

На правах рукописи

Сафонов Борис Андреевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МУФТАМИ  
БЛОКИРОВКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ В ТРАНСМИССИИ  
МНОГООСНОЙ КОЛЁСНОЙ МАШИНЫ**

Специальность 05.05.03 – Колёсные и гусеничные машины

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедре колесных машин федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Научный руководитель: **Смирнов Александр Анатольевич**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
колесных машин МГТУ им. Н.Э. Баумана

Официальные оппоненты: **Келлер Андрей Владимирович**,  
доктор технических наук, профессор,  
проректор по стратегическому развитию  
федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Южно-Уральский  
государственный университет  
(национальный исследовательский  
университет)»

**Чернышев Николай Васильевич**,  
кандидат технических наук, ведущий  
инженер-конструктор государственного  
научного центра Российской Федерации  
Федерального государственного унитарного  
предприятия «Центральный научно-  
исследовательский автомобильный и  
автомоторный институт «НАМИ»

Ведущая организация:  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Ижевский государственный  
технический университет имени  
М.Т. Калашникова»

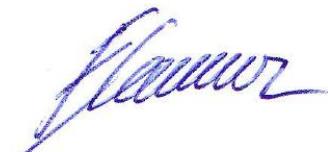
Защита диссертации состоится " 27 " июня 2017 г. в 16.30 на заседании диссертационного совета Д 212.141.07 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба  
выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана и на сайте [www.bmstu.ru](http://www.bmstu.ru).

Автореферат разослан " " 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета, д.т.н., профессор



Е.Б. Сарач

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Интенсивное развитие многоосной колёсной техники (Рис. 1) в РФ связано с решением различных транспортных и специальных задач, в том числе для военных целей. Определяющими факторами эффективности и успешности выполнения таких задач является среднетехническая и максимальная скорости движения транспортных средств, а также энергоэффективность, в том числе в сложных дорожных условиях. Повышению подвижности автомобильных шасси способствуют такие эксплуатационные свойства как проходимость и управляемость. Стоит заметить, что повышение мощности силовых установок транспортных средств не всегда приводит к улучшению показателей проходимости, а определяющим фактором является возможность реализации располагаемой мощности на грунтах со слабыми сцепными свойствами. Такой подход подразумевает рациональное распределение крутящего момента между колёсами транспортных средств. Одним из способов повышения подвижности транспортных средств в совокупности с повышением энергоэффективности является управление трансмиссией колёсных машин в меняющихся дорожных условиях, в частности, управление муфтами блокировки дифференциалов.



Рис. 1. Современные образцы многоосной колёсной техники

Для многоосных колёсных машин (КМ) количество дифференциалов трансмиссии может доходить до 7-ми (КМ 8x8) и более. Управление таким количеством дифференциалов увеличивает напряжённость труда и подразумевает высокую квалификацию водителя. Кроме того, несвоевременное выключение механических блокировок или включение во время движения может привести к поломкам элементов трансмиссии. Поэтому автоматизация управления муфтами блокировок дифференциалов является актуальной задачей.

Цели и задачи. Целью данной работы является реализация эксплуатационных свойств, то есть возможностей эффективного использования многоосной колёсной машины, снижение трудозатрат водителя и требований к его квалификации путём автоматизации управления муфтами блокировки дифференциалов трансмиссии.

Для достижения цели в данной работе поставлены и решены следующие задачи:

- 1) сделан обзор и анализ состояния вопроса по конструкциям кулачковых сцепных муфт, моделированию процессов включения кулачковых муфт и автоматизации управления дифференциалами трансмиссий колёсных машин;
- 2) разработана математическая модель процесса включения и выключения кулачковых муфт блокировки дифференциалов;
- 3) разработан закон включения кулачковой муфты блокировки дифференциалов колёсных машин, и экспериментально подтверждена его работоспособность;
- 4) разработан метод определения законов управления муфтами блокировки дифференциалов в трансмиссии многоосных колёсных машин;
- 5) проведён анализ работоспособности разработанного закона управления муфтами блокировки дифференциалов для колёсной машины 8x8.

Методы исследований. Исследования проводились путём математического моделирования процессов, возникающих при включении кулачковой муфты, и математическим моделированием динамики криволинейного движения многоосной колёсной машины по различным опорным основаниям. Экспериментальные исследования проводились на специально разработанном стенде для отработки закона управления кулачковой муфтой и электромеханическом стенде, основой для которого послужил ведущий мост грузового автомобиля фирмы MAN с возможностью блокировки межколёсного дифференциала.

Научная новизна заключается:

- в разработке математической модели процесса включения и выключения зубчатой муфты блокировки дифференциалов, отличающейся учётом геометрических особенностей поверхностей зуба;
- в разработке закона управления включением кулачковой муфты блокировки дифференциалов, отличительной особенностью которого является учёт взаимного положения кулачков полумуфт;
- в разработке метода определения закона управления муфтами блокировки дифференциалов трансмиссии, отличающегося использованием математической модели включения муфты блокировки дифференциалов в модели динамики колёсной машины, а также определением закономерностей включения муфт по относительной разности угловых скоростей блокируемых элементов трансмиссии и выключения муфт по условиям сохранения поворачиваемости и управляемости колёсной машины;

- в разработке закона управления муфтами блокировки дифференциалов в трансмиссии колёсной машины 8x8, отличительной особенностью которого является выбранная последовательность включения и выключения муфт, а также использование в качестве входных параметров относительной частоты вращения элементов трансмиссии, скорости движения и положения управляемых колёс.

Практическая значимость полученных результатов заключается в:

- в разработке алгоритма работы системы управления включением кулачковых муфт;
- в разработке пакета прикладных компьютерных программ для реализации метода определения закона управления муфтами блокировки дифференциалов для многоосных колёсных машин;
- в разработке алгоритма работы системы управления муфтами блокировки дифференциалов для колёсной машины 8x8 КАМАЗ 65601;
- в разработке экспериментального электромеханического стенда для исследования процессов работы муфты блокировки дифференциала.

