

# МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКЕЙ ПЕРЕДАЧ

## Mechatronic control system of manual gearbox

Кусяк В.А., к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

**Аннотация.** Разработана мехатронная система управления силовым агрегатом на базе сухого фрикционного сцепления и механической коробки передач. Даны детальное описание аппаратной части системы управления и исполнительных механизмов многоступенчатой механической коробки передач. Приведены результаты полунатурного эксперимента по исследованию процесса переключения в командном режиме управления автоматизированной трансмиссией автомобиля.

**The summary.** The paper presents the powertrain mechatronic control system based on dry friction clutch and manual gearbox. Detailed description of the control systems hardware and multistage manual gearbox actuators are given in activity. The results of gearshift semi-natural experiment in the control command mode of vehicle automated transmission are shown.

**Введение.** Согласно исследованиям [1, 2, 3], проведенным ОИМ НАН Беларуси, в ближайшее десятилетие более 80% инноваций в автомобилестроении будет связано с созданием многофункциональных мехатронных систем управления узлами и агрегатами мобильных машин. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является разработка автоматизированной мехатронной системы управления силовым агрегатом на базе сухого фрикционного сцепления и механической ступенчатой коробки передач (рис. 1).

более высокий КПД и на 19...23% меньшую себестоимость изготовления по сравнению с гидромеханической передачей.

**Основная часть.** Учитывая перспективность вышеописанного направления, специалисты кафедры «Автомобили» БНТУ разработали макетный образец мехатронной системы управления 10-ти ступенчатой коробкой передач КамАЗ-14 в комплексе с двухдисковым фрикционным сцеплением и дизельным двигателем КамАЗ-740. Управление вышеперечисленными узлами и агрегатами на всех режимах движения должно быть автоматическое. Поэтому топливный насос высокого давления, моторный тормоз, фрикционное сцепление, основную и дополнительную коробки передач необходимо оснастить исполнительными механизмами, электромагнитными клапанами, концевыми выключателями, датчиками частот вращения и перемещения. Принципиальная схема разработанной мехатронной системы изображена на рис. 2.

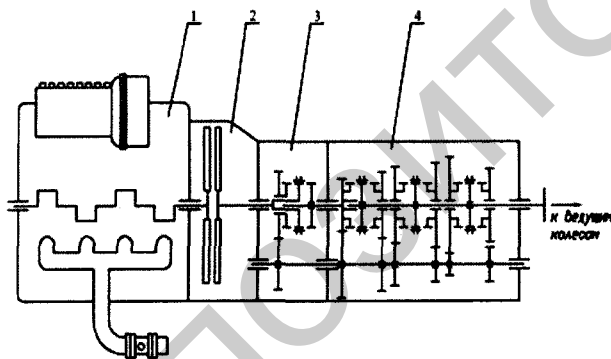


Рис.1. Силовой агрегат грузового автомобиля

1 – ДВС, 2 – фрикционное сцепление, 3, 4 – дополнительная (делитель) и базовая КП

По сравнению с «обычной механикой» или с гидромеханической передачей автоматизированная механическая коробка обладает лучшим усредненным показателем по удельной массе практически во всем диапазоне входных крутящих моментов двигателя. В зависимости от номинального входного момента, автоматизированные механические КП (модельный ряд 2001-2010 года) по массе легче на 4%...25% механических, и на 16%...55% - гидромеханических передач [4, рис.1, табл.1-3], что обеспечивает меньшую удельную металлоемкость автомобиля. Кроме того, механические КП имеют на 20...27%

