

УДК 621.113

## ДУПЛЕКСНЫЙ ПРИВОД ДЛЯ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУХИМ ФРИКЦИОННЫМ СЦЕПЛЕНИЕМ

*Кандидаты техн. наук, доценты КУСЯК В. А.<sup>1)</sup>, СИДОРОВ С. А.<sup>1)</sup>, инж. БЕЛЕВИЧ А. В.<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2)</sup>ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

Разработка мехатронной системы управления механической трансмиссией большегрузного автомобиля или автопоезда предусматривает автоматизацию работы механической ступенчатой коробки передач (КП) и сухого фрикционного сцепления. С точки зрения аппаратной реализации, для управления коробкой передач агрегат необходимо оснастить датчиками и исполнительным механизмом (ИМ), представляющим собой два ортогонально расположенных на крышке КП силовых цилиндра поршневого [1] или диафрагменного [2] типа. Возможен вариант установки индивидуальных силовых цилиндров на каждый шток КП [3, с. 9, рис. 2]. И в том, и в другом случаях при включении передачи рабочее тело (воздух или жидкость) поступает в соответствующие полости цилиндров через двухпозиционные электромагнитные клапаны, управляемые ЭБУ согласно заложенному алгоритму.

Нейтраль в КП обеспечивается за счет специальной ступенчатой конструкции поршней при подаче рабочего тела одновременно во все полости ИМ. Американская корпорация Eaton в качестве исполнительного механизма КП использует два электродвигателя постоянного тока, оси роторов которых расположены под углом 90° друг к другу [4]. Один из электродвигателей осуществляет выбор, другой – включение передачи. Непосредственное управление от ЭБУ позволяет практически безударно включать передачи, однако при переходе на нейтраль возможен выход из строя обмоток статора вследствие их перегрева в момент подачи управляющего сигнала из-за эффекта так называемого моментного замка [5, с. 9].

Автоматизация фрикционного сцепления более трудоемка как в алгоритмическом плане, так и в части аппаратной реализации. Включение сцепления – сложный трибологический процесс, в течение которого происходит изменение угловых скоростей ведомой и ведущей частей и передаваемого крутящего момента. Проблему включения фрикционного сцепления в автоматическом режиме работы силового агрегата при трогании с места, маневрировании и переключении передач решили автомобилестроительные концерны стран технологического ядра: Eaton Corp. (США), Mitsubishi Motors Co. (Япония), Daimler-Chrysler Corp. (Германия), ZF Friedrich Shafen AG (Германия) и первого технологического круга: Volvo-Scania Corp. (Швеция), Iveco (Италия).

Суть проблемы заключается в том, чтобы электронная система смогла обеспечивать на всех переходных процессах такой темп включения сцепления, который позволил бы, с одной стороны, избежать динамических перегрузок в трансмиссии, а с другой – не превысить критериальные ограничения по энергетической нагруженности сцепления.

В мехатронной системе управления силовым агрегатом (МСУСА) ZF AS-Tronic II (Германия) рычаг выключения сцепления связан со штоком пневматического силового цилиндра. За наполнение рабочей полости и сброс сжатого воздуха в атмосферу отвечают четыре электромагнитных клапана, интегрированных в корпус пневмоцилиндра [6, с. 67]. Из них два клапана – впускные, два – выпускные, причем проходные дросселирующие отверстия клапанов – различные. В зависимости от режима

движения клапаны работают либо поочередно, либо попарно синхронно. Алгоритм управления клапанами, тип и параметры обратной связи – неизвестны. Управляемыми параметрами являются время и тактовая частота открытия/закрытия клапанов [6, с. 69]. Педаль сцепления в кабине водителя отсутствует. Дублирующего контура в приводе сцепления нет.

