

УДК 629.3-52

# ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ КОРОБКАМИ ПЕРЕДАЧ

## ACTUATORS DEVELOPMENT TRENDS OF AUTOMATED MECHANICAL GEARBOXES

**А. Г. Баханович,**

профессор кафедры «Автомобили», проректор БНТУ, д-р техн. наук, доцент

**О. С. Руктешель,**

зав. кафедрой «Автомобили» БНТУ, д-р техн. наук, профессор

**В. А. Кусяк,**

доцент кафедры «Автомобили» БНТУ, канд. техн. наук, доцент

**Д. С. Белабенко,**

начальник отдела ГМП УГК ОАО «МЗКТ», аспирант кафедры «Автомобили» БНТУ

**A. Vakhanovich, O. Rukteshel, V. Kussyak, D. Belabenko**

Дата поступления в редакцию — 03.12.2015 г.

В статье рассмотрены современные конструкции исполнительных механизмов автоматизированных механических коробок передач ведущих автомобилестроительных концернов и специализированных фирм. Проанализированы достоинства и недостатки их конструктивного исполнения, проведена классификация исполнительных механизмов по типу, месту расположения и способу передачи усилия на вилки переключения, а также рассмотрена аппаратная основа систем управления многоступенчатыми коробками передач.

The article presents modern actuators designs of automated mechanical gearboxes of leading automobile building concern and specialized firms. The advantages and disadvantages of their design, as well as the classification of the various actuators by type, location and method for transferring force to the shift fork are given in activity. Hardware base of multistep gearboxes control systems is described.

Одной из устойчивых тенденций в мировом автомобилестроении является оснащение силовых агрегатов грузовых автомобилей, автобусов и автопоездов автоматизированными механическими коробками передач (КП). Будучи неотъемлемой частью современных мехатронных систем, исполнительные механизмы (ИМ) облегчают водителю управление переключени-

ем передач, обеспечивают сокращение общего времени процесса переключения, что способствует повышению динамических качеств и топливной экономичности автотранспортного средства.

К механизмам управления КП предъявляются следующие требования: компактность, минимальная масса, достаточная надежность,

удобство и минимальная трудоемкость обслуживания, технологичность производства.

Обзор мехатронных систем управления трансмиссией на базе сухого фрикционного сцепления и механической КП показал, что при практически идентичной аппаратной базе (датчики, концевые выключатели, электронный блок управления (ЭБУ), электромагнитные клапаны и т. д.), конструкция привода переключения передач различна.

Как правило, для управления основной КП используются ИМ поршневого типа, управляемые от контроллера посредством двухпозиционных электромагнитных клапанов (ЭМК). Гидравлические или пневматические цилиндры выполняются двухстороннего действия и имеют три устойчивых положения (два крайних и промежуточное). Для установки штока в промежуточное положение применяются цилиндрические возвратные пружины или используется специальная ступенчатая форма поршней и цилиндров. В первом случае в цилиндр установлен один поршень, но для сжатия центрирующих пружин требуется создавать дополнительное усилие. Кроме того установка пружин увеличивает массу исполнительного механизма. В альтернативной конструкции количество ступенчатых поршней может быть два и более. Однако при таком конструктивном исполнении отпадает необходимость в центрирующих пружинах, и не надо затрачивать усилие на их сжатие. Преимуществом является и тот факт, что масса такого исполнительного механизма несколько уменьшается. Схематичное изображение исполнительных механизмов с пружинами и со ступенчатыми поршнями показан на рис. 1.

Гидравлические или пневматические цилиндры могут устанавливаться как внутри корпуса коробки передач и непосредственно воз-

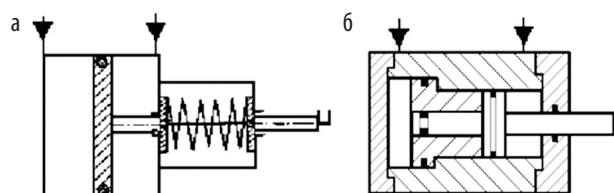


Рис. 1. Исполнительный механизм:  
а — с пружинами, б — со ступенчатыми поршнями

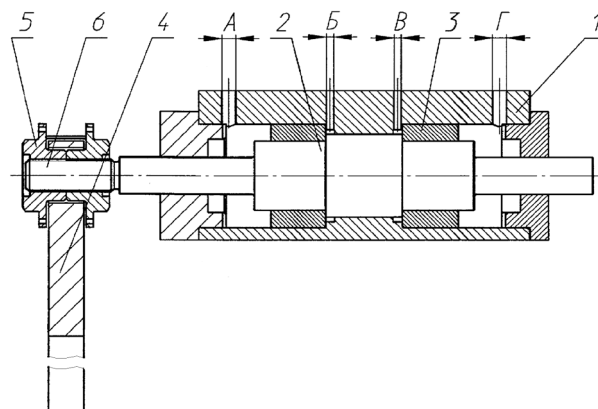


Рис. 2. Гидравлический цилиндр перемещения вилки переключения передач: 1 — корпус; 2 — ступенчатый поршень; 3 — дополнительный поршень; 4 — вилка; 5 — гайка; 6 — резьбовой конец штока ступенчатого поршня

действовать на вилки включения зубчатых муфт, так и быть вынесенными на крышку КП и передавать усилие через дополнительные устройства.

На рис. 2 представлен гидравлический исполнительный механизм переключения [1], встроенный в корпус коробки передач.

На нейтральной передаче в КП рабочая жидкость под давлением подается через отверстия А и Г к противоположным торцам поршней 2 и 3 (см. рис. 2). Под воздействием создаваемого усилия дополнительные поршни 3 упираются в уступ корпуса 1, а уравновешенный ступенчатый поршень 2 занимает фиксированное среднее положение.