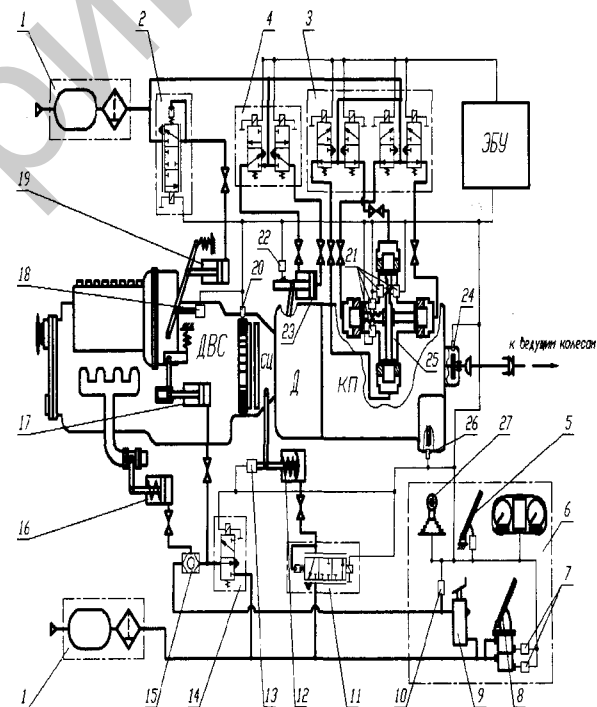


Рис.2. Принципиальная схема автоматизированного силового агрегата

1 – питающая часть пневмопривода; 2, 11 – пропорциональные ЭМК управления соответственно топливоподачей ДВС и сцеплением; 3 – блок ЭМК управления исполнительным механизмом КП; 4 – ЭМК управления делителем; 5 – педаль акселератора с датчиком положения; 6 – органы управления и панель приборов; 7, 10 – датчики давления;

8 – педаль тормоза с двухсекционным тормозным краном; 9 – клапан останова двигателя; 12 16, 17, 19, 23, 25 – исполнительный механизм соответственно сцепления, моторного тормоза, выключения подачи топлива, рычага регулятора ТНВД и делителя; 13, 18, 22 – датчики перемещения; 14 – ЭМК управления моторным тормозом и выключением подачи топлива; 15 – двухмагистральный клапан; 20, 24, 26 – датчики частоты вращения; 21 – концевые выключатели; 25 – исполнительный механизм КП; 27 – селектор режимов

Исполнительный механизм (ИМ) основной коробки передач разработан в Проблемной НИЛ БПИ-БГПА-БНТУ [5] и представляет собой два силовых пневматических цилиндра, оси которых расположены под углом 90 градусов друг к другу (см. рис.3). Конструкция поршней пневмоцилиндров – ступенчатая. Один из цилиндров осуществляет выбор штока требуемой передачи, а другой отвечает за перемещение выbranного ползуна и включение передачи.



Рис.3. Расположение пневмоцилиндров ИМ и вид в плане на ползуны КП

1 – зацепление рейка - зубчатый сектор, 2 – палец исполнительного механизма, 3 – шток вилки переключения; 4 – головка штока; 5 – вилка переключения передачи

Наполнение/опорожнение рабочих полостей Ж, З, Л, или К пневмоцилиндров (см. рис.4) происходит при срабатывании определенной комбинации электро-магнитных клапанов 15, установленных по два на каждый пневматический цилиндр.

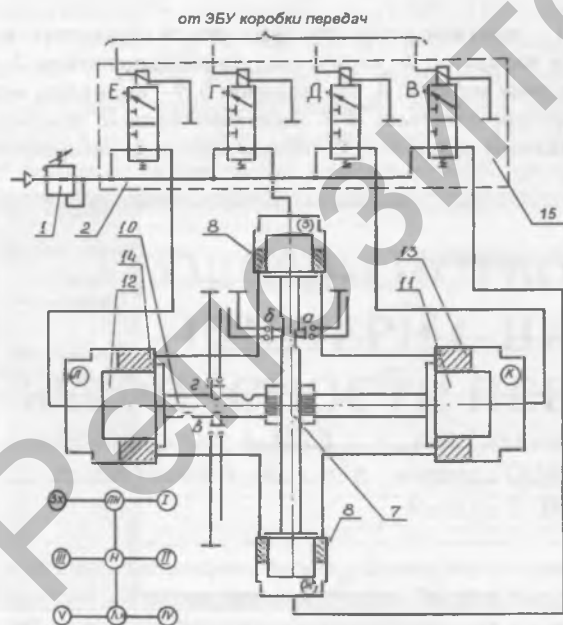


Рис.4. Схема управления ИМ выбора и включения передачи

1 – клапан редукционный, 2 – рампа электромагнитных клапанов, 7, 10 – штоки поршней 11 и 12; 8, 13,14 –

плавающие поршни; 15 – электромагнитные клапаны КП

Внешний вид электромагнитного клапана КП и его расходная характеристика представлены на рис.5.