В мехатронных системах переключения передач AutoShift (Eaton Corp., США) и Opticruise (Scania AG, Швеция) автоматизированы только два процесса, связанных с управлением коробкой передач. Это процесс переключения «вверх/вниз» по алгоритму центральной синхронизации с автоматическим определением момента переключения передач [7, с. 11] и процесс выбора стартовой передачи в зависимости от весового состояния автопоезда [7, с. 12; 8]. Педаль сцепления в кабине сохранена и используется при трогании с места, остановке и маневрировании. Интересен тот факт, что шведская мехатронная система предусматривает в случае отказа электроники реализацию аварийной функции путем активации программы аварийного переключения передач LIMPHOME [7, с. 6].

Реализация аварийной функции заложена и в мехатронной системе Mercedes Telligent gearshift automated (Daimler-Chrysler, Германия), устанавливаемой на тягачи Mercedes-Benz ACTROS, работающие в составе автопоездов полной массой до 44 т. В данной системе на всех режимах движения, включая трогание, маневрирование и переключение ступеней, автоматизирована работа как фрикционного сцепления, так и 16-ступенчатой коробки передач. Информация о конструкции привода фрикционного сцепления, алгоритме и стратегии управления в доступной технической документации не приводится, однако известно, что при аварийной ситуации водитель имеет возможность доустановить откидную педаль сцепления и на принудительно включаемых 2-й и 5-й пе-

редачах доехать до ближайшего сервисного центра. Данное обстоятельство дает основание предположить, что автоматизированный привод сцепления имеет дополнительный резервный контур управления фрикционным сцеплением, аналогичный обычному штатному гидравлическому приводу.

Как показали исследования [7, с. 7; 9], для электронных компонентов мехатронных систем, несмотря на их довольно высокую надежность, характерны кратковременные сбои в работе и внезапность возникновения отказов. Кроме того, возможна утечка рабочего тела из контуров привода ИМ, что снижает или полностью исключает работоспособность системы управления и подвижность транспортного средства. Учитывая вышеизложенное, а также опираясь на опыт зарубежных компаний, специалисты ОИМ НАН Беларуси совместно с кафедрой «Автомобили» БНТУ разработали оригинальный дуплексный привод сухого фрикционного сцепления, который интегрируется в МСУСА (рис. 1), повышая ее надежность за счет наличия двух независимых контуров управления сцеплением.

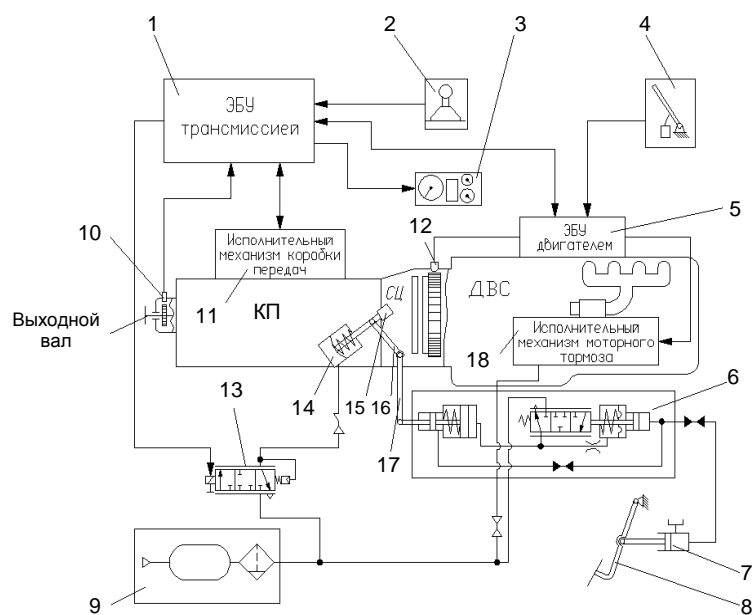


Рис. 1. Принципиальная схема МСУСА с дуплексным приводом сцепления:  
 1, 5 – ЭБУ трансмиссией и двигателем; 2 – селектор режимов движения;  
 3 – ЖКИ монитор; 4 – педаль «газа»; 6 – ПГУ; 7 – гидроцилиндр;  
 8 – педаль сцепления; 9 – питающая часть пневмопривода; 10, 12 – датчики частоты вращения; 11, 18 – исполнительные механизмы КП и моторного тормоза; 13 – пропорциональный электромагнитный клапан; 14 – силовой цилиндр; 15 – датчик перемещения; 16, 17 – рычаги узла выключения сцепления

