

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МУФТАМИ БЛОКИРОВКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ В ТРАНСМИССИИ МНОГООСНОЙ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

Сафонов Б.А., д.т.н. Котиев Г.О., к.т.н. Смирнов А.А.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

borissaf@mail.ru

В связи с интенсивным развитием многоосной колесной техники в РФ возникает необходимость в улучшении таких ее эксплуатационных качеств как проходимость, что в свою очередь увеличивает среднюю скорость движения в сложных условиях. Повышению проходимости и сохранение подвижности в сложных дорожных условиях способствует интенсивное управление муфтами блокировки дифференциалов. Однако для многоосной колесной машины количество дифференциалов в трансмиссии делает задачу управления муфтами блокировки сложной для водителя. Современное развитие микропроцессорной техники позволяет создать автоматические системы управления трансмиссии, реализующие заданный закон включения и выключения муфт блокировки дифференциалов. В статье приведен метод определения закона управления муфтами блокировки дифференциалов для многоосной колесной машины, Исследование производится с помощью имитационной математической модели криволинейного движения автомобиля в программном пакете Matlab Simulink. Закон включения муфт блокировки основан на определении разности скоростей вращения выходных валов дифференциала и учитывает различные радиусы качения колес, а также возможность надежного включения кулачковой муфты блокировки. Определена последовательность включения муфт блокировки различных дифференциалов в трансмиссии. Закон выключения муфт блокировки дифференциалов основан на критерии сохранения поворачиваемости и управляемости колесной машины, заключающимся в допустимом увеличении радиуса поворота на 10 % в случае заблокированной трансмиссии относительно радиуса поворота при дифференциальной трансмиссии при тех же скоростях движения и углах поворота управляемых колес. Численное моделирование проводится для криволинейного движения по различным опорным поверхностям колесной машины 8Ч8, в трансмиссии которой имеется 7 дифференциалов. Установлено, что создание системы управления на основе предложенного закона управления дифференциалами колесной машины может быть реализовано без существенного усложнения конструкции существующих механических трансмиссий путем установки дополнительных датчиков скорости на выходные валы дифференциалов.

Ключевые слова: кулачковая муфта, автомобиль повышенной проходимости, сложные дорожные условия, межколесный и межосевой дифференциал, блокировка дифференциала, управление трансмиссией, закон включения и выключения муфты.

Введение

Интенсивное развитие многоосной колесной техники (см. рис. 1) в Российской Федерации связано с решением различных транспортных и специальных задач. 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 колесами транспортных средств. Одним из способов повышения подвижности и энергоэффективности транспортных средств является управление механической трансмиссией колесных машин в меняющихся дорожных условиях, в частности, управление муфтами блокировки дифференциалов.



Рис. 1. Многоосное транспортное средство 8Ч8 – Камаз 65601

Принципы и методы распределения мощности между ведущими колесами автомобильных базовых шасси для обеспечения, в том числе и управление дифференциалами, подробно рассмотрены в монографии А.В. Келлера [1]. Для многоосных колесных машин (КМ) количество дифференциалов трансмиссии может достигать до 7-ми (КМ 8Ч8) и более. Управление таким количеством дифференциалов увеличивает напряженность 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.

Цель исследования

Целью исследования является автоматизация управления муфтами блокировок дифференциалов КМ.

Материалы, методы исследования и их обсуждение

Для определения закона управления кулачковыми муфтами блокировки дифференциалов необходимо определить условия включения и выключения муфт. В работе [2] рассмотрено включение блокировки дифференциалов трактора при превышении определенной разности угловых скоростей вращения элементов трансмиссии. Однако в данной статье не сформулирован общий закон автоматического управления муфтами блокировки дифференциалов, включающий в себя также алгоритм выключения муфт. Рассмотрим условия включения муфт блокировки дифференциалов.