При включении передачи рабочая жидкость подается, например, в полость А (см. рис. 2), а полость Г соединяется со сливом. Ступенчатый поршень 2 перемещается вправо вместе с дополнительным правым поршнем 3, пока последний не упрется в корпус 1 цилиндра. При дальнейшем перемещении ступенчатый поршень 2 занимает крайнее правое положение, соответствующее включенной передаче.

Данный исполнительный механизм получается довольно компактным. Ввиду довольно высоких давлений (до 10 МПа), гидроцилиндр имеет сравнительно малый диаметр, а из-за отсутствия пружин, устанавливающих поршень в среднее положение, и уменьшенный осевой размер. К недостаткам конструкции можно отнести большее количество поверхностей, требующих уплотнение.

Концерн Volkswagen (Германия) в автоматизированной коробке передач DSG [2] также

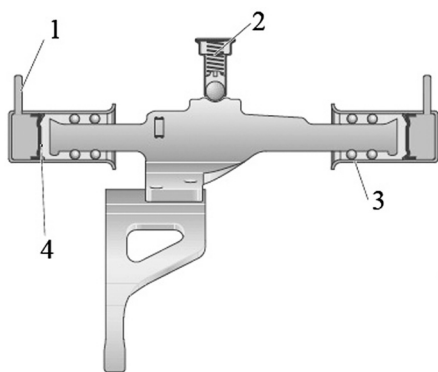


Рис. 3 — Исполнительный механизм автоматизированной КП DSG Volkswagen: 1 — подача масла; 2 — фиксатор; 3 — гидроцилиндр; 4 — поршень

использует встроенный в корпус КП гидравлический механизм переключения. Однако, в отличие от вышеописанного ИМ, перемещение штока с вилкой осуществляют два гидроцилиндра одностороннего действия, установленные соосно с ползунами КП (рис. 3). Переключение передач производится посредством вилок и зубчатых муфт такого же типа, как у обычных механических КП. Каждая из вилок используется для включения двух передач. Штоки вилок включения передач перемещаются в гидроцилиндрах на шариках. Процесс включения передачи начинается с команды ЭБУ на подачу масла, например, в левый гидроцилиндр привода вилки.

Так как давление масла в правом гидроцилиндре отсутствует, шток вместе с вилкой перемещается вправо, увлекая за собой скользящую муфту синхронизатора. В результате производится включение передачи. После включения передачи находящийся под давлением гидроцилиндр переключается на слив. Муфта синхронизатора удерживается после этого за счет скосов на зубьях венца включенной шестерни и фиксатора, действующего на шток вилки.

В исходном нейтральном положении вилка удерживается фиксатором, установленном в картере КП. Каждая вилка оснащена постоянным магнитом, являющимся задающим элементом датчика перемещения, по сигналу которого система управления определяет точное положение вилок включения передач.

В автоматизированных мехатронных системах I-Sync (Volvo Truck Corp., Швеция) в качестве ИМ базовой КП используются два ортогонально расположенных гидравлических цилиндра, установленных на крышке КП (рис. 4) грузовых автомобилей Volvo серий FL и FE [3, 4]. Один из гидроцилиндров осуществляет выбор штока КП, а другой отвечает за перемещение выбранного ползуна и включение требуемой передачи.

В автоматизированной мехатронной системе управления силовым агрегатом Scania Opticruise (Швеция) ИМ также вынесен на крышку КП (рис. 5). Однако, в отличие от мехатронной системы I-Sync, рабочим телом для силовых цилиндров выбора и включения передачи является воздух [5, с. 19].

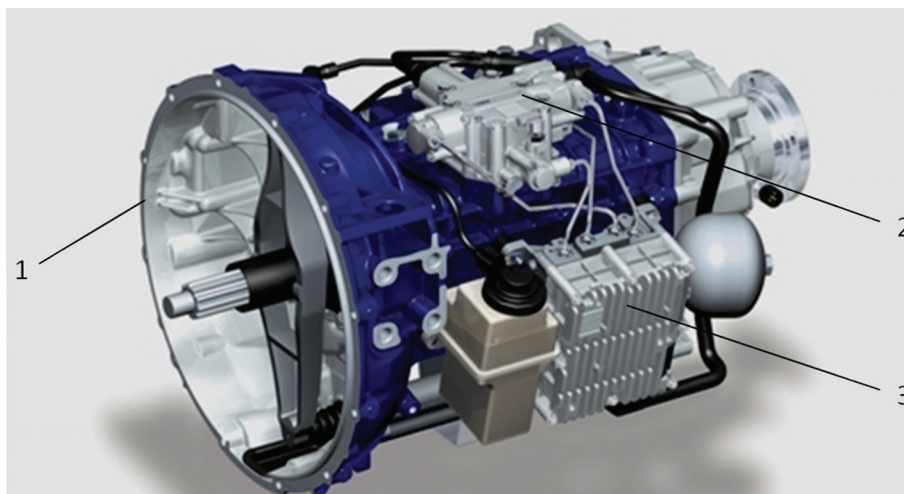


Рис. 4. Автоматизированная шестиступенчатая коробка передач Volvo: 1 — картер фрикционного сцепления, 2 — исполнительный механизм коробки передач, 3 — электрогидравлический блок управления

