

УДК 629.331

АЛГОРИТМ ВКЛЮЧЕНИЯ КУЛАЧКОВОЙ МУФТЫ СИСТЕМЫ БЛОКИРОВКИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА

Б. А. Сафонов, асп. / А. А. Смирнов, к. т. н., доц.

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Кулачковые муфты часто применяются в трансмиссии автомобилей повышенной проходимости в качестве блокирующих устройств дифференциалов или устройств подключения ведущих осей (см. рис. 1). Это обусловлено простотой и надёжностью данных конструктивных решений, что особенно важно в сложных дорожных условиях. Как правило, для указанного способа блокировки дифференциалов применяется пневматический привод. Водитель самостоятельно принимает решение о включении и выключении той или иной блокировки, нажимая на соответствующую клавишу на панели приборов. После этого электропневматический клапан открывает подачу воздуха в исполнительный цилиндр, и подвижная полумуфта блокирует дифференциал. При такой системе блокировки включение не всегда происходит сразу, так как есть вероятность попадания кулачков в положение «зуб в зуб». Кроме того, включение будет затруднено во время движения автомобиля и невозможно при большой разности скоростей вращения соединяемых элементов трансмиссии. Разработка алгоритма включения повысит эксплуатационные каче-

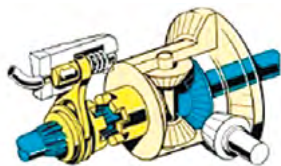


Рисунок 1. Кулачковая муфта блокировки дифференциала

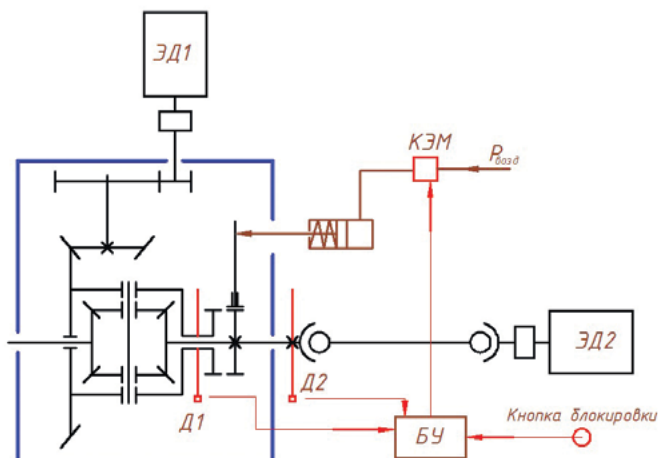


Рисунок 2. Система управления процессом включения муфты

ства муфты и упростит создание системы автоматической блокировки дифференциалов.

Кулачковые муфты, как правило, имеют восемь-десять кулачков (см. [1] и [2]). Во включённом состоянии между боковыми поверхностями кулачков полумуфт всегда присутствует зазор, что обеспечивает надёжное замыкание муфты при действии достаточно большой силы включения. Однако при малой разности скоростей вращения блокируемых между собой элементов включение может быть затруднено из-за взаимодействия полумуфт по торцевым поверхностям. И наоборот, при большой разности скоростей вращения включение не произойдёт из-за отскока подвижной полумуфты при взаимодействии по фаскам кулачков. Эти процессы подробно рассмотрены в статье [3].

В данной работе представлен алгоритм включения кулачковой муфты, основанный на определении взаимного положения кулачков и управлении приводом блокировки таким образом, чтобы включение муфты происходило без этапов взаимодействия по торцам и фаскам кулачков полумуфт. Кроме того, система управления, реализующая описанный алгоритм, будет определять разность угловых скоростей вращения полумуфт и запрещать включение в случае превышения допустимого значения, что исключает возникновение ударных нагрузок и способствует увеличению ресурса муфты.

Предлагаемая система управления включает в себя датчики скорости, блок управления, исполнительное устройство и сигнальную кнопку включения блокировки (см. рис. 2).