Одним из индикаторов состояния опорной поверхности являются скорости вращения ведущих колес и элементов трансмиссии. При вывешивании колес или при различных условиях сцепления с опорной поверхностью в силу свойств дифференциала будет возникать разность угловых скоростей элементов трансмиссии, которая может стать сигналом включения муфты блокировки. Однако, очевидно, что скорости вращения элементов трансмиссии могут быть различными и при движении на твердых опорных основаниях при совершении поворотов или при разных радиусах качения колес, которые в частности могут быть вызваны разным давлением в пневматических шинах колесных движителей. Алгоритм работы системы управления муфтами блокировки должен учитывать эти факторы и не допускать несвоевременного включения блокировок.

Входными параметрами для системы управления блокировками дифференциалов являются разности скоростей вращения выходных валов дифференциалов $\Delta\omega_d$, а также текущий угол поворота управляемых колес.

Для получения зависимостей $\Delta\omega_d$ от угла поворота управляемых колес проведен ряд вычисленных экспериментов с помощью имитационной математической модели криволинейного движения колесной машины [3], реализованной в среде *Matlab Simulink* [4]. Важно отметить, что использование такой модели позволяет получить данные зависимости с учетом увода шин и эффекта проскальзывания в пятне контакта, что является более достоверным по сравнению с геометрическим расчетом радиусов движения каждого колеса в зависимости от положения рулевой трапеции. Результатом численного эксперимента является зависимость $\Delta\omega_d(\alpha_p)$ для каждого дифференциала.

Покажем получение таких зависимостей на примере математической модели многоосной колесной машины 8Ч8.

Технические характеристики исследуемой КМ 8Ч8, необходимые для проведения численного эксперимента, указаны в табл. 1.

Алгоритм проведения численного эксперимента следующий:

- устанавливается начальная скорость движения КМ, например, равная 15 км/ч;
- для каждого положения управляемых колес с шагом в 3 градуса находится разность угловых скоростей выходных валов дифференциалов трансмиссии.

Таблица 1

Технические характеристики исследуемой КМ

Параметр	Значение
Полная масса, т	36
Колесная формула	8Ч8
Расстояние между крайними осями, мм	6400
Колея, мм	2050
Высота центра масс, мм	2700
Свободный радиус колеса, мм	725
Предельный угол поворота управляемых колес передней оси, град	35

Полученные численным экспериментом зависимости $\Delta\omega_{дi}(\alpha_p)$ для КМ 8Ч8 показаны на рис. 2. Из полученных графиков видно, что наиболее заметное изменение угловых скоростей выходных валов свойственно для межколесных дифференциалов. Для заднего межосевого дифференциала разность угловых скоростей выходных валов практически отсутствует, даже при больших углах поворота управляемых колес и при малых радиусах поворота (менее 25 м).

В первом приближении условие включения муфты блокировки может выглядеть следующим образом:

$$\Delta\omega_{дi_тек} > \Delta\omega_{дi}(\alpha_p), \quad (1)$$

где $\Delta\omega_{дi_тек}$ – текущая разность угловых скоростей вращения выходных валов дифференциала; $\Delta\omega_{дi}(\alpha_p)$ – разность угловых скоростей выходных вал.

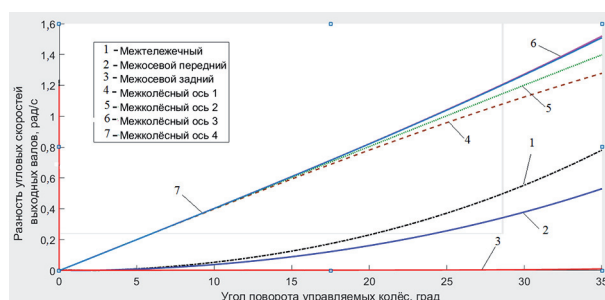


Рис. 2. Зависимость разности угловых скоростей выходных валов дифференциалов от угла поворота управляемых колес

Однако приведенное условие включения блокировки дифференциалов не учитывает рассогласование угловых скоростей из-за разных радиусов качения колес, что может привести к частому включению муфт.