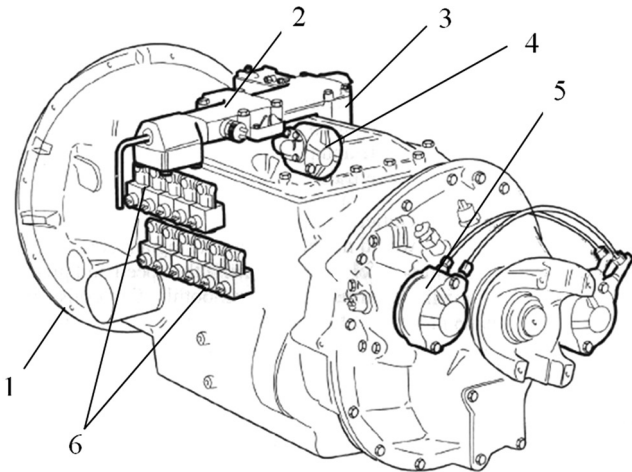


Рис. 5. Автоматизированная 14-ступенчатая коробка передач GRS900 Scania: 1 — картер фрикционного сцепления, 2 — исполнительный механизм коробки передач, 3 — пневмоцилиндр поперечного хода, 4 — пневмоцилиндр продольного хода, 5 — пневмоцилиндр демультипликатора, 6 — рампа с ЭМК управления коробкой передач и механизмом отбора мощности

Каждый пневмоцилиндр ИМ 2 (см. рис. 5) имеет ступенчатую конструкцию поршней, за счет чего создается разница в активных площадях и, следовательно, в создаваемых усилиях на штоках вилок переключения передач.

Наполнение/опорожнение рабочих полостей Е, Ж, З и К пневмоцилиндров (рис. 6) происходит при срабатывании определенной комбинации ЭМК 15, установленных по два на каждый пневматический цилиндр.

При возрастании давления в одной из полостей, например в Е или Ж, шток с вилок переключения перемещается в крайнее правое или левое положение, соответствующее включенной передаче. При одновременной подаче давления во все рабочие полости ИМ, рычаг 14 занимает среднее положение, соответствующее нейтральной передаче в КП.

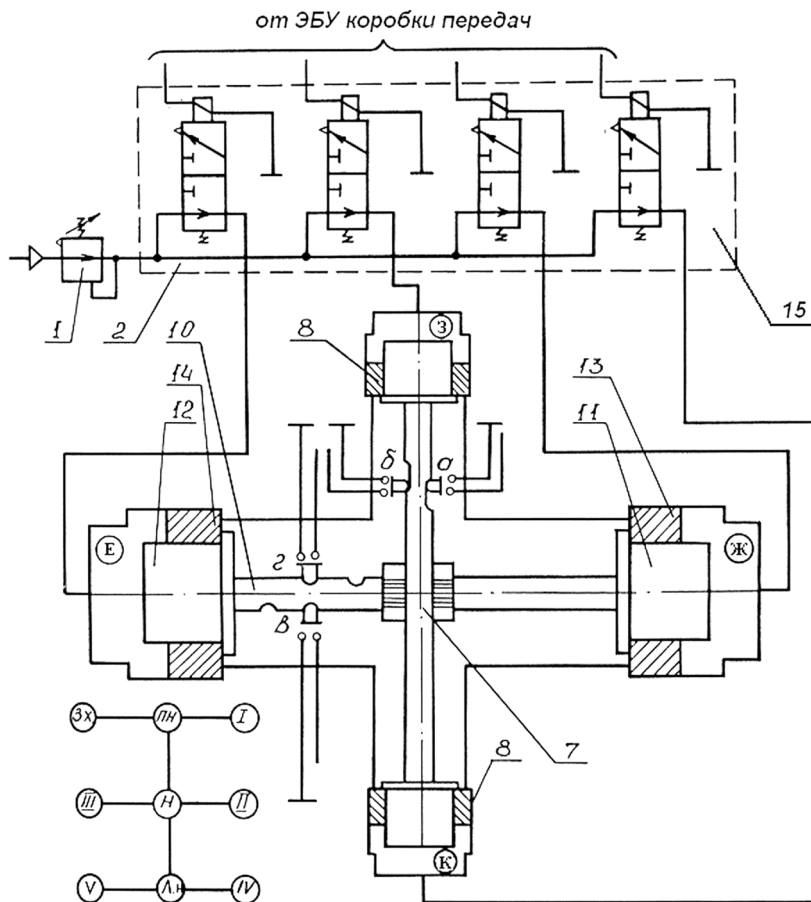


Рис. 6. Схема управления исполнительным механизмом выбора и включения передачи: 1 — клапан редукционный, 2 — рампа ЭМК, 7, 10 — штоки поршней 11 и 12; 8, 13, 14 — плавающие поршни; 15 — ЭМК коробки передач, а, б, в, г — концевые выключатели

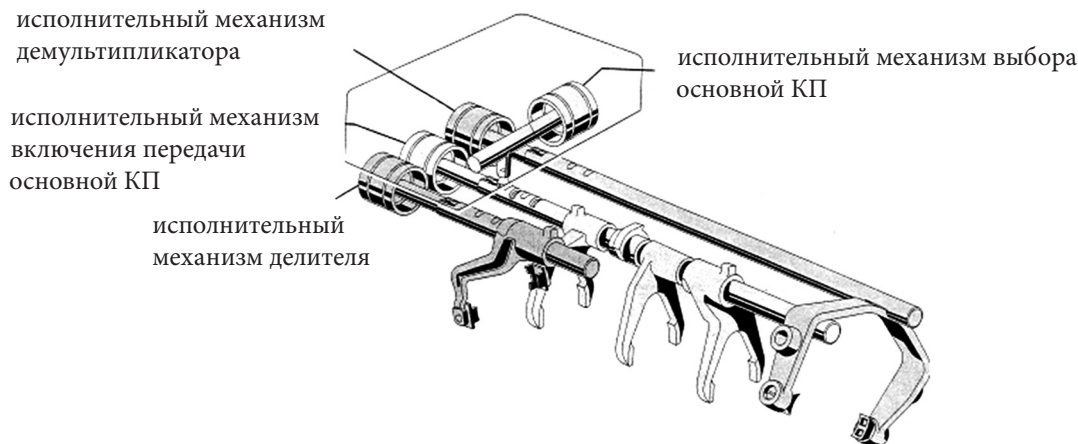


Рис. 7. Механизм управления коробкой передач ZF 16AS2601

В отличие от вышеописанного ИМ, который устанавливается непосредственно на крышку КП, поршневой ИМ (рис. 7) шестнадцатиступенчатой КП ZF16AS2601 концерна ZahnradFabrik Friedrichshafen AG (Германия) интегрирован в корпус коробки [6, с. 24]. Используемые пневматические цилиндры выбора и включения передачи — трехпозиционные, двухстороннего действия.