Нейтраль в КП характеризуется отсутствием напряжения на электропневмоклапанах В, Г, Д, и Е (см. рис. 4), что способствует беспрепятственному прохождению сжатого воздуха через редукционный клапан 1 и воздухораспределитель 2 в рабочие полости Ж и З цилиндра выбора ползунов и полости К и Л цилиндра включения передач. За счет разницы в активных площадях поршней, и, следовательно, в создаваемых усилиях на штоках 7 и 10 пневмоцилиндров ИМ, палец 2 (рис.3) перемещается вместе с вилкой 5 переключения и штоком 3 из крайнего к среднему положению, выводя зубчатую муфту из зацепления. В момент, когда площади поршней справа и слева уравниваются, палец 2, находясь под действием уравнивающих давлений, устанавливается в нейтральное положение (Н) (см. рис.4), соответствующее выбору ползуна включения II–III передач. При этом контакты датчиков «а», «б» и «в», «г» цилиндров выбора и включения передач разомкнуты.

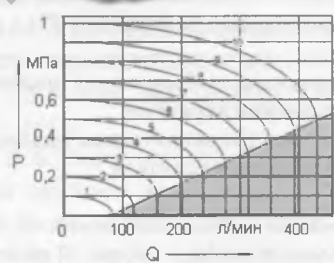


Рис.5. Внешний вид и характеристика пневмораспределителя V0307-5D0-Q с прямым электромагнитным управлением

Включение требуемой передачи происходит за счет подачи сигнала на определенную комбинацию электропневмоклапанов В, Г, Д или Е (см. рис.4), последовательно соединяющих с атмосферой рабочие полости цилиндров выбора и включения передач. После перевода пальца 2 (см. рис.3) посредством зацепления рейка-зубчатый сектор в положение правой (ПН) или левой (ЛН) нейтрали (см. рис.4) в микропроцессорный блок поступает сигнал о завершении процесса выбора ползуна от датчика «а» или «б» при достижении одним из плавающих поршней 8 упоров крышки цилиндра. Дальнейшим перемещением пальца 2 (см. рис. 3) со штоком 3 и вилкой 5 по оси У-У производится включение заданной передачи. По окончании процесса включения передачи, контакты одного из датчиков «в» или «г» находятся в замкнутом, а второго – в разомкнутом состоянии.

Вышеописанный исполнительный механизм устанавливается непосредственно на крышку КП (см. рис. 6) без каких-либо ее конструктивных изменений. Техническая характеристика ИМ приведена в табл.1.

Таблица 1. Техническая характеристика ИМ основной коробки передач

Цилиндр выбора штока КП				Цилиндр включения передачи			
Ø дросселя на входе, мм	Ø малого поршня, мм	Ø большого поршня, мм	Ход штока, мм	Ø дросселя на входе, мм	Ø малого поршня, мм	Ø большого поршня, мм	Ход штока, мм
1,78	30	45	4*	1,5	50	70	16*

Примечание: \* – ход штока указан от нейтрального до конечного положения.

Переключение ступеней двухступенчатого повышающего делителя осуществляется с помощью штатного пневматического цилиндра 4 (см. рис.6), установленного на общем со сцеплением картере. В отличие от исполнительного механизма основной коробки, имеющего три фиксированных позиции штока, поршень пневмоцилиндра 4 делителя имеет только два устойчивых положения, соответствующих прямой или повышающей ступени.