Оценим влияние разных диаметров качения колес на кинематическое рассогласование

выходных валов дифференциалов. Примем, что разность радиусов может достигать до 5 %. Если это значение больше, то водитель должен предпринять меры по выравниванию давления воздуха в шинах. Как правило, на многоосных КМ устанавливается централизованная система подкачки шин, обеспечивающая выравнивание давления и сигнализацию при большой разности давлений между колесами.

Рассогласование частот вращения выходных валов дифференциала из-за разных радиусов качения колес одной оси вычисляется по формуле:

$$\Delta\omega_p = \frac{v_x}{k \cdot r_k} - \frac{v_x}{r_k}, \quad (2)$$

где $\Delta\omega_p$ – разность угловых скоростей выходных валов дифференциалов, рад/с; v_x – скорость движения, м/с; r_k – статический радиус колеса, мм; k – коэффициент, учитывающий разницу радиусов качения ведущих колес ($k = 0,95$ для разницы радиусов качения в 5 %; $k = 0,9$ для разницы радиусов качения в 10 %; $k = 0,85$ для разницы радиусов качения в 15 %).

На рис. 3 показаны зависимости разности угловых скоростей колес одной оси от скорости движения для разных соотношений радиусов качения.

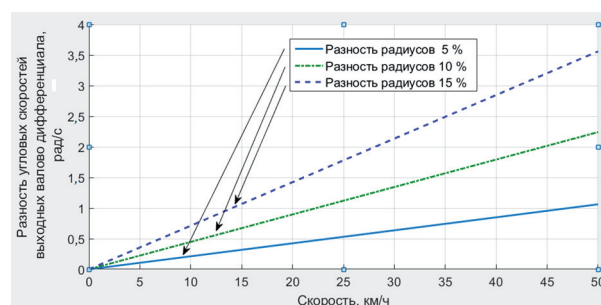


Рис. 3. Зависимость разности угловых скоростей выходных валов межколесного дифференциала от скорости прямолинейного движения колесной машины

Аналогичные зависимости для межосевого и межтележечного дифференциала с учетом повышения скоростей вращения валов из-за передаточного отношения ведущих мостов показаны на рис. 4.

Как видно из полученных зависимостей, влияние разности диаметров качения колес на 5 % (36 мм) оказывается значительным, что корректирует границу области сохранения дифференциальной связи для каждого дифференциала. Следует отметить сильное влияние

разных диаметров качения колес на межосевые и межтележечные дифференциалы, что приведет к постоянной работе дифференциала при неравномерной нагрузке на колесах.

Таким образом, условие включения блокировки дифференциала можно записать в следующем виде:

$$\Delta\omega_{di_тек} > \Delta\omega_{di}(\alpha_p) + \Delta\omega_{pi}(v_x), \quad (3)$$

где $\Delta\omega_{pi}(v_x)$ – значение разности угловых скоростей выходных валов дифференциалов при текущей скорости движения при разности диаметров качения колес в 5 %.

Приведенное условие включения дифференциалов формирует область сохранения дифференциальной связи по скоростям вращения элементов трансмиссии, то есть по состоянию опорной поверхности. Однако при слишком большой разности частоты вращения соединяемых элементов трансмиссии включение муфты либо не произойдет, либо приведет к сильному износу или поломке механизма включения блокировки.