Вместо традиционных трех ползунов в основной КП, ИМ мехатронной системы ZF AS-Tronic II имеет только один шток с тремя свободно посаженными вилками переключения (см. рис. 7). При срабатывании пневмоцилиндра выбора силовой шток ИМ включения передачи проворачивается, и, ввиду особой конфигурации штока в зоне крепления вилок, происходит жесткое соедине-

ние одной из вилок со штоком с одновременным высвобождением остальных. Благодаря такой конструкции ИМ становится более компактным, хотя и требует выполнения сложных выступов и пазов на штоке и корпусе вилок. Кроме того, благодаря интеграции в корпус КП, ИМ защищен от влияния вредных внешних факторов, включая физические повреждения, что позволяет увеличить его долговечность.

Помимо поршневых ИМ для основной (базовой) КП может использоваться механизм диафрагменного типа. Механизм [7] автоматизированного переключения передач (рис. 8) содержит установленные с перекрещивающимися под прямым углом осями штоки выбора и включения передач, пневмополости с закрепленными на концах штоков диафрагмами 10.

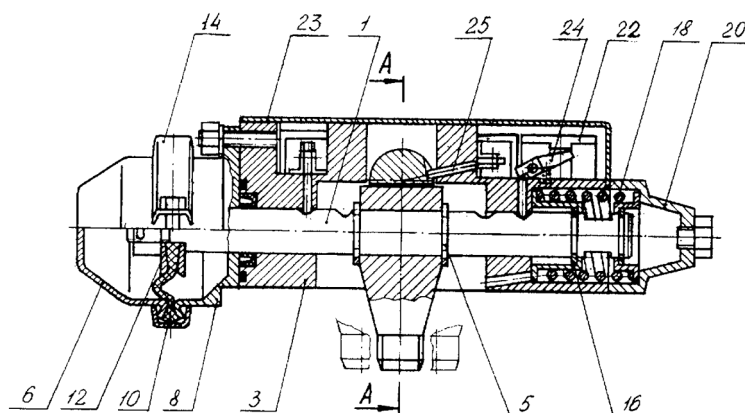


Рис. 8. Диафрагменный механизм переключения передач: 1 — шток; 3 — корпус; 5 — стопорное кольцо; 6, 8 — корпус пневмокамеры; 10 — диафрагма; 12 — тарелка; 14 — крепление; 16 — стакан; 18 — возвратная пружина; 20 — корпус позиционного устройства; 22, 24, 25 — датчики; 23 — крышка



Штоки в средней части соединены с симметрично расположенным относительно штоков рычагом, при этом рычаг на штоке выбора передач установлен с возможностью поворота на необходимый угол вдоль оси штока включения передач. Пружины 18 (см. рис. 8) обеспечивают самовозврат и фиксируют штоки в нейтральном положении. Расположенные в верхней части корпуса 3 бесконтактные датчики 25 щелевого типа выдают сигналы в ЭБУ о положении штоков в текущий момент времени.

При достаточно высокой точности позиционирования нейтрального положения штоков механизма переключения передач вышеописанная конструкция [7] обеспечивает повышение быстродействия по сравнению с поршневым ИМ приблизительно на 25 мс [8, с. 9], что объясняется довольно широкой зоной нечувствительности поршня с уплотнением. Однако при разрыве диафрагмы система управления КП становится полностью неработоспособной и поэтому диафрагменные поршневые механизмы не нашли широкого применения в автоматизированных КП.

Американская корпорация Eaton в качестве исполнительного механизма КП использует два электродвигателя постоянного тока [9], оси роторов которых расположены под углом  $90^\circ$  друг к другу (рис. 9). ИМ устанавливается непосредственно на крышку КП, причем один из электродвигателей осуществляет выбор, а другой — включение передачи.

Конструкция электрического ИМ [10] основной КП производства Eaton Fuller изображена на рис. 10.

При вращении ротора электродвигателя 7 вращение передается винту 3, что вызывает осевое перемещение сферической гайки 4. При этом происходит угловое перемещение основания вилки в противоположную сторону с поворотом направляющей 2, а следовательно, и пальца 1 на некоторый угол вдоль оси У-У. Таким образом, осуществляется выбор одного из трех штоков для последующего включения ползущей/задней передачи (позиция L/R), второй/первой (2/1) или четвертой/третьей (4/3) ступени в основной КП.