Рис.6. Исполнительный механизм КП с рампой ЭМК

- 1 – пневмоцилиндр выбора штока (ползуна); 2 – пневмоцилиндр включения передачи;
- 3 – рампа с электромагнитными клапанами; 4 – исполнительный механизм делителя

Используемая на автомобилях семейства КамАЗ система управления делителем [6, с. 84, рис.7] конструктивно изменена. Управление золотником 1 воздухораспределителя 2 (см. рис.7) осуществляет контроллер КП, последовательно подавая напряжение или обесточивая электромагнитные клапаны 6, дополнительно установленные на рампе 3 ЭМК КП (см. рис.6). При этом, в зависимости от требуемой передачи делителя, золотник 1 (см. рис.7) смещается вправо или влево. Одна из рабочих полостей силового пневмоцилиндра сообщаются с нагнетательной магистралью, другая – с атмосферой, за счет чего происходит автоматическое включение прямой или повышающей ступени делителя.

В качестве органа управления режимами работы силового агрегата используется селектор 27 (см. рис.1) от легкового автомобиля BMW 5-й серии с модифицированной под 24 В системой питания. Водитель воздействует на селектор 27 режимов движения, педаль 5 акселератора, а по необходимости и на педаль 8 тормоза. Изменение топливopодачи дизельного двигателя, включение-выключение сцепления и переключение ступеней в коробке происходит автоматически в результате срабатывания пневматических силовых исполнительных механизмов 12, 16, 17, 19, 23 и/или 25 при подаче сигнала от контроллера на соответствующий электромагнитный клапан или их комбинацию.

Работоспособность спроектированной мехатронной системы (см. рис.1) была подтверждена полунатурным экспериментом. На испытательном стенде производилась имитация процесса переключения с II-й на III-ю передачу в командном режиме управления силовым агрегатом 20-ти тонного грузового автомобиля. Отдельные результаты экспериментов приведены на рис. 8.

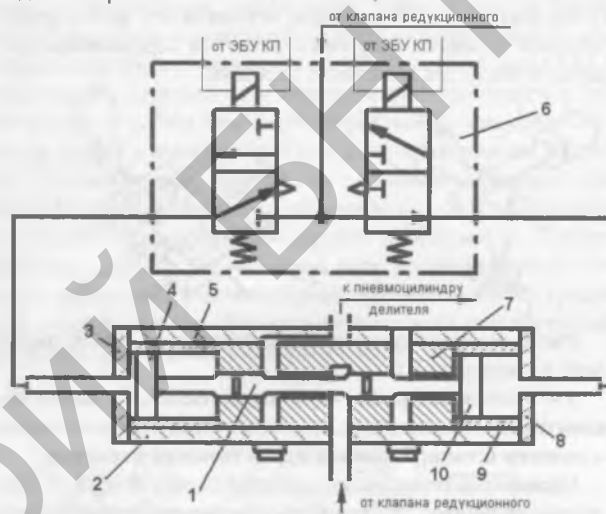


Рис.7. Принципиальная схема управления ИМ делителя.

- 1 – золотник воздухораспределителя с уплотнительными кольцами; 2 – корпус воздухо-распределителя; 3, 8 – крышки корпуса; 4, 10 – поршни; 5, 9 – цилиндры воздухораспре-делителя; 6 – электромагнитные клапаны управления делителем; 7 – гнездо золотника распределителя

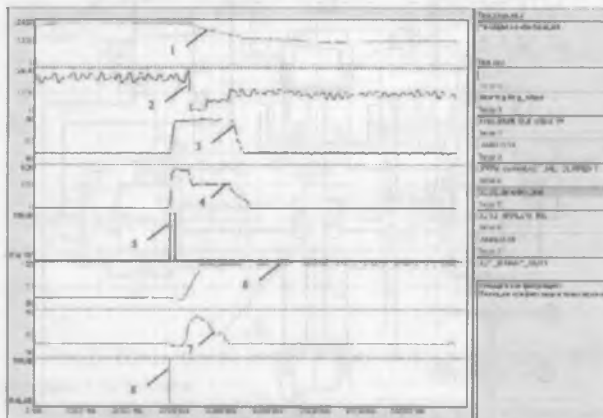


Рис.8. Осциллограмма процесса переключения с II-й на III-ю передачу

- 1, 2 – частота вращения соответственно коленвала ДВС и выходного вала КП в приведении к первичному