Конструктивно датчики скорости состоят из считывающего устройства и ротора с зубьями или магнитными метками, количество которых совпадает с количеством кулачков полумуфт. Взаимное угловое положение роторов должно быть таким, чтобы при вращении во включённом состоянии происходило одновременное срабатывание датчиков. Таким образом, один из датчиков будет фиксировать момент прохождения кулачка подвижной в осевом направлении полумуфты, а другой — впадины неподвижной полумуфты.

Одновременное срабатывание датчиков в выключенном состоянии муфты сигнализирует о нахождении в этот момент кулачков одной из полумуфт над впади-

нами другой. При разной скорости вращения полу муфт сигналы с датчиков будут различаться частотой следования импульсов, как показано на рис. 3. Обозначим временной интервал между следованиями импульсов двух датчиков как $\Delta T_{имп}$. По величине $\Delta T_{имп}$ можно оценить взаимное расположение кулачков.

Частота следования импульсов определяет угловую скорость вращения каждой из полу муфт. Обозначим угловую скорость одной из полу муфт как ω_1 , а другой — как ω_2 . Примем допущение, что угловая скорость не сильно меняется за время прохождения муфтой углового шага зубьев. Тогда предполагаемый угол рассогласования, то есть угол между осью симметрии кулачка одной из полу муфт и осью симметрии впадины другой, равен $\omega_p = \omega_1 \Delta T_{имп}$ в случае $\omega_1 > \omega_2$ и $\omega_p = \omega_2 \Delta T_{имп}$ в случае $\omega_1 < \omega_2$ (см. рис. 4).

Предполагаемое время относительного движения до момента нахождения кулачка одной из полу муфт строго напротив впадины другой можно записать в виде выражения

$$T_{синхр} = \omega_p / |\omega_1 - \omega_2|. \quad (1)$$

Пусть время срабатывания исполнительного привода от момента подачи команды на блокировку до подвода торца подвижной в осевом направлении полу муфты к торцевой поверхности неподвижной равно $T_{пр}$. Тогда задействие привода в момент $(T_{синхр} - T_{пр})$ приведёт к зацеплению кулачков полу муфт без этапов взаимодействия по торцам и фаскам.

При небольшой разности угловых скоростей вращения полу муфт (например, в межосевом дифференциале) время $T_{синхр}$ окажется много больше, чем время срабатывания привода $T_{пр}$, поэтому включение блокировки целесообразно также производить при выполнении условия $\Delta T_{имп} \approx 0$ (одновременное срабатывание датчиков).

Предлагаемый алгоритм включения блокировки был проанализирован в имитационной модели кулачковой муфты в среде MATLAB/Simulink (см. рис. 5), подробно представленной в [3].

Объектом исследования указанной модели является муфта с восемью кулачками и фасками для облегчения включения. Сила, прикладываемая к подвижной муфте, принимается постоянной и равной 200 Н. Блок DOG CLUTCH учитывает взаимодействие полу муфт в зависимости от разности угловых скоростей, углового положения валов и силы включения. Блок Shift_controller определяет момент включения муфты по данным датчиков скорости, сигналы которых формирует блок DOG CLUTCH.

На рис. 6 показано графическое изображение параметров процесса включения кулачковой муфты с применением представленного алгоритма включения и без него. На рис. 6б представлены фазы взаимодействия полу муфт: 0 — сближение полу муфт, 1 — взаимо-