Включение передачи происходит после подачи импульса напряжения на электродвигатель 13, вследствие чего гайка 10, в зависимости от направления вращения ротора (определяется

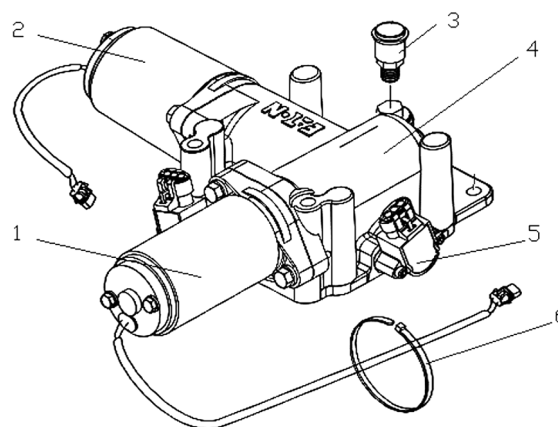


Рис. 9. Электрический исполнительный механизм переключения передач коробки передач Fuller FOM-16D313E-LEP:

1, 2 — приводные электродвигатели; 3 — элементы крепежа; 4 — механизм переключения; 5 — датчик перемещения; 6 — стопорное кольцо

полярностью напряжения), поступательно перемещается вместе с пальцем 1 и ползуном предварительно выбранной передачи вправо или влево вдоль оси Х-Х по направляющей 2.

Для фиксации ЭБУ момента позиционирования пальца 1 в одном из вышеописанных положений используется бесконтактный датчик перемещения индуктивного типа. Основными элементами датчика являются: катушка 8 (14), встроенная в корпус ИМ и расположенная соосно с ротором электродвигателя; ферромагнитный сердечник, представляющий собой правую часть металлического винта 3 (9), находящегося в катушке, и алюминиевая втулка 5 (11), перемещающаяся вдоль винта 3 (9) вместе со сферической гайкой 4 (10).

Для тяжело нагруженных трансмиссий автопоездов катушка позиционного датчика имеет следующие параметры [10, с. 3]:

- диаметр подвижного сердечника (втулки 5, 11) — 16 мм;
- внутренний диаметр (6 и 12) катушки — 22–25 мм;
- длина — 32 мм;
- число витков — около 3000 с общим сопротивлением 180 Ом.

Известно, что величина падения напряжения в обмотках при кратковременном обесточивании катушки прямо пропорциональна длине ферромагнитного сердечника, находящегося в текущий момент времени внутри катушки [11, с. 81]. Длина

сердечника определяется положением алюминиевой втулки 5 (11) в процессе ее осевого перемещения вдоль винта 3 (9). Напряжение питания катушки — 5 В. Период обесточивания составляет 2 мс [11, с. 4]. Текущая величина падения напряжения на обмотках после обесточивания катушки рассчитывается процессором по формуле [10, с. 4]:

$$U_{пад} = U_0 \cdot t \cdot \frac{R^2}{N^2},$$

где  $U_0$  — напряжение питания,  $R$  — магнитное сопротивление,  $N$  — число витков катушки и  $t$  — текущее время.

Таким образом, падение напряжения на обмотках катушки 8 (14) (см. рис. 10) при нахождении пальца 1 в позиции L/R будет минимальным, что отображено на рис. 11 точкой 4 (линия 3) и максимальным для положения 4/3 (точка 6, линия 1).

ЭБУ может определять завершение процесса выбора штока или включения требуемой пе-

редачи, измеряя величину текущего значения напряжения на катушке с последующим сопоставлением с сохраненными в памяти базовыми величинами (точки 4, 5, 6 на рис. 11), либо расчетом мгновенной интенсивности падения напряжения на обмотках катушки.

Преимущества электрического ИМ переключения передач по сравнению с пневматическими аналогами поршневого типа (ZF, МЗКТ, Mercedes, Volvo, КамАЗ, Scania):

- точность управления и быстродействие, обусловленные отсутствием зоны нечувствительности;
- безударное включение передачи ввиду равномерной скорости перемещения штока;
- отсутствие необходимости в синтезе геометрических параметров пневмоцилиндров [12, с. 11], подборе сечения дросселя на входе/выходе [13, с. 10, табл. 1], выборе закона нарастания давления, установке дополнительных элементов, например, гидравлических демпферов [12, с. 14, рис. 3].