валу, об/мин; 3 – перемещение рычага выключения сцепления, бит; 4 – ток ПЭМК управления сцеплением, мА; 5 – сигнал уровня «1» от перемещения рычага селектора в позицию «+»; 6 – перемещение вилки переключения делителя, бит; 7 – перемещение вилки включения передачи в базовой КП, бит; 8 – сигнал на управление электромагнитным клапаном делителя

Как видно из представленной осциллограммы алгоритм переключения передач имеет следующую структуру:

*управление селектором – управление двигателем – выключение предыдущей передачи в основной коробке при полностью выключенном сцеплении – переключение ступени делителя – выбор штока и включение последующей передачи с предварительным выравниванием угловых скоростей включаемых элементов синхронизаторами КП – полное включение сцепления и управление двигателем.*

Общее время переключения передач (от момента перевода селектора до полного выключения сцепления) составляет  $t_n = 1,95$  с (см. рис.8). Причем большую часть времени занимает процесс переключения в основной КП. Время выключения II-й передачи и переход в нейтраль составили 0,5с (см. рис. 8). Включение III-й передачи произошло за 0,9 с, причем на синхронизацию угловых скоростей индивидуальными синхронизаторами потребовалось  $t_{\text{синх}} = 0,35$  с. Таким образом, общее время манипуляций в основной КП составило 1,4 с. Выключение фрикционного сцепления произошло за 0,1с, переключение с повышающей на прямую ступень делителя заняло 0,45 с, а процесс замыкания сцепления произошел за 0,35 с.

**Заключение.** По сравнению с ручным управлением, автоматизация процесса переключения дает выигрыш по времени в командном режиме управления в 0,85 с (1,95 с против 2,8 с [7, с. 404, 8, с. 74, табл. 3.3, 9, с. 36]), что составляет 30,36%. Указанное преимущество механических автоматизированных трансмиссий позволяет сократить времени разрыва потока мощности при переключении, что повышает топливную экономичность автотранспортных средств и улучшает их тягово-скоростные свойства.

#### Перечень литературных источников

1. Альгин, В.Б. Основные направления в развитии мультидисциплинарной теории мобильной машины 2011 / В.Б. Альгин [и др.] // Механика-2011: сб. науч. тр./ ОИМ НАН Беларуси; редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. – Минск, 2011, Т.1. – С. 80–98.
2. Высоцкий, М.С. Расчеты кинематики, динамики и ресурса многомассовых систем мобильных машин: основные направления и перспективы развития / М.С. Высоцкий, В.Б. Альгин // Механика машин, механизмов и материалов. – 2008. – № 1(2). – С. 17–23.
3. Красневский, Л.Г. Роль трибологии и трибофатики в развитии конструкций автомобильных трансмиссий: сб. трудов VI Междунар. симп. по трибофатике МСТФ-2010 / Минск: БГУ; редкол.: М.А. Журавков (пред.) и [др.] – Минск, 2010. – Ч.1 – С. 299-308.
4. Руктешель О.С. Сравнительные показатели коробок передач грузовых автомобилей / О.С. Руктешель, В.Л. Соломахо, В.А. Кусяк, А.А. Филимонов // Грузовик &. – 2006. – № 12. – С. 21–27.
5. Механизм переключения передач транспортного средства: а. с. 1498643 СССР, МПК В60К 20/00 / С.Г. Стаскевич, О.А. Маханьков, Г.Д. Сычев и др.; заявл. 09.12.87; опубл. 07.08.89. – 3с.
6. Автомобили КамАЗ -5320, КамАЗ 5410, КамАЗ-5541: руководство по ремонту автомобилей.– М.:автоэкспорт, 1990.–237 с.:ил.
7. Руктешель, О.С. Анализ и синтез систем автоматического управления переключением передач автотранспортных средств: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / О.С. Руктешель. – Минск, 1987. – 504 с.
8. Кусяк, В.А. Синтез алгоритма переключения передач в трансмиссии городского автобуса: дис. ... к-та техн. наук: 05.05.03 / В.А. Кусяк. – Минск, 2000. – 173 с.
9. Коралевски Г. Синтез законов управления и параметров гидромеханических трансмиссий колесных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Г. Коралевски. – Минск, 2001. – 40 с.