Реализация результатов работы. Результаты работы используются при выполнении соответствующих опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ в НИИ Специального Машиностроения, на кафедре МГТУ им. Н.Э. Баумана. Результаты работы внедрены в практику проектирования в ПАО «КАМАЗ» и используются в учебном процессе при подготовке инженеров на кафедре «Колёсные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы заслушивались и обсуждались:

- 1) на научно-технических семинарах кафедры колёсных машин МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2013-2017;
- 2) на технических совещаниях в ГНЦ РФ ФГУП НАМИ. М., 2014;
- 3) на 3-ей ежегодной национальной выставке «ВУЗПРОМЭКСПО-2015». М., 2015;
- 4) на московском международном форуме инновационного развития «Открытые инновации – 2015». М., 2015.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 3 научных статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ общим объёмом 1,6 п.л.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, общих результатов и выводов, списка литературы. Работа изложена на 116 листах машинного текста, содержит 97 рисунка, 3 таблицы. Список литературы содержит 54 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования: разработка закона включения кулачковой муфты, который позволит обеспечить создание автоматизированных систем управления трансмиссией, и разработка метода определения законов управления муфтами блокировки дифференциалов в трансмиссии многоосных колёсных машин, который позволит получать закон управления трансмиссией с учётом сохранения управляемости и поворачиваемости колёсной машины; приведено краткое содержание выполненных исследований, сформулирована цель работы и отражены основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе диссертации проведён анализ состояния вопроса по различным способам управления трансмиссией многоосных колёсных шасси для оптимального распределения мощности между колёсами. Вопросами проходимости колёсных машин занимались научные школы МГТУ, МАМИ, МАДИ, НАМИ, Академии БТВ, 21-й НИИ АТ и др. Выявлены преимущества и недостатки различных подходов реализации управления подводимым крутящим моментом. Проанализированы работы, описывающие теоретические исследования движения многоосных колёсных машин таких авторов как А.С. Антонов, П.В. Аксёнов, Я.С. Агейкин, А.Ю. Барыкин, С.В. Бахмутов, Б.Н. Белоусов, Н.Ф. Бочаров, В.Ф. Васильченков, В.В. Ванцевич, А.Т. Скобейда. Сделан вывод о существенном увеличении суммарной тяговой силы многоосных колёсных машин при использовании блокированных связей при движении в сложных дорожных условиях. Отмечена необходимость создания автоматических систем распределения мощности в резко меняющихся дорожных условиях. Сделан вывод о несущественном влиянии блокировок межколёсных дифференциалов на проходимость колёсных машин с колёсной формулой 8x8, в отличие от блокировки межосевых и межтележечного дифференциалов.

Исследованием процессов включения кулачковых муфт занимались такие отечественные учёные как В.С. Поляков, И.Д. Барбаш, О.А. Ряховский, Д.Н. Решетов и др. Ими были сформулированы критерии работоспособности зубчатых муфт, определены предельные напряжения смятия при различных условиях включения. В данной главе сделан обзор различных конструкций кулачковых сцепных муфт (Рис. 2), применяемых для блокировки дифференциалов трансмиссии. Сделан патентный поиск специальных устройств, обеспечивающих безударное и надёжное включение кулачковых муфт (Рис. 3).

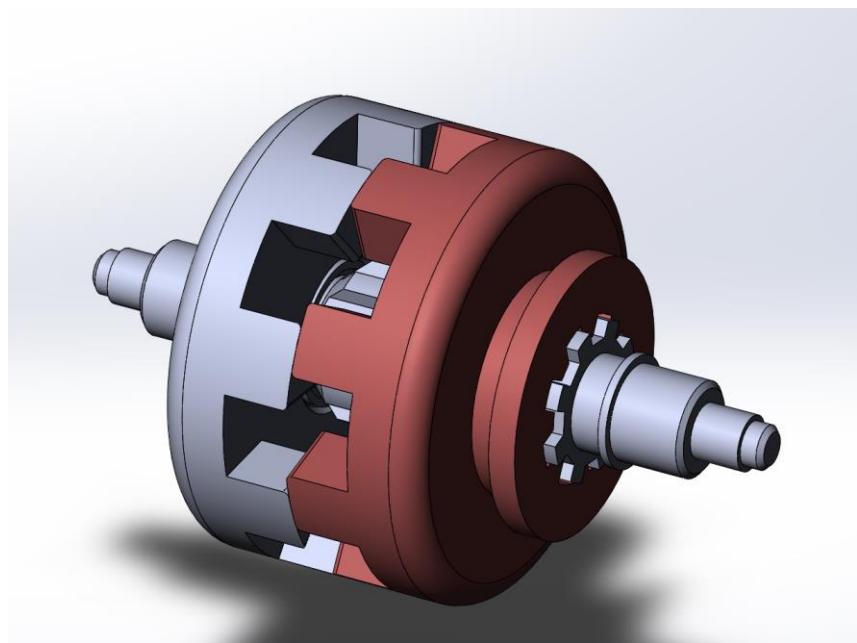


Рис. 2. Кулакковая муфта

Рассмотрены различные работы зарубежных авторов, посвящённые моделированию процессов включения зубчатых и кулакковых муфт. Отмечено отсутствие подобных исследований в российских источниках.

Приведены существующие разработки систем активного управления трансмиссиями колёсных машин, используемые за рубежом. Выявлены проблемы использования кулакковых муфт для блокировки дифференциалов, заключающиеся в невозможности включения муфты во время движения, ненадёжном включении муфты, ударном характере взаимодействия кулакков при большой разности угловых скоростей соединяемых элементов трансмиссии.

Выполненный в первой главе анализ состояния вопроса позволил сформулировать задачи диссертационной работы.

Во второй главе описана разработка математической модели процесса включения кулакковой муфты (Рис. 3). Разработанная математическая модель учитывает геометрические особенности кулакка муфты, что позволяет путём численного эксперимента определить условия, при которых происходит задержка включения муфты и режимы отсутствия включения.

Проведены численные эксперименты процесса включения кулакковой муфты. Рассмотрены различные этапы взаимодействия кулакковой муфты (Рис. 4). Получена область надёжного включения для рассматриваемой муфты (Рис. 5).