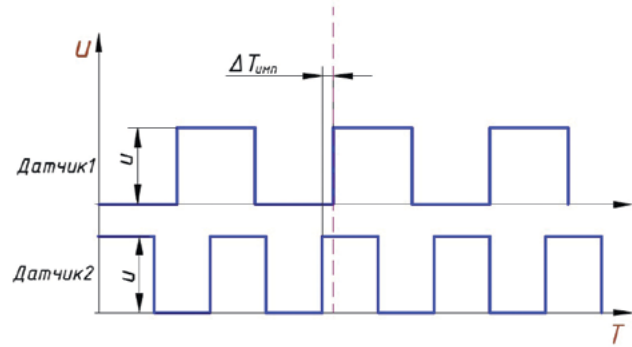


Рисунок 3. Сигналы датчиков частоты вращения полу муфт

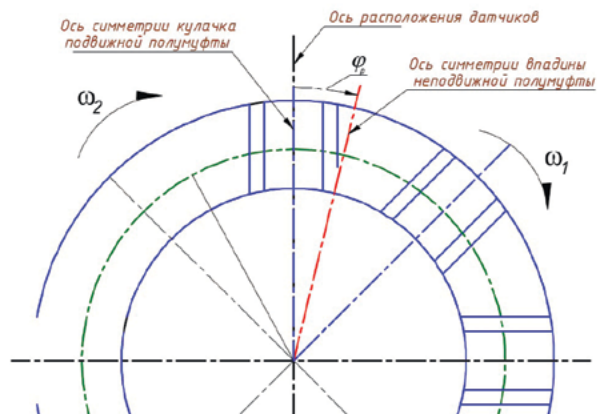


Рисунок 4. Угол рассогласования полу муфт при одновременном вращении

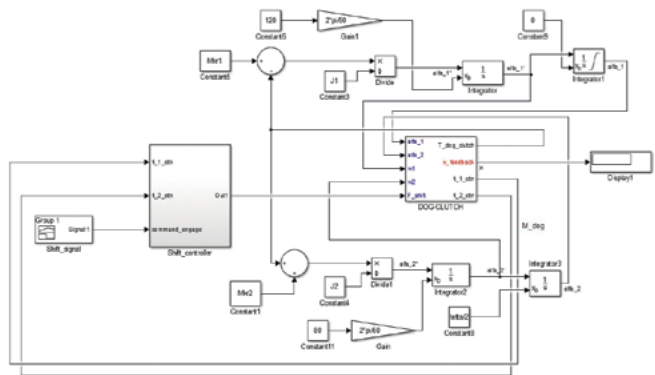


Рисунок 5. Имитационная модель кулачковой муфты и контроллера управления

действие по торцам, 2 — взаимодействие по фаскам, 3 — взаимодействие по боковым поверхностям.

Как видно из представленных графиков, в случае использования разработанного алгоритма процесс включения происходит быстро (0,02 сек. после подачи команды на включение) и без отскока муфты, несмотря на достаточно большую разность угловых скоростей вращения

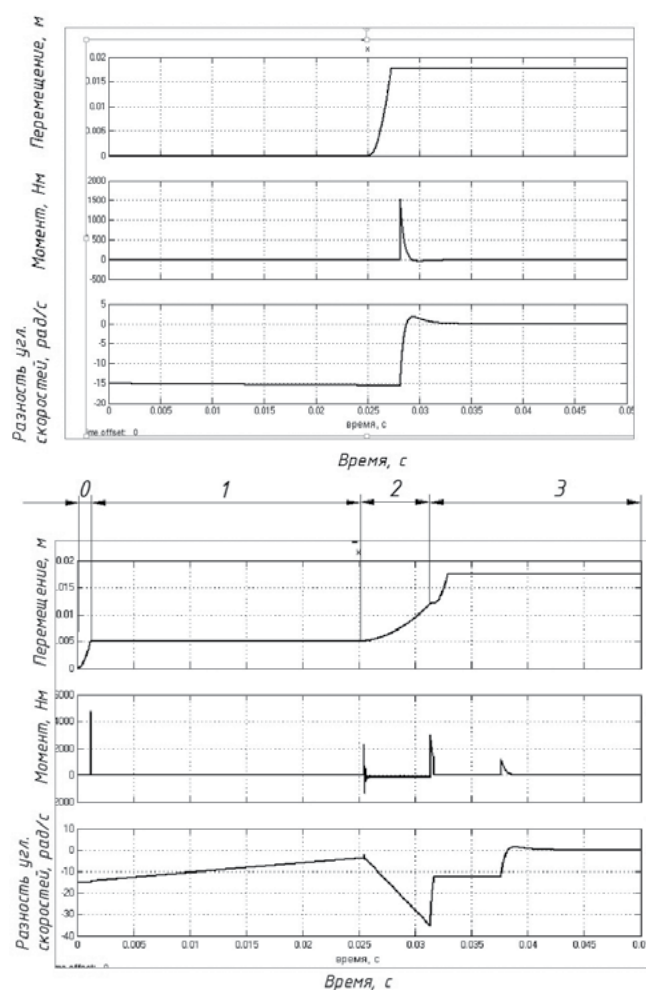


Рисунок 6. Процесс включения кулачковой муфты: а — с использованием алгоритма включения; б — без использования алгоритма включения