Автоматизированный привод как основной контур управления включает силовой пневматический цилиндр и пропорциональный электромагнитный клапан, установленные на КП. Дублирующий гидравлический привод состоит из педали сцепления с гидроцилиндром, трубопроводов и штатного пневмогидравлического усилителя (ПГУ). Узел выключения сцепления представляет собой рычажный механизм, который состоит из двух рычагов независимого действия, установленных на втулке вала вилки выключения сцепления. Один из рычагов соединен с силовым цилиндром автоматизированного привода управления сцеплением. Другой рычаг входит в состав дублирующего гидравлического привода.

**Автоматизированный привод** работает следующим образом. Выключение фрикционного сцепления при трогании с места, маневрировании и переключении передач в автоматическом режиме работы силового агрегата происходит при подаче управляющего сигнала от ЭБУ на электромагнитный клапан. Клапан срабатывает, и сжатый воздух поступает из ресивера питающей части в рабочую полость пневмоцилиндра привода сцепления.

Шток пневмоцилиндра воздействует на рычаг 16, жестко связанный посредством шлицев с втулкой (рис. 2), которая, в свою очередь, жестко посажена на вал вилки выключения сцепления. Поворот рычага 16 вызывает поворот вала. Сцепление выключается. При этом рычаг 17 все время остается неподвижным, так как сухари, вращаясь по часовой стрелке вместе с втулкой и рычагом 16 в пределах угловой зоны, ограниченной ходом штока пневмоцилиндра (рис. 1), не контактируют с силовыми пальцами 7, 9, 11 (рис. 2), перемещающимися вдоль паза втулки. После включения передачи ЭБУ подает широтно-импульсный сигнал на пропорциональный электромагнитный клапан (рис. 1), от цикла к циклу увеличивая его скважность. Сжатый воздух из рабочей полости пневмоцилиндра привода сцепления через электромагнитный клапан постепенно выпускается в атмосферу, обеспечивая требуемый темп включения сцепления. Рычаг 16 под действием нажимного устройства сцепления и возвратной пружины пневмоцилиндра занимает

исходное положение. Рычаг 17 остается при этом неподвижным.

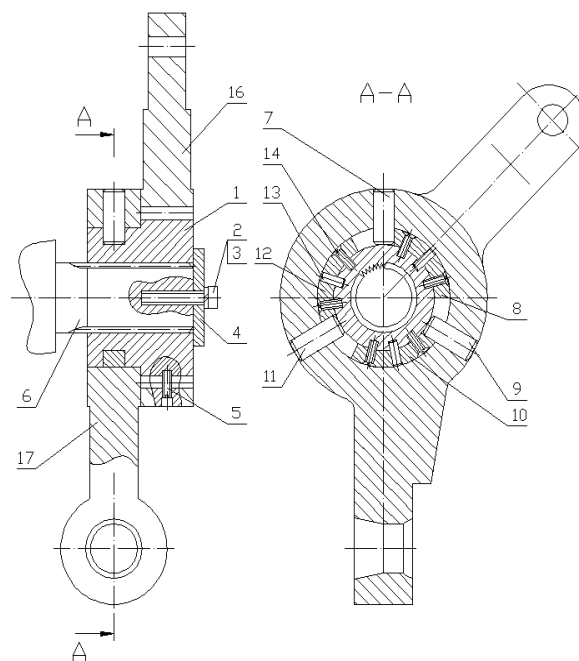


Рис. 2. Двухрычажный механизм выключения сцепления:  
1 – втулка; 2–5, 14 – фиксирующие элементы;  
6 – вал вилки выключения сцепления; 7, 9, 11 – пальцы;  
8, 10, 12 – сухари; 13 – штифты; 16, 17 – рычаги