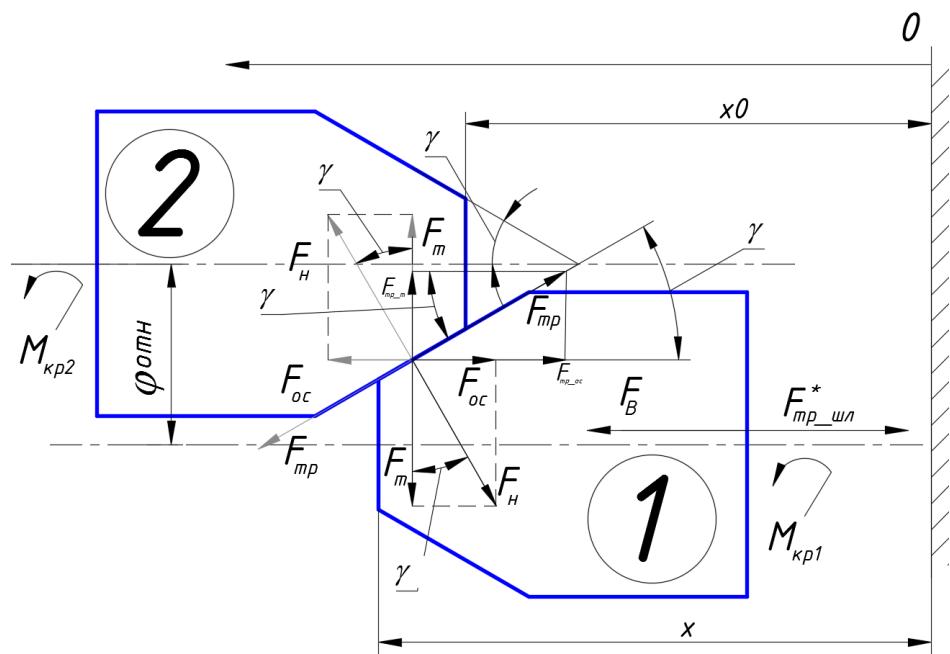


Рис. 3. Имитационная математическая модель испытания кулачковой муфты

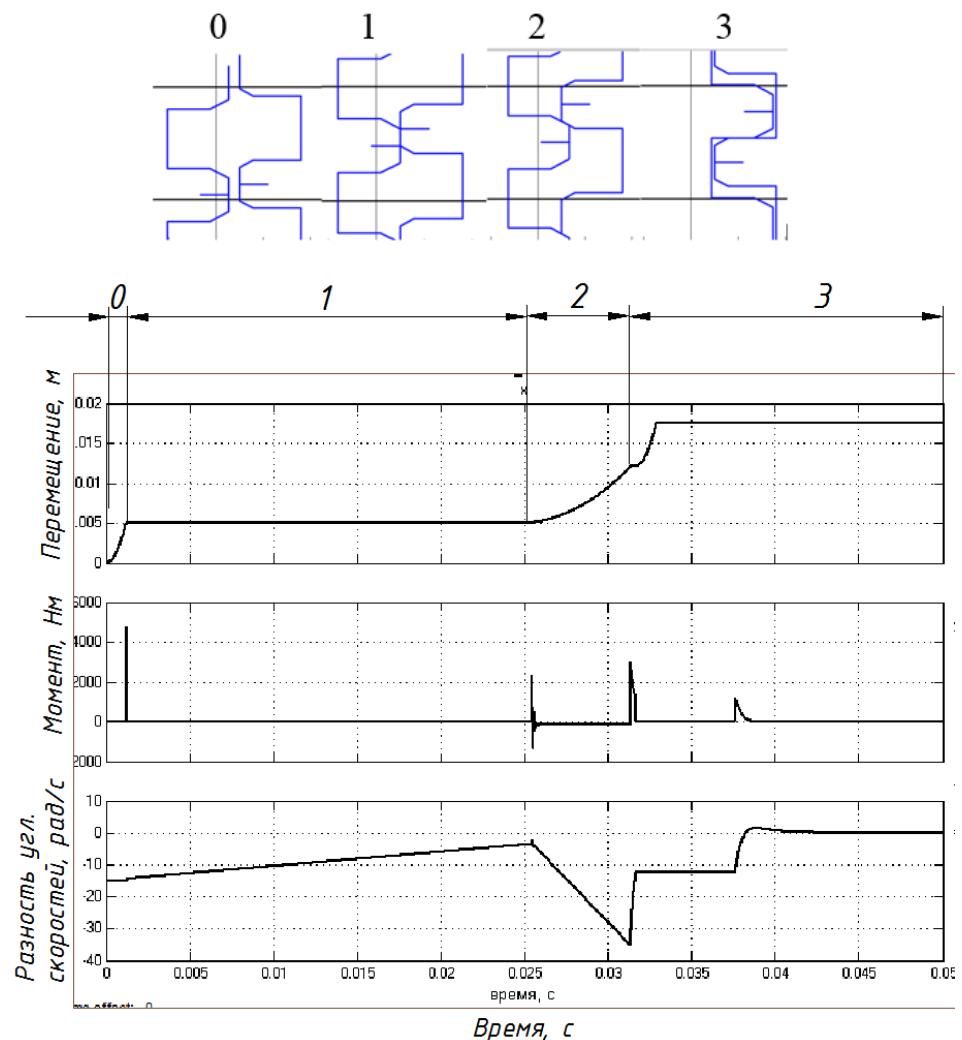


Рис. 4. Этапы процесса включения кулачковой муфты

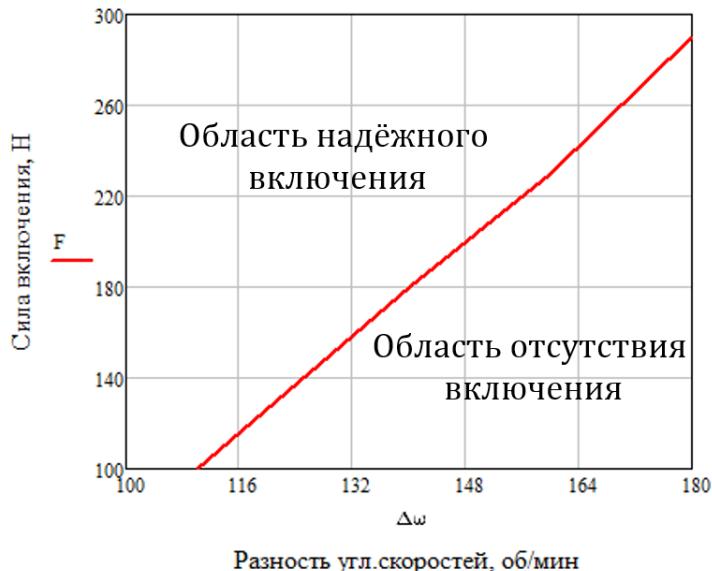


Рис. 5. Область надёжного включения кулачковой муфты

Сформулированы проблемы, возникающие при включении кулачковых муфт, которые подтвердили выводы, полученные при анализе состояния вопроса. Отмечено влияние формы кулачка и зазора между кулачками полумуфт во включённом состоянии на надёжность включения.

В третьей главе описан предложенный закон управления процессом включения кулачковой муфты, в основе которого лежит определение взаимного положения кулачков полумуфт. Система управления процессом включения состоит из двух датчиков скорости, число зубьев которых совпадает с числом кулачков муфты, исполнительного устройства и устройства управления (Рис. 6). Взаимное угловое положение зубчатых дисков датчиков скорости должно быть таким, чтобы во включенном состоянии при вращении муфты сигналы с датчиков были синхронизированы.

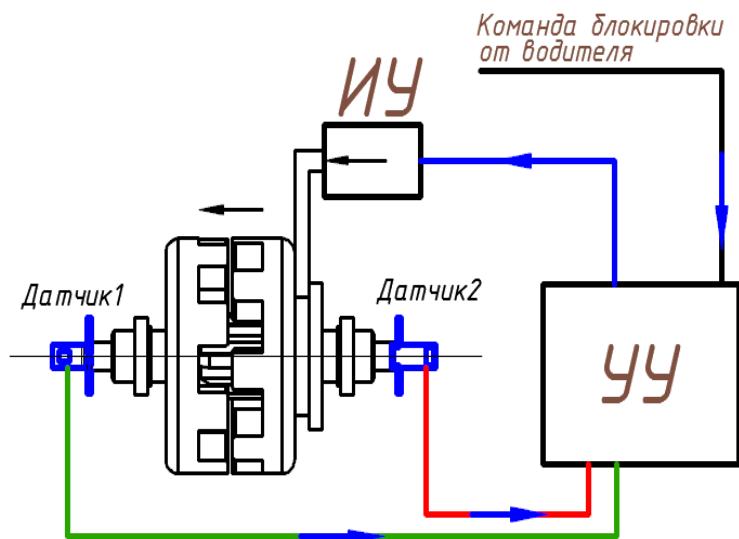


Рис. 6. Система управления процессом включения кулачковой муфты

Если время срабатывания исполнительного привода до момента захода зубьев в зацепление равно  $T_{\text{пр}}$ , а время между импульсами датчиков равно  $\Delta T_{\text{имп}}$  (Рис. 7), то предполагаемый угол рассогласования муфты равен (при  $\omega_1 > \omega_2$ ):  $\varphi_p = \omega_1 \Delta T_{\text{имп}}$ . Предполагаемое время синхронизации до положения «зуб напротив впадины» равно:

$$T_{\text{сxp}} = \frac{\varphi_p}{\omega_1 - \omega_2}.$$

Тогда, если привод муфты задействовать в тот момент, когда угол рассогласования  $\varphi_p$  станет таким, что  $T_{\text{сxp}}$  станет равным  $T_{\text{пр}}$  ( $T_{\text{пр}} = T_{\text{сxp}}$ ), то включение муфты произойдёт без этапов взаимодействия по торцам и фаскам.

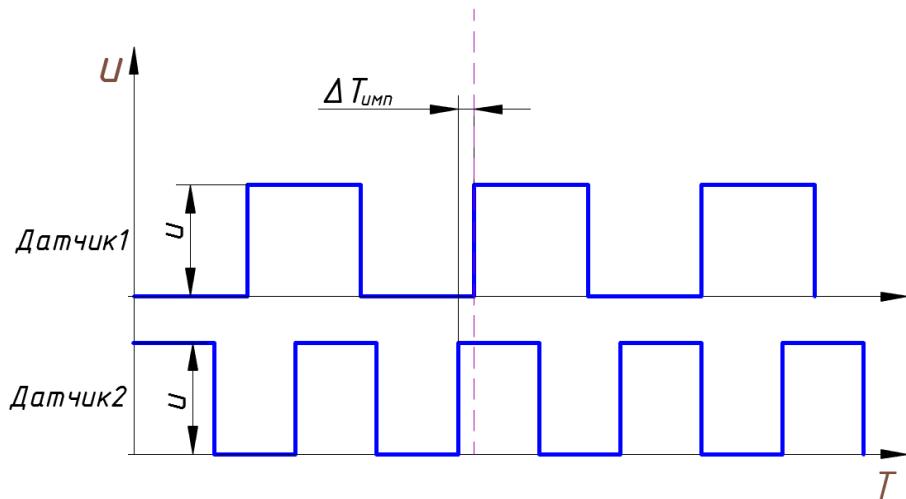


Рис. 7. Сигналы датчиков скорости системы управления включения муфты

В данной главе продемонстрированы результаты численного эксперимента с использованием математической модели включения муфты, разработанной в первой главе, подтверждена эффективность разработанного закона включения.

Отработка и проверка работоспособности предложенного закона управления включением муфты проводилась на макете стенда, выполненного по технологии быстрого прототипирования – 3-Д печати из пластика ABS (Рис. 8). На данном стенде подтверждена возможность создания разработанной системы управления и работоспособность предложенного алгоритма.

В третьей главе содержится описание электромеханического стенда для испытания кулачковой муфты блокировки дифференциала колёсной машины на основе конструкции ведущего моста современного грузового автомобиля (Рис.9).