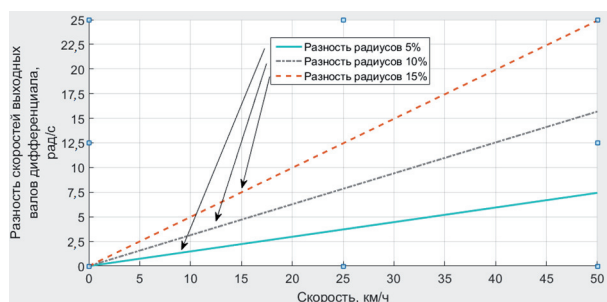


Рис. 4. Зависимость разности угловых скоростей выходных валов межосевого и межтележечного дифференциалов от скорости движения

Для исключения таких ситуаций требуется ввести еще одно ограничение, связанное с областью допустимых значений надежного включения муфты. Данное ограничение запишем в виде условия:

$$\Delta\omega_{di_тек} < \Delta\omega_{доп}, \quad (4)$$

где $\Delta\omega_{доп}$ – допустимая разность угловых скоростей вращения соединяемых элементов.

Значение $\Delta\omega_{доп}$ зависит от силы включения и геометрических особенностей кулачков. Получение значения $\Delta\omega_{доп}$ для муфты включения блокировки дифференциала подробно рассмотрено в работе [5]. На рис. 5 показана область надежного включения муфты и определение параметра $\Delta\omega_{доп}$ по известной силе, действующей

шей в приводе включения муфты. Для повышения вероятности надежного включения кулачковой муфты и снижения времени включения возможно применение специального алгоритма, описанного в статье [6].

Включение муфт блокировки дифференциалов трансмиссии целесообразно производить в определенной последовательности. В законе включения кулачковых муфт блокировки дифференциалов предлагается следующая последовательность включения: 1) межтележечный; 2) задний межосевой; 3) передний межосевой; 4) все задние межколесные; 5) все передние межколесные (рис. 6). То есть, задний межосевой дифференциал не может быть заблокирован ранее межтележечного, задние межколесные дифференциалы не могут быть заблокированы ранее переднего межосевого и т.д.

Такая последовательность включения обусловлена следующими положениями.

1. В первую очередь на подвижность многоосной КМ оказывают влияние различные условия по сцеплению с опорной поверхностью

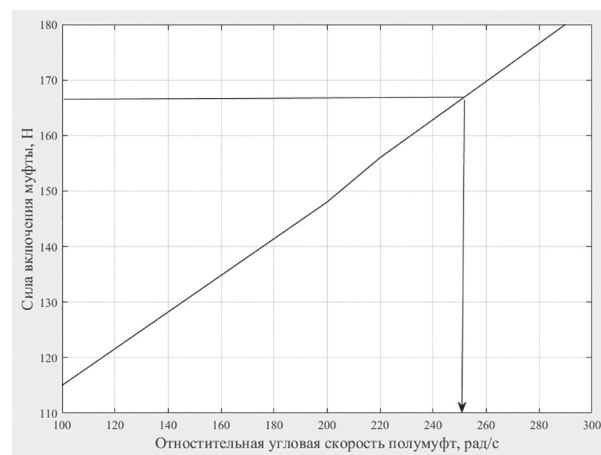


Рис. 5. Область надежного включения кулачковой муфты и определение параметра $\Delta\omega_{доп}$

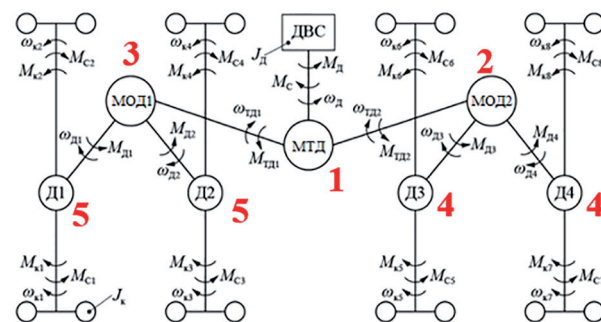


Рис. 6. Последовательность включения муфт блокировки

под колесами передних и задних осей, то есть влияние макропрофиля опорной поверхности (рис. 7). Вместе с тем различие условий по сцеплению между колесами одной оси или колесами одной тележки оказывают второстепенное влияние на обеспечение подвижности многоосной КМ.