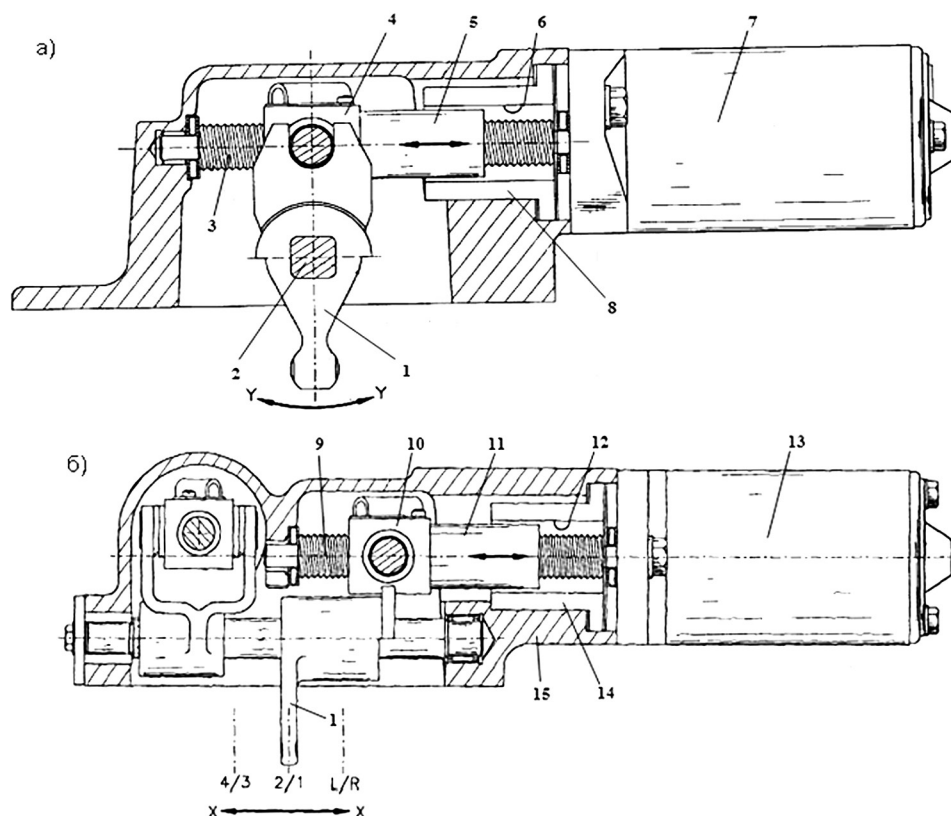


Рис. 10. Электрический ИМ КП Eaton Fuller: а) выбора штока КП; б) включения передачи: 1 — палец; 2 — направляющая пальца; 3, 9 — винт; 4, 10 — сферическая гайка; 5, 11 — втулка; 7, 13 — электродвигатели выбора и включения передачи; 8, 14 — электрические катушки

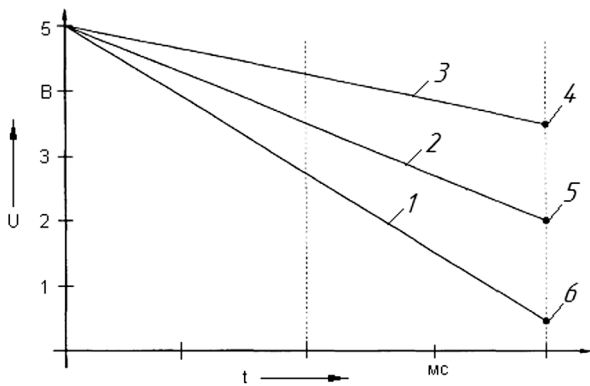


Рис. 11. Зависимость выходного сигнала датчика от времени обесточивания катушки

К недостаткам электрических ИМ следует отнести:

- меньшую надежность ввиду большего числа прецизионных вращающихся элементов (ротор, зубчатые колеса, подшипниковые узлы);
- на порядок большую стоимость по сравнению с пневмоцилиндрами;
- возможный перегрев электромотора при выключении передачи с повреждением соответствующей цепи управления контроллера из-за так называемого эффекта «моментного замка» (зубья находятся в зацеплении и осуществляется передача крутящего момента);
- значительное энергопотребление.

Для нейтрализации двух последних недостатков специалисты корпорации Eaton разработали специальный метод управления приводным электродвигателем при выключении передачи с последующей установкой нейтрального положения [14]. Блок-схема работы данного алгоритма изображена на рис. 12.

Суть метода заключается в разбиении процесса выключения передачи на два этапа. На первом этапе ЭБУ 4 трансмиссии (рис. 13) подает на обмотки электродвигателя ИМ 5 низкоэффективный сигнал широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Под действием небольшого по величине тока происходит вращение якоря, сопровождающееся поступательным перемещением пальца 2 (рис. 14) вдоль оси У-У.

После выбора свободного хода палец упирается в стенку паза головки 8, 10 или 12 (см. рис. 14), пытаясь переместить в том же направлении штоки 9, 11 или 13 с вилками 5, 6 или 7. Однако ввиду того, что передача нагружена

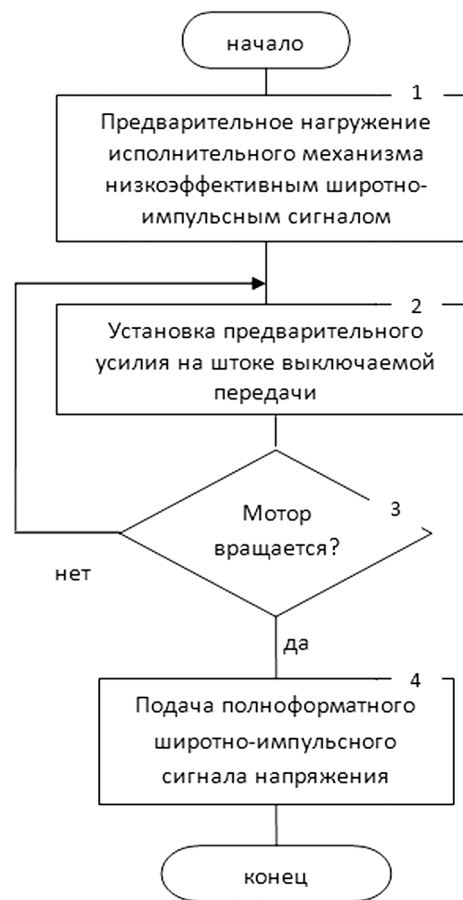


Рис. 12. Блок-схема работы алгоритма управления электрическим исполнительным механизмом автоматизированной коробки передач Eaton

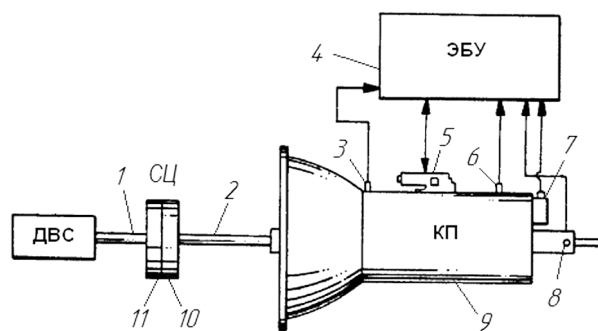


Рис. 13. Принципиальная схема автоматизированной трансмиссии Eaton: 1 — коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания; 2 — входной вал коробки передач; 3, 6, 8 — датчики частоты вращения; 4 — ЭБУ трансмиссией; 5 — электрический исполнительный механизм коробки передач; 7 — датчик перемещения; 9 — многоступенчатая механическая коробка передач; 10, 11 — соответственно ведомая и ведущая и часть фрикционного сцепления



крутящим моментом, дальнейшее перемещение пальца со штоком не происходит, равно как и не происходит чрезмерные износ зубчатых колес в случае перемещения штока при подаче мощного полноценного ШИМ-сигнала, перегрев обмоток электродвигателя и повышенного энергопотребления со стороны исполнительного механизма.