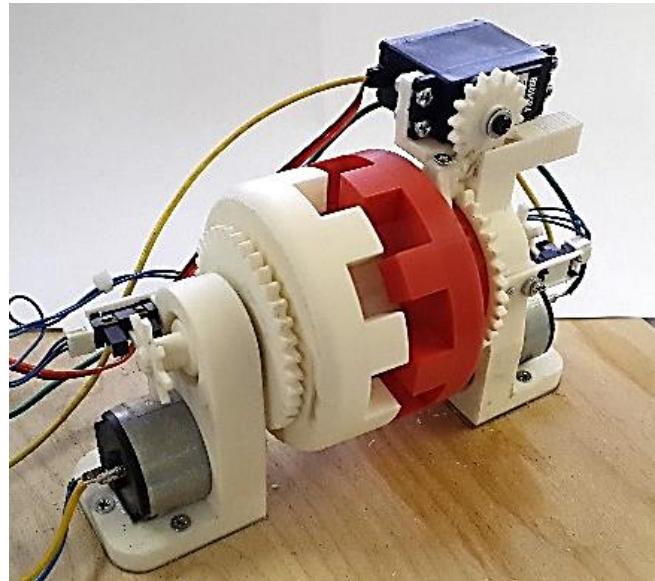


Рис.8. Масштабный стенд для испытания закона управления кулачковой муфтой

Вращение полумуфт с различной скоростью обеспечено двумя асинхронными электродвигателями с частотными преобразователями. Дополнительно были установлены датчики скорости на корпус дифференциала и полуось ведущего моста. Включение муфты блокировано пневмоприводом.



Рис.9. Электромеханический стенд испытания кулачковой муфты

Показаны результаты натурных испытаний разработанного алгоритма управления кулачковой муфты и сделаны выводы о работоспособности приведённого закона. Сделан сравнительный анализ процесса включения муфты с использованием разработанного алгоритма и без него (Рис.10)

В результате применения предложенного закона управления муфтой блокировки на действующей конструкции ведущего моста грузового автомобиля среднее время включения муфты уменьшилось с 0,3 с до 0,05 с, повысилась вероятность надёжного включения муфты. Погрешность численного эксперимента имитационной модели кулачковой муфты с экспериментом по времени включения составила от 15% до 20%.

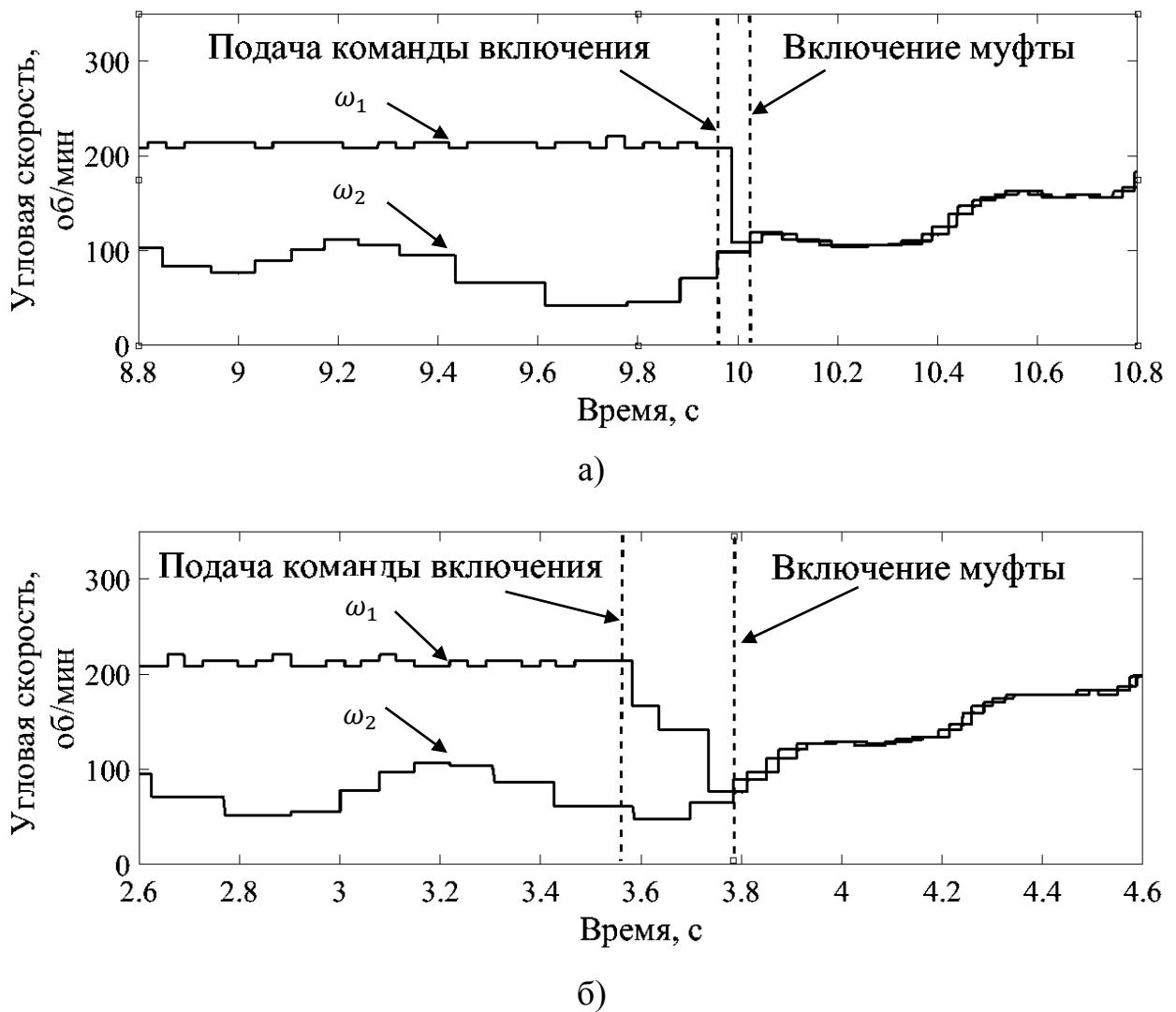


Рис.10. Угловые скорости вращения полумуфт в момент включения: а) с использованием разработанного закона включения муфты; б) без использования закона включения муфты

В четвёртой главе описывается предложенный метод определения закона управления муфтами блокировки дифференциалов многоосных колёсных машин с использованием известной математической модели криволинейного движения автомобиля (Рис.11).