Рис. 7. Преодоление препятствия КМ 848

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

Рассмотрим условия выключения муфт блокировки дифференциалов. При включении муфт блокировки дифференциалов угловые скорости выходных валов становятся равными, что не дает возможности оценить сцепные свойства опорной поверхности по угловым скоростям вращения элементов трансмиссии.

Одним из негативных явлений движения с заблокированной трансмиссией по различным опорным основаниям является снижение управляемости и поворотливости КМ. В качестве критериев выключения муфт блокировок дифференциалов можно рассматривать такие критические режимы движения, при которых происходит увеличение радиуса поворота по сравнению с движением с полностью дифференциальной схемой трансмиссии вследствие явлений увода шин, что напрямую связано с безопасностью движения.

Предлагаемый метод формулировки условий выключения муфт дифференциалов основан на определении режимов движения, при которых наблюдается увеличение радиусов поворота КМ, путем имитационного математического моделирования. Численные исследования проводились с использованием имитационной математической модели криволинейного движения КМ 848 [2].

Предлагаемый метод основан на следующем алгоритме:

- определение фактического радиуса поворота КМ с дифференциальной трансмиссией по твердой опорной поверхности при фиксированном угле поворота управляемых колес и скорости движения;

- определение скорости движения во всех вариантах заблокированной трансмиссии, при которой наблюдается увеличение радиуса поворота на 10 % по сравнению с криволинейным движением с дифференциальной трансмиссией при том же фиксированном значении угла поворота управляемых колес по твердой опорной поверхности. Скорости движения определяются путем математического моделирования движения КМ по следующим типам опорной поверхности: «грунтовое основание», «снег»;

- численный эксперимент проводится для различных углов поворота управляемых колес, тем самым формируются области сохранения заблокированных связей для каждого сочетания заблокированных связей в трансмиссии с учетом скорости движения и поворота управляемых колес.

Рассмотрим отдельно каждый пункт представленного алгоритма.

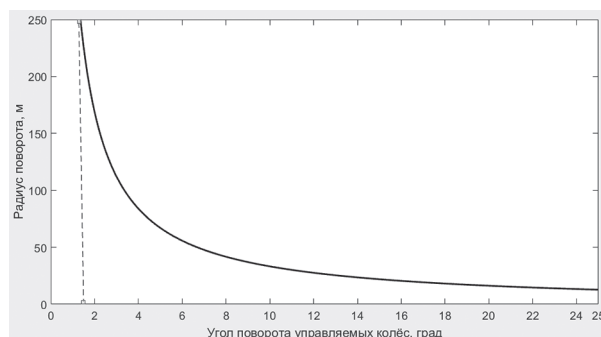


Рис. 8. Зависимость радиуса поворота от угла управляемых колес

Алгоритм проведения численного эксперимента определения фактического радиуса КМ при движении по твердой опорной поверхности (ОП) с полностью дифференциальной трансмиссией следующий:

- устанавливается начальная скорость движения 15 км/ч, которая поддерживается постоянной при совершении поворота. Регулирование скорости движения осуществляется посредством ПИД-регулятора, входом в который является разность между текущей и требуемой скоростями движения, а выходом – положение педали акселератора;

– определяется фактический радиус поворота для различных углов положения управляемых колес.

Полученная кривая (рис. 8) является эталонном для сравнения радиуса поворота при блокированной трансмиссии на различных типах ОП.