**Дублирующий привод работает следующим образом.** При нажатии на педаль (рис. 1, 3) усилие от ноги водителя через рычаг и шток передается к главному цилиндру, откуда жидкость под давлением по трубопроводу (рис. 3) поступает в корпус следящего устройства ПГУ. Последнее срабатывает и обеспечивает подачу сжатого воздуха из ресивера питающей части (рис. 1) в рабочую полость цилиндра пневмоусилителя. Одновременно от главного цилиндра жидкость под давлением поступает в гидравлический цилиндр ПГУ. Суммарное усилие давления воздуха в пневмоциindre и давления жидкости в гидравлическом цилиндре ПГУ передается на шток ПГУ. Шток перемещает рычаг 17. При этом силовые пальцы 7, 9, 11 (рис. 2) воздействуют на контактные поверхности соответствующих сухарей 8, 10, 12, передавая вращение втулке. Вал вилки выключения сцепления поворачивается, разъединяя ведущие и ведомые диски. Сцепление выключается. Поворот втулки вала вилки выключения сцепления вызывает поворот рычага 16, соединенного со штоком пневмоцилиндра (рис. 1). Шток

пневмоцилиндра перемещается вправо, преодолевая сопротивление возвратной цилиндрической пружины. При отпуске педали рычаги 16 и 17 вращаются против часовой стрелки, занимая исходное положение.

Работоспособность спроектированного автоматизированного привода управления фрикционным сцеплением подтверждена серией полунатурных экспериментов, проведенных на стенде С 697-00.00.00 Минского автомобильного завода. Анализу подвергли процесс трогания с места автопоезда МАЗ 530905-010 в автоматическом режиме работы силового агрегата. В качестве исполнительного механизма выключения сцепления использовали тормозную камеру и электромагнитный пропорциональный клапан КЭП-01 производственного объединения «Родина» (Россия). Управление клапаном осуществляли посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с частотой сигнала 400 Гц. Осциллограмма записи переходного процесса представлена на рис. 4.

ния с места автопоезда МАЗ 530905-010 в автоматическом режиме работы силового агрегата. В качестве исполнительного механизма выключения сцепления использовали тормозную камеру и электромагнитный пропорциональный клапан КЭП-01 производственного объединения «Родина» (Россия). Управление клапаном осуществляли посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с частотой сигнала 400 Гц. Осциллограмма записи переходного процесса представлена на рис. 4.