Закон управления муфтами блокировки дифференциалов в трансмиссии многоосных колёсных машин включает в себя определение условий включения муфт блокировки дифференциалов по относительной разности угловых скоростей блокируемых элементов трансмиссии и условий выключения муфт блокировки дифференциалов по критериям сохранения поворачиваемости и управляемости колёсной машины.

Условия включения блокировки дифференциала, основанные на предложенном законе, выглядят следующим образом:

1. Превышение разности угловых скоростей выходных валов дифференциалов величины  $\Delta\omega_{di}(\alpha_p) + \Delta\omega_{pi}(v_x)$ , где  $\Delta\omega_{di}(\alpha_p)$  – разность

угловых скоростей выходных валов дифференциала для текущего угла поворота управляемых колёс при движении по твёрдому опорному основанию;  $\Delta\omega_{pi}(v_x)$  – разность угловых скоростей выходных валов дифференциалов для текущей скорости движения при относительной разности диаметров качения колёс в 5 %.

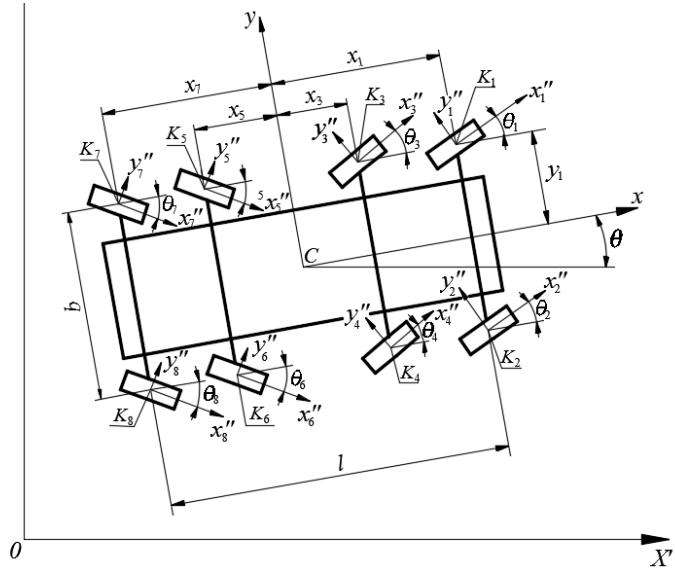


Рис.11. Математическая модель криволинейного движения колёсной машины 8x8

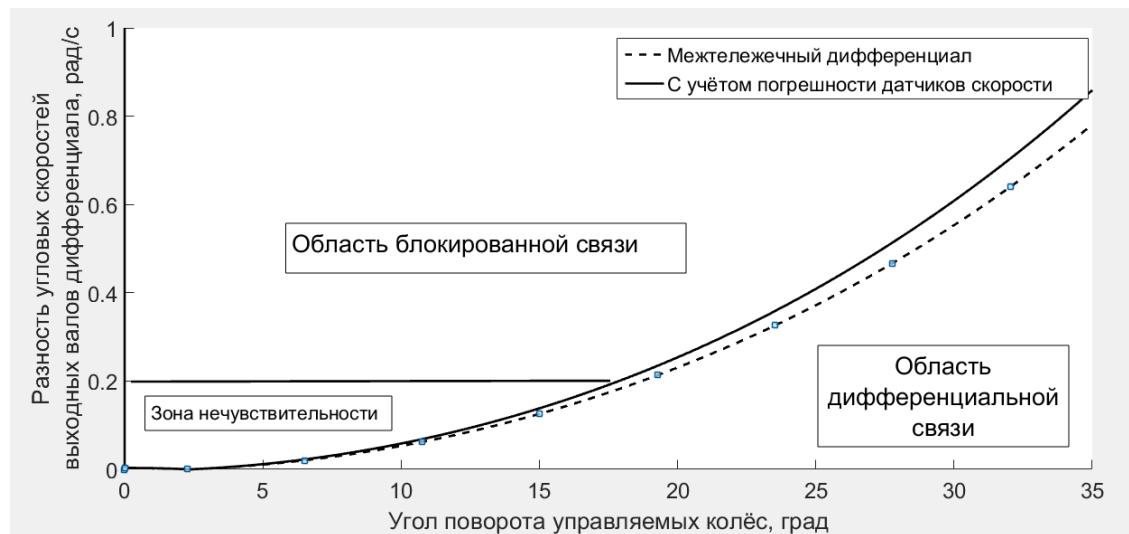


Рис.12. Область включения блокировки для межтележечного дифференциала

2. Разность угловых скоростей выходных валов не выходит за пределы области допустимых значений для надёжного включения кулачковой муфты:  $\Delta\omega_{di} < \Delta\omega_{\text{доп.}}$ .

3. Соблюдена следующая последовательность включения муфт блокировок дифференциалов (Рис.13): 1) межтележечный; 2) задний межосевой; 3) передний межосевой; 4) все задние межколёсные; 5) все передние межколёсные.