Алгоритм проведения численного эксперимента определения скоростей движения, при которых наблюдается увеличение радиуса поворота, следующий:

– в имитационной математической модели криволинейного движения устанавливается требуемая схема блокированной трансмиссии, причем порядок и количество включенных блокировок соответствует закону включения муфт блокировки дифференциалов, описанному ранее;

– устанавливается начальный угол поворота управляемых колес (3 градуса) и начальная скорость движения (5 км/ч);

– устанавливаются параметры взаимодействия с ОП («снег» или «грунтовое основание»);

проводятся численные эксперименты, в течение которых посредством постепенного увеличения скорости движения фиксируется скорость, на которой фактический радиус поворота больше эталонного на 5 % и 10 % при заданном угле поворота управляемых колес;

– после нахождения требуемой скорости увеличивается угол поворота управляемых колес и производятся численные эксперименты, указанные в пункте 4;

– после получения набора точек для выбранной схемы блокировки трансмиссии получают точки для других схем блокированной трансмиссии;

– алгоритм проведения численного эксперимента повторяется для другого типа опорного основания.

В результате полученных данных численного эксперимента формируются кривые, ограничивающие области сохранения блокированной связи для каждой схемы блокированной трансмиссии (рис. 9).

Из анализа полученных кривых делаются следующие выводы:

– включение муфт блокировки межтележечного и межосевых дифференциалов как вместе в любом сочетании, так и по отдельности оказывает одинаковое влияние на управляемость КМ;

– включение муфт блокировки межколесных дифференциалов передней и задней тележ-

ки оказывает одинаковое влияние на управляемость КМ;

– увеличение радиусов поворота более чем на 10 % при полностью блокированной трансмиссии происходит при минимальной скорости движения и при любом положении угла управляемых колес больше нуля; скорости увеличения радиусов поворота для ОП типа «снег» оказываются ниже, чем при движении на ОП типа «грунтовое основание».

Отметим также, что увеличение радиусов поворота при движении по ОП типа «грунтовое основание» с включенными муфтами блокировки межтележечного и межосевых дифференциалов наблюдается при достаточно высокой скорости (50 км/ч и выше). На данной скорости движение многоосной КМ по пересеченной местности маловероятно. Поэтому при формулировке закона выключения муфт следует ориентироваться на кривые, полученные при движении по ОП типа «снег».

Закон выключения блокировки дифференциалов может быть сформулирован на основе полученных кривых, представленных на рис. 9. В этом случае область сохранения блокированных связей находится под кривыми, а область выключения – соответственно, справа и сверху кривых. Это означает, что при превышении углом поворота управляемых колес и скоростью движения КМ значений, лежащих на полученных кривых, система управления должна выключить соответствующие муфты блокировки дифференциалов.

На основе проведенного анализа полученных кривых сформулируем закон выключения муфт блокировки дифференциалов для КМ 8Ч8 (рис. 10): при полностью блокированной трансмиссии выключаются сначала муфты блокировки межколесных дифференциалов

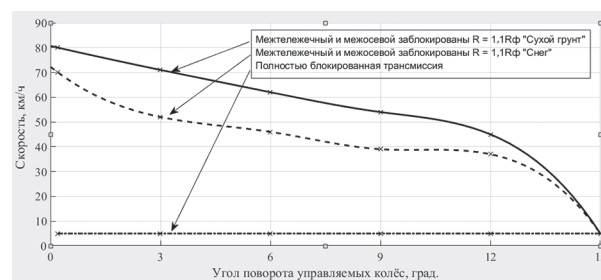


Рис. 9. Области сохранения радиуса поворота КМ в пределах 10 % для различных схем блокировки трансмиссии на различных типах опорной поверхности

при превышении скорости более 10 км/ч; при превышении скорости более 40 км/ч или увеличения угла поворота управляемых колес более 15 градусов выключаются муфты блокировок всех дифференциалов.

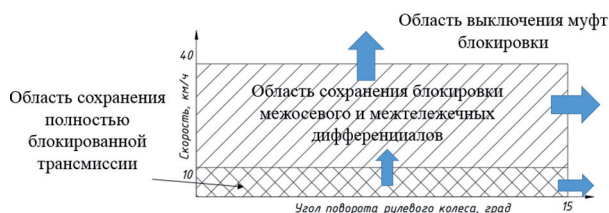


Рис. 10. Условия выключения блокировки дифференциалов для КМ 8х8

Переход от полученной формы области сохранения блокировки дифференциалов (рис. 9) к прямоугольной (рис. 10) обусловлен упрощением алгоритма системы управления. При тестировании разработанного закона на действующих образцах колесных машин форма границ области сохранения блокировки может меняться.