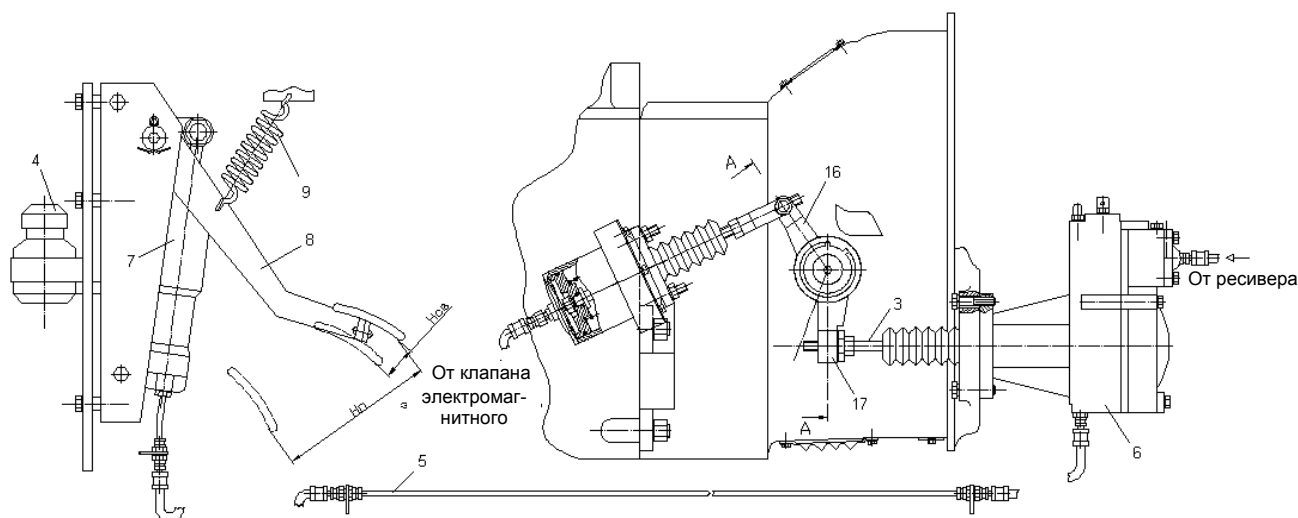


Рис. 3. Дуплексный привод фрикционного сцепления: 3 – шток пневмоусилителя; 4 – расширительный бачок; 5 – трубопроводы; 6 – корпус ПГУ; 7 – гидроцилиндр; 8 – педаль сцепления с возвратной пружиной 9; 16, 17 – рычаги узла выключения сцепления

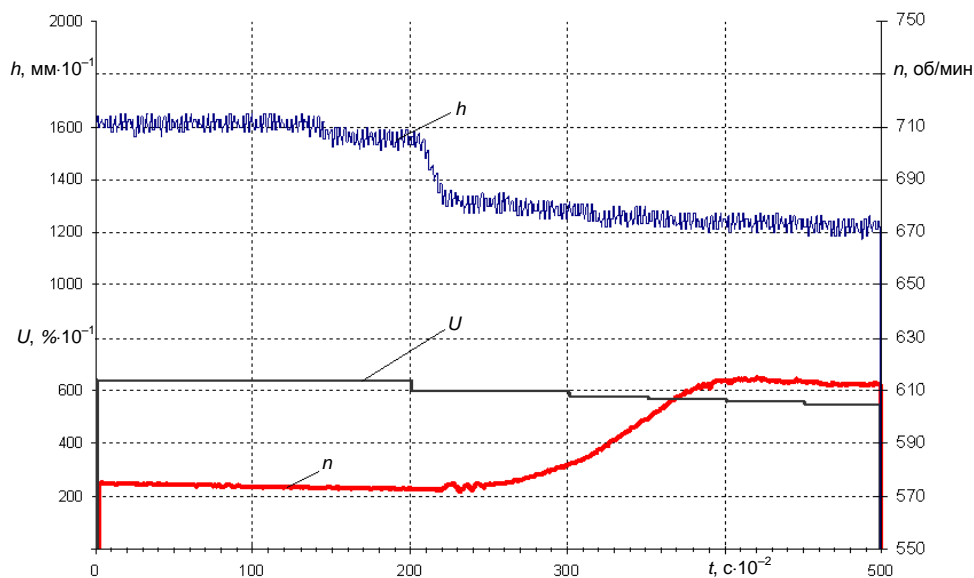


Рис. 4. Осциллограмма процесса плавного включения сцепления:  $U$  – управляющий сигнал ШИМ,  $\% \cdot 10^{-1}$ ;  $h$  – ход рычага сцепления,  $\text{мм} \cdot 10^{-1}$ ;  $t$  – время,  $\text{с} \cdot 10^{-2}$ ;  $n$  – частота вращения промежуточного вала КП, об/мин

## ВЫВОДЫ

1. Анализ мехатронных систем управления фрикционными сцеплениями показал, что ввиду возможного отказа электроники, отсутствия или утечки воздуха из питающей/управляющей магистрали автоматизированного привода система должна обеспечивать реализацию аварийной функции, позволяющей сохранить подвижность транспортного средства.