Шток выключаемой передачи находится под воздействием так называемого предварительного нагружения. На палец 2 действует постоянное усилие со стороны электромотора, равное приблизительно 222,5 Н [14, с. 10]. Ротор электродвигателя при этом не вращается из-за эффекта «моментного замка», а постоянство прилагаемого на палец усилия обеспечивается контролером с использованием обратной связи по потребляемому электродвигателем току.

Второй этап начинается при разгрузке валов от передаваемого крутящего момента. Усилия на штоке становится достаточно для вывода из зацепления включенной передачи. Шток начинает перемещаться в направлении нейтрального положения, а вал приводного электродвигателя — вращаться. Этот момент является ключевым в предложенном алгоритме, поскольку сразу же после обнаружения вращения якоря на электродвигатель подается полноформатная ширина импульса напряжения (100 % ШИМ-сигнал). Ток в обмотках, как следствие, увеличивается, что и обеспечивает максимальные ускорение и угловую скорость вращения ротора. Передача выключается за минимальный временной интервал.

Мониторинг за состоянием ротора (вращается/не вращается, см. рис. 12, блок 3) в момент разгрузки валопроводов осуществляет ЭБУ с использованием в цепи управления обратной связи. В качестве параметра обратной связи может быть использован как аналоговый сигнал потенциометра, так и величина ширины импульса напряжения на обмотке электромотора. И в том, и в другом случае в алгоритме используется методика «наклонного усреднения» [14, с. 10].

В качестве ИМ дополнительной КП (делителя и демультипликатора) в системах AutoShift и UltraShift Transmission [10, 15, 16] используется силовой гидравлический цилиндр (рис. 15) двухстороннего действия [10, с. 7]. Шток 11 с вилкой 20 может занимать три устойчивых положения L-N-H, соответствующие включению повышающей H или понижающей L ступени делителя (диапазонного редуктора), либо установке нейтрального положения N. Блок 19 ЭМК отвечает за наполнение/опорожнение полостей 15, 17 силового цилиндра 18.

Микропроцессорный блок 13, обрабатывая входные сигналы 14, формирует управляющее воздействие 12 на ЭМК блока 19, генерируя на соответствующем выходном порту ШИМ-сигнал.

К недостаткам предложенной стратегии управления клапанами на основе ШИМ-сигнала следует отнести сложность управляющего алгоритма, требующего введения обратной связи по перемещению, использование нормирующих преобразований входной величины в блок ини-

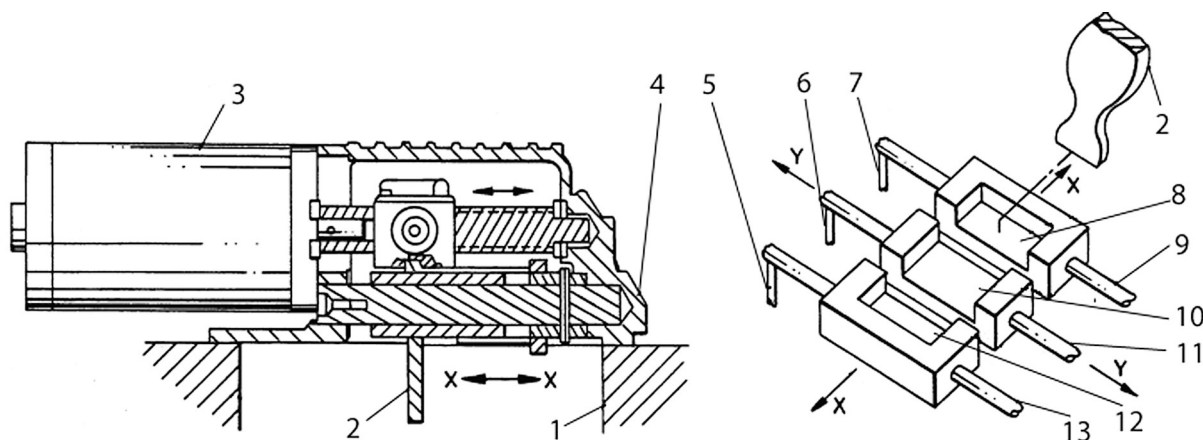


Рис. 14. Продольный разрез электродвигателя и вид в плане на ползуны коробки передач: 1 — корпус коробки передач; 4 — корпус исполнительного механизма коробки передач; 3 — приводной электродвигатель выбора штока