В общем случае представленный метод получения закона управления муфтами блокировки дифференциалов трансмиссии подразумевает реализацию алгоритма, показанного на рис. 11.

Рассмотренный критерий разблокировки учитывает только управляемость колесной машины в предельных режимах, но не учитывает нагруженность трансмиссии в результате проявления эффекта циркуляции мощности. Однако область сохранения блокированной

связи достаточно мала (скорость 40 км/ч, угол поворота управляемых колес 15 град), что существенно снижает вероятность выхода из строя элементов трансмиссии.

Заключение

Приведенная методика определения условий включения и выключения блокированных связей в трансмиссии применима и к другим типам колесных машин с различными колесными формулами. Для использования предложенного метода требуется разработать математическую модель криволинейного движения КМ для требуемой схемы трансмиссии и параметров рулевого управления. Полученный закон включения и выключения муфт блокировки дифференциалов легко реализуем на современной колесной технике, путем установки дополнительных датчиков скорости вращения элементов трансмиссии и применения контроллеров управления трансмиссии.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Келлер А.В. Принципы и методы распределения мощности между ведущими колесами автомобильных базовых шасси. Челябинск, 2009. 218 с.
2. Жилейкин М.М., Ягубова Е.В., Стрелков А.Г. Алгоритм работы системы динамической стабилизации за счет управления дифференциалами механической трансмиссии и корректирующего подруливания для трактора // Известия вузов.

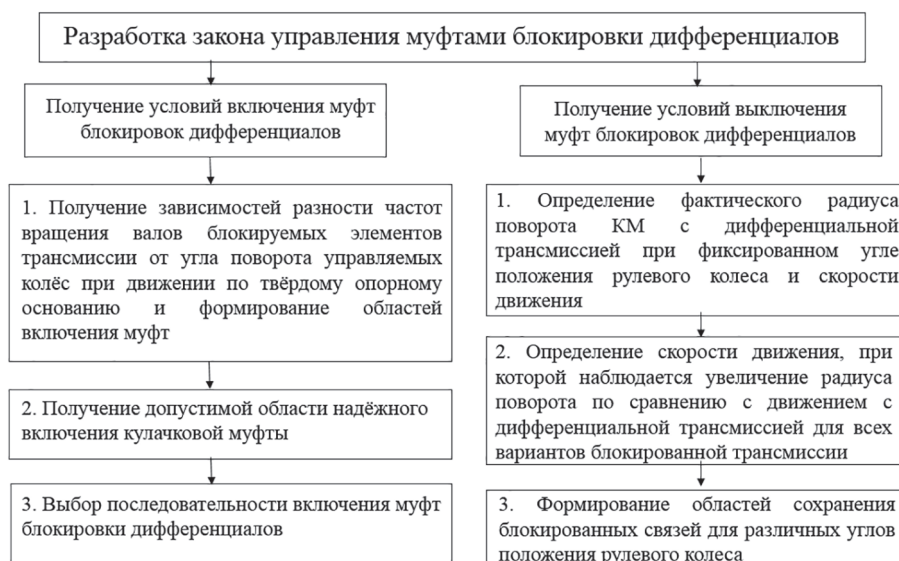


Рис. 11. Алгоритм метода определения закона управления муфтами блокировки дифференциалов