полумуфт (15 рад/с). В случае задействования муфты без использования алгоритма при взаимодействии по торцам полумуфт включение происходит за большее время (0,032 сек.) при тех же условиях проведения численного эксперимента. Данный алгоритм позволяет повысить надёжность включения муфты, но имеет ограничение, связанное с быстродействием привода.

Для визуального наблюдения процесса включения кулачковой муфты создан испытательный стенд, в основе конструкции которого лежит проходной мост грузового автомобиля (см. рис. 7). Кинематическая схема стенда показана на рис. 2. Основными компонентами стенда являются: картер ведущего моста, главная передача с дифференциалом и полуосью в сборе, пневматический механизм блокировки межколёсного дифференциала, два асинхронных электродвигателя, частотные преобразователи, система управления приводом блокировки. Один из электродвигателей приводит во вращение входной вал моста через резинометаллическую



Рисунок 7. Стенд испытания алгоритма включения кулачковой муфты блокировки межколёсного дифференциала

муфту, другой — полуось, соединённую с дифференциалом через карданную передачу.

Система управления состоит из двух датчиков угловой скорости, кнопки включения блокировки, контроллера и пневматического электромагнитного клапана. Один из датчиков угловой скорости — оптического типа — установлен на полуоси, другой — датчик Холла — на корпусе дифференциала. В качестве контроллера системы управления используется микроконтроллерная плата Arduino. Сигналы с датчиков скорости обрабатываются функциями аппаратного прерывания, что исключает погрешность определения временной разности между ними за счёт времени выполнения основного цикла программы.

Алгоритм проведения испытаний системы управления включением кулачковой муфты следующий: производится запуск электродвигателей, устанавливается требуемая разность угловых скоростей вращения дифференциала и полуоси, нажатием кнопки подаётся команда на включение блокировки, после чего контроллер вычисляет оптимальный момент включения и подаёт сигнал на электромагнитный воздушный клапан, который приводит в действие привод блокировки. Угловые скорости вычисляются контроллером по частоте следования импульсов, идущих с датчиков. Значения угловых скоростей передаются по последовательному порту на персональный компьютер, на котором осуществляется построение графиков и запись сигналов.



Рисунок 8. Кулачковая муфта блокировки межколёсного дифференциала: а — выключенное положение; б — включённое положение

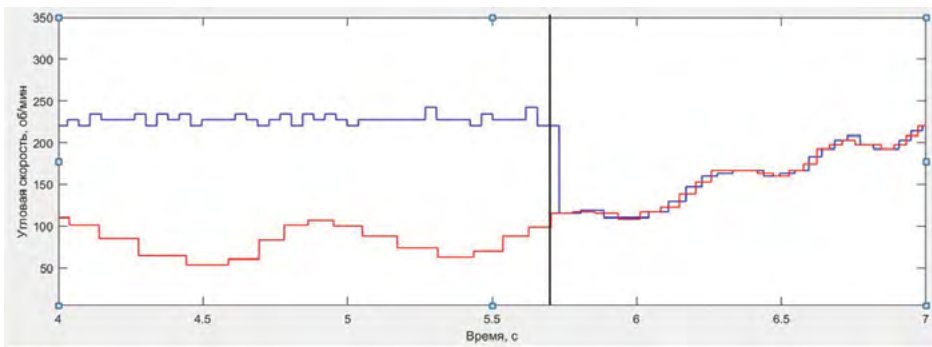


Рисунок 9. Процесс включения кулачковой муфты с использованием алгоритма определения положения кулачков

