет. – 2-е изд. – М.–Л.: Госнаучтехиздат, 1931. – 655 с.

193 Опейко, Ф.А. Анизотропное трение. – Труды Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства. – М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1948, – С.114–123.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

194 Опейко, Ф.А. Экспериментальное исследование анизотропного трения // МИМЭСХ : Сб. Научно-технических работ. – М.: Советская наука, – 1952. – С. 57–64.

195 Смолин, В.В. Улучшение управляемости при криволинейном движении на критических скоростях. – Дисс. ... канд. техн. наук. – М.: ВА БТВ, – 1986. – 201 с.

196 Красеньков, В.И. Линейная математическая модель для исследования устойчивости движения и управляемости транспортной ГМ / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин // Известия ВУЗов. Машиностроение, – 1971, – № 3, с. 38–43.

197 Красеньков, В.И. Математические модели криволинейного движения транспортной ГМ по недеформируемому основанию / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин, С.А. Харитонов // Известия ВУЗов. Машиностроение, – 1984, – № 5, с. 81–85.

198 Девятковский, Ф.А. Оценка влияния скорости на криволинейное движение и разработка требований к механизмам поворота танка. – Дисс. ... канд. техн. наук. – М.: ВА БТВ, – 1978. – 115 с.

199 Кондратенко, С.А. Пути повышения средней скорости танка за счет совершенствования его поворотливости. – Дисс. ... канд. техн. наук. – М.: ВА БТВ, – 1983. – 190 с.

					ЮУрГУ 23.04.02.2019.033	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80