- Машиностроение. 2014. № 12(657). С. 45–52. DOI: 10.18698/0536-1044-2014-12-45-52.
3. Котиев Г.О., Чернышев Н.В., Горелов В.А. Математическая модель криволинейного движения автомобиля с колесной формулой 8Ч8 при различных способах управления поворотом // Журнал автомобильных инженеров. 2009. № 2. С. 34–40.
 4. MathWorks Account Login. Режим доступа: www.mathworks.com (дата обращения 01.01.2017).
 5. Сафонов Б.А., Смирнов А.А. Математическая модель процесса включения кулачковой муфты // Известия МГТУ «МАМИ». 2016. № 1(27). С. 53–59.
 6. Сафонов Б.А., Смирнов А.А. Алгоритм включения кулачковой муфты системы блокировки автомобильного дифференциала // Журнал автомобильных инженеров. 2016. № 3(98). С. 34–37.
 - wheels of the automobile basic chassis]. Chelyabinsk, 2009. 218 p.
 2. Zhileykin M.M., Yagubova E.V., Strelkov A.G. The algorithm of the dynamic stabilization system by controlling the differentials of the mechanical transmission and the corrective steering for the tractor. *Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye*. 2014. No 12(657), pp. 45–52 (in Russ.). DOI: 10.18698/0536-1044-2014-12-45-52.
 3. Kotiev G.O., Chernyshev N.V., Gorelov V.A. The mathematical model of the curvilinear motion of a vehicle with eight-wheel drive formula with different ways of steering the turn. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2009. No 2, pp. 34–40 (in Russ.).
 4. MathWorks Account Login. URL: www.mathworks.com (accessed: 01.01.2017).
 5. Safonov B.A., Smirnov A.A. Mathematical model of the process of switching on the clutch coupling. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2016. No 1(27), pp. 53–59 (in Russ.).
 6. Safonov B.A., Smirnov A.A. Algorithm for the inclusion of a clutch of a locking system for an automobile differential. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2016. No 3(98), pp. 34–37 (in Russ.).

References

AUTOMATION OF THE CONTROL OF THE DIFFERENTIAL LOCK IN THE TRANSMISSION OF A MULTI-AXLE WHEELED VEHICLE

B.A. Safonov, Dr.Eng. **G.O. Kotiev**, Ph.D. **A.A. Smirnov**
Bauman MSTU, Moscow, Russia
borissaf@mail.ru

Due to intensive development of multi-axle wheeled vehicles in the Russian Federation, there is a need to improve its performance characteristics such as flotation, which in turn increases the average speed of traffic in difficult conditions. Increasing the flotation and retain mobility in difficult road conditions is facilitated by intensive management of differential locking clutches. However, for a multi-axle wheeled vehicle, the number of differentials in the transmission makes the task of controlling the locking clutches difficult for the driver. The modern development of microprocessor technology allows the creation of automatic transmission control systems that implement the specified law of switching on and off the differential locking clutches. The method of definition of the law of control of differential locking clutches for a multi-axle wheeled vehicle is shown in the article. The research is carried out with the help of the mathematical simulation model of the curvilinear motion of the vehicle in the Matlab Simulink software package. The law of inclusion of clutches blocking is based on definition of a difference of speeds of rotation of output shafts of a differential and considers various radii of wheels rolling and also an opportunity of reliable switching of differential locking clutch. The sequence of switching on of clutches for locking different differentials in the transmission is determined. The law of deactivation of the differential lock is based on the criterion of maintaining the steering and maneuverability of wheeled vehicle, which contains of admissible increase in the turning radius by 10% in the case of a locked transmission with respect to the turning radius for the differential transmission at the same speeds and steering angles. Numerical simulation is carried out for curvilinear motion along different support surfaces of a wheeled vehicle 8 Ч 8, in the transmission of which there are 7 differentials. It is established that the creation of a control system based on the proposed law of wheeled vehicles differentials control can be realized without significantly complicating the construction of existing mechanical transmissions by installing additional speed sensors on output shafts of differentials.

Keywords: cam clutch, off-road vehicle, difficult road conditions, inter-wheel and interaxle differential, differential locking, transmission control, clutch on and off law.