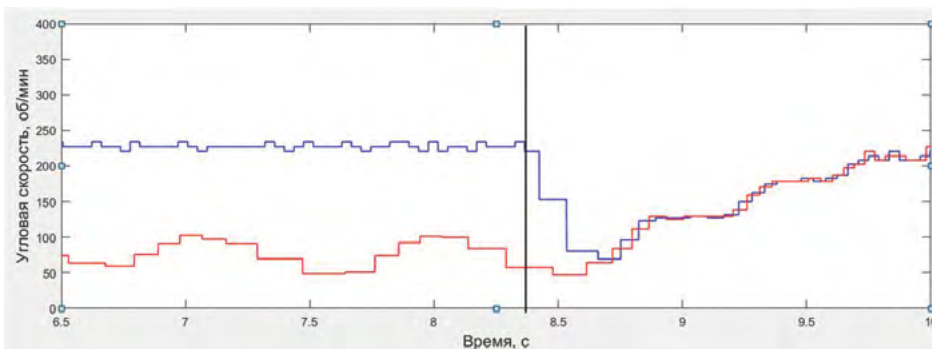


Рисунок 10. Процесс включения кулачковой муфты без использования алгоритма определения положения кулачков

Положение муфты блокировки во включённом и выключенном состоянии изображено на рис. 8.

На рис. 9 показан график изменения угловых скоростей вращения корпуса дифференциала и полуоси в момент включения с использованием представленного выше алгоритма. Ступенчатый вид графиков скорости объясняется низким разрешением роторов датчиков, число зубьев которых равно количеству кулачков муфты. Большие колебания угловых скоростей являются результатом неравномерности вращения асинхронных электродвигателей и переменного сопротивления вращения главной передачи.

На представленном графике вертикальной прямой обозначен момент подачи команды на блокировку дифференциала: время включения составило 0,1 сек. На рис. 10 представлен график включения муфты при тех же условиях ($\omega_1 = 230$ об/мин, $\omega_2 = 80$ об/мин), но без использования представленного алгоритма. В данном случае включение произошло с большой задержкой (0,5 сек.), которая связана с взаимодействием торцевых поверхностей кулачков полумуфт.

Использование алгоритма включения кулачковой муфты с определением взаимного расположения кулачков полумуфт уменьшает время включения и существенно повышает вероятность надёжного замыкания муфты даже при большой разности угловых скоростей. Работоспособность представленного алгоритма ограничена быстродействием привода блокировки. Однако ввиду тенденции увеличения рабочего давления воздуха в системах автомобиля такой алгоритм имеет свои перспективы. Наиболее подходящее применение

представленного способа включения муфты возможно в межосевых дифференциалах, где разность угловых скоростей валов не так велика. Применение алгоритма на многоколёсной технике с большим числом дифференциалов позволит повысить надёжность включения муфт, уменьшит время включения заблокированных связей в трансмиссии, что увеличит подвижность автомобиля в сложных дорожных условиях. Данный алгоритм упрощает создание системы автоматической блокировки элементов трансмиссии при несущественном усложнении конструкции узлов автомобиля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № 11-38-07/15 от 29 июля 2015 года между ПАО «КамАЗ» и Московским государственным машиностроительным университетом (МАМИ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Проектирование полноприводных колёсных машин: учебник для вузов: в 2 т. / Б. А. Афанасьев, Н. Ф. Бочаров, А. Ф. Жеглов и др. / под общ. ред. А. А. Полуянга. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. — Т. 1. — 488 с.
2. Поляков В. С. Справочник по муфтам / В. С. Поляков, И. Д. Барабаш, О. А. Ряховский. — Л.: Машиностроение, 1974. — 352 с.
3. Сафонов Б. А. Математическая модель процесса включения кулачковой муфты / Б. А. Сафонов, А. А. Смирнов // Известия МГТУ «МАМИ». — 2016. — № 1 (27).
4. MathWorks: сайт компании [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mathworks.com> (дата обращения: 01.10.2015).