Предлагаемая последовательность включения муфт блокировок дифференциалов обусловлена следующими положениями:

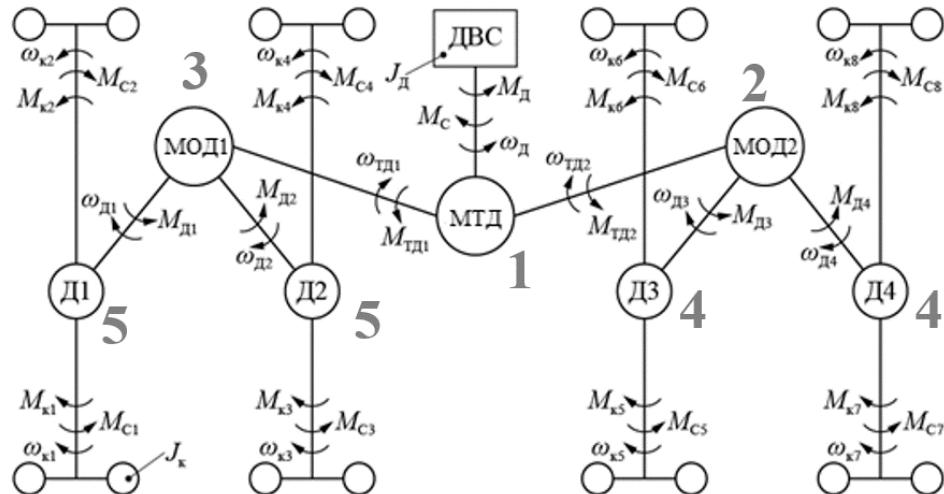


Рис.13. Последовательность включения блокировок дифференциалов

1. В первую очередь на проходимость многоосной КМ оказывают влияние различные условия по сцеплению с опорной поверхностью под колёсами передних и задних осей. Вместе с тем различие условий по сцеплению между колёсами одной оси или колёсами одной тележки оказывают вторичное влияние на обеспечение подвижности многоосной КМ.

2. Межосевые и межколёсные дифференциалы управляемых осей следует блокировать в последнюю очередь, поскольку блокировка дифференциалов управляемых осей негативно сказывается на управляемости многоосных КМ.

Критерием выключения муфт блокировки дифференциалов является сохранение управляемости и поворачиваемости КМ. Условия выключения блокировки дифференциалов, основанные на предложенном законе, выглядят следующим образом:

1) входные параметры системы управления (скорость движения и угол поворота рулевого колеса) вышли из области сохранения блокированной связи для каждого дифференциала трансмиссии;

2) принудительное отключение водителем режима автоматического управления муфтами блокировок дифференциала.

В работе предложен следующий алгоритм получения областей сохранения и выключения блокированных связей:

1. Определение фактического радиуса поворота КМ с дифференциальной трансмиссией по твёрдой опорной поверхности при фиксированном угле поворота управляемых колёс и скорости движения путём математического моделирования (Рис.14).

2. Определение скорости движения во всех вариантах блокированной трансмиссии, при которой наблюдается увеличение радиуса поворота на 10% по сравнению криволинейным движением с дифференциальной трансмиссией при том же фиксированном значении угла поворота управляемых колёс по твёрдой опорной поверхности. Скорость движения определяется путём математического моделирования движения КМ по опорным поверхностям с различными условиями сцепления.

3. Численный эксперимент проводится для различных углов поворота управляемых колёс, тем самым формируются области сохранения блокировок для каждого сочетания блокированных связей в трансмиссии (Рис.15).

Разработанный метод определения закона управления муфтами блокировок дифференциалов описывается алгоритмом, представленным на Рис.15.

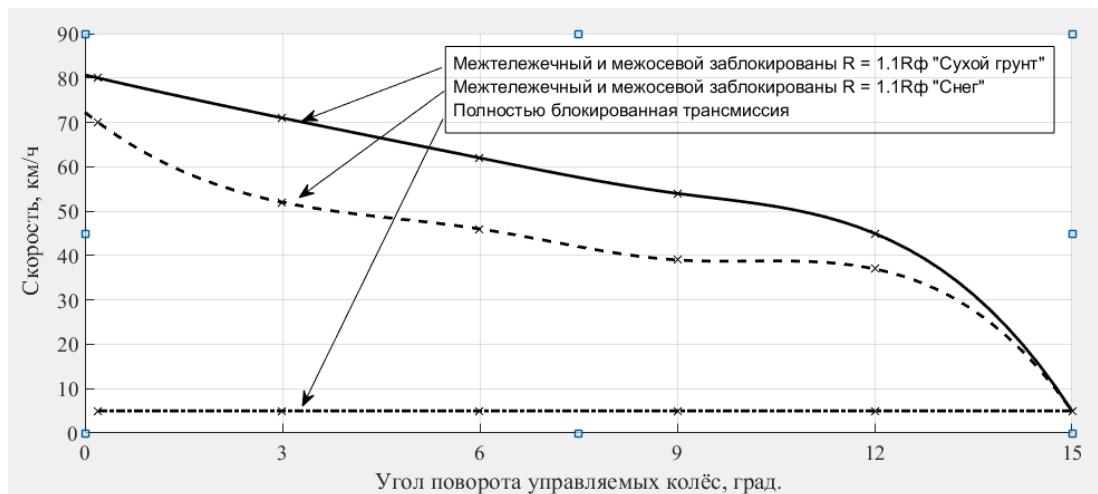


Рис.15. Получение областей сохранения блокированных связей в трансмиссии

На основе разработанного метода был получен закон выключения муфт блокировок дифференциалов для колёсной машины 8x8 (Рис.17): при полностью заблокированной трансмиссии выключаются сначала муфты блокировок межколёсных дифференциалов при превышении скорости в 10 км/ч, при превышении скорости 40 км/ч или увеличения угла поворота управляемых колёс более 15-и градусов выключаются муфты блокировки всех дифференциалов.

В данной главе показана разработка математической модели системы управления муфтами блокировки дифференциалов на основе среды разработки конечных автоматов и систем управления Stateflow в Matlab/

Simulink (Рис.18). Приведены результаты численного эксперимента движения колёсной машины 8x8 по опорному основанию типа «Микст» с интегрированной системой управления муфтами блокировки дифференциалов. Подтверждено увеличение средней скорости прохождения участка маршрута при использовании системы управления муфтами блокировки дифференциалов.