2. Спроектированный дуплексный привод сухого фрикционного сцепления полностью работоспособен и при его интеграции в мехатронную систему управления силовым агрегатом позволит повысить ее надежность за счет использования двухрычажной конструкции узла выключения сцепления, обеспечивающей независимость работы двух контуров для сохранения функции управления фрикционным сцеплением в аварийной ситуации.

3. Как видно из представленной осциллограммы, диапазон регулирования управляющего сигнала недостаточно широк и составляет приблизительно 16–18 % ШИМ, что не позволяет осуществлять «тонкое» управление процессом включения сцепления. Для расширения диапазона и, следовательно, качества управления необходимо согласовать упругую характеристику нажимного устройства сцепления с геометрическими параметрами исполнительного механизма, рабочей характеристикой электромагнитного пропорционального клапана и выходным каскадом контроллера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Road transport:** Volvo FE gets I-Sync automatic transmission. [Electronic resource] / B. Weatherley, W. Shiers. – Movable Type Enterprise, 2009. – Mode of access: <http://www.RoadTransport/VolvoFEgetsI-Syncautomatictransmission.Moretwo-pedaltratsfromBigLorryblog!-BigLorryBlog.html>. – Date of access: 20.11.2009.
2. **Механизм** автоматизированного переключения передач в механической ступенчатой коробке передач: пат. 2192973 С2 Рос. Федерация, МПК7 В60К20/00, МПК7 В60К20/02 / Р. М. Фадеев; заявитель ОАО «КамАЗ». – № 2001104251/28; заявл. 13.02.01; опубл. 20.11.02. – 6 с.
3. **ZF – AS Tronic®** // ZF tech. information. – Sheet-No 1327 750 102a. – ZF Friedrichshafen AG, Germany, 2001. – 23 p.
4. **Fuller®Automated Transmissions:** Fuller®UltraShift® LST -LHP, -LEP // Eaton tech. information: condensed specifications TRSL-0300, -0318 807 2.5M/WP, TRSL – 0314 807 2M/WP. – Eaton Corporation, USA, 2007. – 6 p.
5. **Method** of controlling an automated mechanical transmission shift mechanism: pat. 5325029 USA, int. Cl.5 В60К 17/12 / D. P. Janecke, L. A. Kominek, S. A. Edelen; assignee Eaton Corporation. – № 985190; filed 11.30.92; date of patent 28.06.94. – 14 p.
6. **ZF AS Tronic и ZF AS Tronic mid:** техническое руководство по установке, работе и вводу в эксплуатацию // ZF tech. Information. – Sheet-No 1328 765 901f21. – ZF Friedrichshafen AG, Germany, 2005. – 105 p.
7. **Opticruise: description of operation and work description** // Scania tech. information 05:05-02. – Sheet-No 1 585 369. – Scania CV AB, Sweden, 1995. – 84 p.
8. **Fuller®Automated Transmissions:** AutoShift™ 18-Speed / Eaton tech. information: condensed specifications TRSL-0285 806 2M/WP. – Eaton Corp., USA, 2006. – 2 p.
9. **Карпиевич, Ю. Д.** Теоретические основы создания систем бортового диагностирования тормозов автомобилей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Ю. Д. Карпиевич. – Минск, 2003. – 42 с.

Поступила 18.10.2012

УДК 681.527.34

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА

Канд. техн. наук, доц. **СТРОК Е. Я.**<sup>1)</sup>, канд. техн. наук **БЕЛЬЧИК Л. Д.**<sup>1)</sup>,  
инж. **АЛЕКСАНДРОВА Т. Л.**<sup>1)</sup>, канд. техн. наук **ГОРАВСКИЙ С. Л.**<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,

<sup>2)</sup>Минский электротехнический завод имени В. И. Козлова

Энергонасыщенные тракторы для управления технологическим оборудованием посредством навесных устройств широко оснащают-

ся автоматизированным гидроприводом. Опыт функционирования тракторных агрегатов показывает, что применение тяжелых орудий тре-