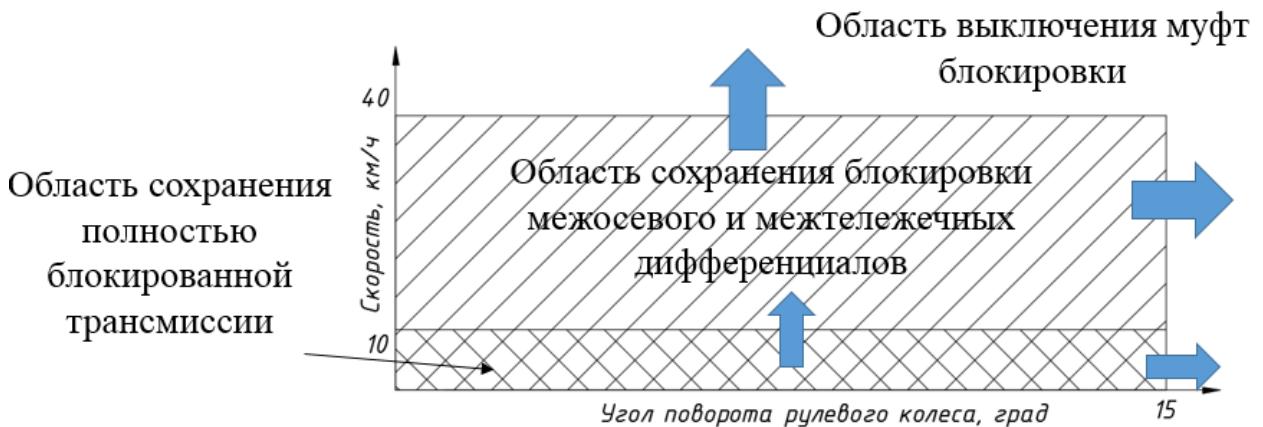


Рис.17. Закон выключения блокировок дифференциалов для колёсной машины 8x8

#### Основные результаты работы:

1. Разработана математическая модель процесса включения и выключения зубчатой муфты с учётом последовательного взаимодействия по всем участкам поверхности зуба.
2. Разработан закон управления включением кулачковой муфты блокировки дифференциалов, отличительной особенностью которого является учёт взаимного положения кулачков полумуфт, что обеспечивает надёжное и быстрое включение муфты, а также учёт допустимой области возможности включения муфты, определяемой разностью угловых скоростей полумуфт.
3. Разработан стенд для определения работоспособности алгоритмов включения кулачковой муфты. Проведены натурные испытания с использованием разработанного закона управления включением кулачковой муфты, в которых подтверждена его работоспособность.
4. Разработан метод, позволяющий произвести синтез закона управления муфтами блокировок дифференциалов в трансмиссиях многоосных колёсных машин. Отличительными особенностями данного метода являются:
  - определение условий включения муфт по относительной разности угловых скоростей блокируемых элементов трансмиссии и выключения муфт блокировок дифференциалов по критериям сохранения поворачиваемости и управляемости колёсной машины;

- использование закона управления включением кулачковой муфты блокировки дифференциала и области надёжного включения муфты;
- возможность применения данного метода для многоосных колёсных машин с механической трансмиссией.

5. Разработана имитационная математическая модель движения колёсной машины с интегрированной системой управления муфтами блокировки дифференциалов, основанной на предложенном законе управления.

6. Разработан закон управления муфтами блокировки дифференциалов для колёсной машины 8x8 на основе предложенного метода. Работоспособность закона подтверждена численным экспериментом.

#### Основные выводы работы:

1. Установлено, что использование закона управления включением кулачковой муфты, учитывая взаимное расположение кулачков, позволяет достичь надёжного включения муфты при разности угловых скоростей полумуфт до 70 рад/с, что обеспечивает возможность создания автоматизированной системы управления муфтами блокировки дифференциалов трансмиссии колёсной машины. Относительная погрешность результатов расчёта и данных эксперимента по времени включения муфты составила от 15 % до 20%.

2. Установлено, что закон управления муфтами блокировки дифференциалов должен быть основан на критерии сохранения поворачиваемости и управляемости колёсной машины, заключающимся в допустимом увеличении радиуса поворота на 10% в случае блокированной трансмиссии относительно радиуса поворота при дифференциальной трансмиссии при тех же скоростях движения и угле поворота управляемых колёс.

3. Имитационным математическим моделированием динамики движения колёсной машины 8x8 определено, что:

- включение муфт блокировок дифференциалов необходимо осуществлять по значению разности угловых скоростей выходных валов дифференциалов, превышающему аналогичное значение в случае движения по асфальто-бетонному покрытию с учётом погрешности, вызванной разными радиусами качения ведущих колёс;

- включение муфт блокировок дифференциалов необходимо проводить в следующей последовательности: межтележечный, задний межосевой, передний межосевой, задние межколёсные, передние межколёсные;

- установлено, что существенное влияние на поворачиваемость колёсной машины 8x8 оказывает включение муфт блокировки межколёсных дифференциалов, поэтому выключение муфт следует производить в зависимости от положения управляемых колёс и скорости движения в следующем порядке: при полностью блокированной трансмиссии

выключаются сначала муфты блокировок межколёсных дифференциалов при превышении скорости более 10 км/ч или увеличении угла поворота управляемых колёс более 15 градусов, а при превышении скорости более 40 км/ч или увеличения угла поворота управляемых колёс более 15 градусов – все остальные;

4. Практическими разработками установлено, что создание системы управления на основе предложенного закона управления дифференциалами колёсной машины может быть реализовано без существенного усложнения конструкции существующих механических трансмиссий путём установки дополнительных датчиков скорости на выходные валы дифференциалов.

### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Сафонов Б.А., Смирнов А.А., Бутарович Д.О. Зубчатые муфты в составе автоматизированной трансмиссии, определение нагрузочных режимов //Журнал Ассоциации Автомобильных Инженеров. 2014. Вып.6 (89) С.20-24 (0,5 п.л./0,3 п.л.)
2. Сафонов Б.А., Смирнов А.А. Математическая модель процесса включения кулачковой муфты// Вестник МГТУ МАМИ. 2016. Вып.1 (27) С.53-59 (0,6 п.л./0,4 п.л.)
3. Сафонов Б.А., Смирнов А.А. Алгоритм включения кулачковой муфты системы блокировки автомобильного дифференциала// Журнал Ассоциации Автомобильных Инженеров. 2016. Вып.3 (98) С.34-37 (0,5 п.л./0,3 п.л.)