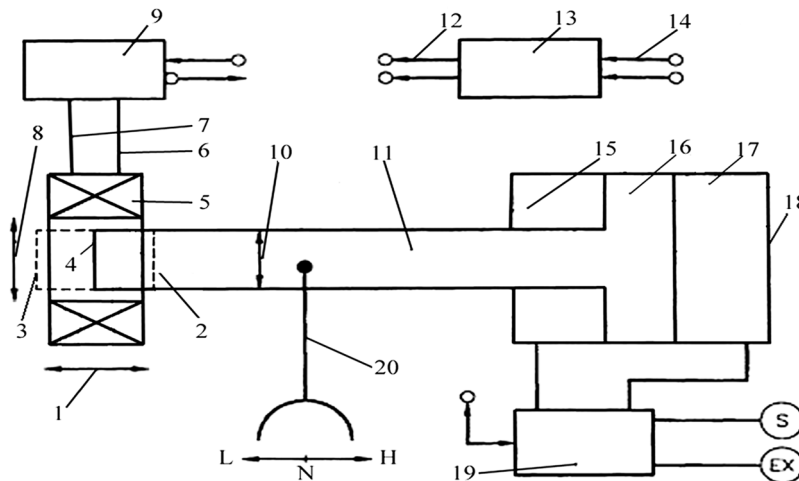


Рис. 15. Исполнительный механизм дополнительной коробки передач: 1, 8 — ширина и внутренний диаметр катушки 5; 2, 3, 4 — положения концевой части штока 11 соответственно в позициях Н-Н-Л; 6, 7 — концы обмоток катушки 5; 9 — измерительное устройство с регулятором напряжения; 10 — диаметр штока 11; 12, 14 — соответственно выходные и входные сигналы микропроцессорного блока 13; 15, 17 — рабочие полости гидроцилиндра 18; 16 — поршень; 19 — блок ЭМК; 20 — вилка включения передачи; S, EX — нагнетательная и сливная магистрали

циализации ШИМ и использование дополнительных функциональных блоков в структуре программы. Хотя для установки штока 11 с вилкой 20 в позиции L или H достаточно использовать простой сигнал TRUE/FALSE с индикацией конечного положения с помощью, например, концевых выключателей. Однако для обеспечения нейтрального положения штока 11 ШИМ-управление имеет явные преимущества, ввиду возможности пошаговой отработки управляющего алгоритма внутри цикла программы на основе обратной связи по мгновенным значениям положения штока 11 с вилкой 20.

Так же как и в основной КП, информацию о положении штока 11 гидроцилиндра 18 (см. рис. 15) дает бесконтактный индуктивный датчик, основными элементами которого являются электрическая катушка 5 с обмотками и крайняя левая часть цилиндрического штока 11, играющая роль ферромагнитного сердечника. Принцип работы и основные технические характеристики индуктивного датчика подробно описаны в работе [10].

Редуктор напряжения и управляющее устройство 9 (см. рис. 15) необходимы для питания катушки, измерения падения напряжения на обмотках при обесточивании, формирования выходных и получения входных сигналов на (от) микропроцессорного блока 13.

С учетом проведенного анализа становится очевидным, что ведущие автомобилестроительные концерны и специализированные фирмы, уделяя огромное внимание вопросам автоматизации механических трансмиссий, отладили серийное производство высокоэффективных мехатронных систем управления силовым агрегатом на базе сухого фрикционного сцепления и механической коробки передач. Для отечественного автомобилестроения создание надежной, многофункциональной автоматизированной мехатронной системы подобного класса остается нерешенной проблемой. Белорусские предприятия — производители грузовых автомобилей (ОАО «МАЗ», г. Минск), колесных тягачей (РУП «МЗКТ», г. Минск) и автобусов (ОАО «АМАЗ» г. Минск, УП «Неман», г. Лида) вынуждены закупать автоматизированные механические и гидромеханические силовые агрегаты за рубежом при цене последних в 30 000 евро и стоимости услуг по настройке системы под конкретную модель автомобиля и конкретные условия эксплуатации в 75 000 евро независимо от объема поставляемой партии. Причем интеллектуальная составляющая импортруемых мехатронных систем — алгоритмы, стратегия управления исполнительными механизмами фрикционного сцепления и КП, генерируемая частота широтно-модулированного сигнала, тип

и параметры обратной связи в цепи управления — представлена “черным ящиком”, в открытой печати не описана и составляет основное ноу-хау фирмы-разработчика.

Прямое копирование фрагментов известных технических решений из области мехатроники при проектировании автоматизированных систем, наряду с использованием современных электронных компонентов, не может привести к желаемому результату. Создание АТС с автоматизированным силовым агрегатом возможно только при наличии научной методологии проектирования мехатронных систем, требующей широчайшего спектра углубленных исследований, начиная от анализа программно-аппаратных платформ существующих зарубежных аналогов, разработки технических требований к проектируемой мехатронной системе, методики расчета и согласования характеристик исполнительской части системы управления и заканчивая разработкой алгоритмов управления и программного обеспечения контроллеров.

Белорусской научной школе посилено решение обрисованной проблемы, тем более что для этого имеется хороший задел в науке и производстве. В частности, в номенклатуре серийно выпускаемых изделий Минского завода колесных тягачей имеется поршневой исполнительный механизм МЗКТ 79081-1702010, устанавливаемый без конструктивной доработки вместо крышки на девятиступенчатую коробку передач МА3-543205 (Республика Беларусь) или ЯМЗ-239 (Россия). По всем характеристикам данный исполнительный механизм КП не уступает вышеописанным в статье аналогам зарубежного производства немецкой фирмы ZahnradFabrik Friedrichshafen AG (см. рис. 7) и шведских концернов Volvo-Scania (см. рис. 4, поз. 2, 5, поз. 2). С учетом имеющегося на МАЗе апробированного при стендовых и дорожных испытаниях опытного образца автоматизированной системы переключения передач [17], опыта проектирования мехатронных систем [18] на кафедре «Автомобили» БНТУ и предложенной концепции электронного управления топливоподачей дизельного двигателя [19] существует возможность для дальнейшего совершенствования опытно-промышленного образца с последующим внедрением инновационного решения в серийное производство, что

позволит в долгосрочной перспективе участвовать в Государственной программе по импортозамещению, а также будет способствовать повышению технического уровня продукции автомобилестроительного комплекса Республики Беларусь.

#### *Заключение.*

Проведенный анализ конструкций исполнительных механизмов автоматизированных механических коробок передач позволил определить следующие основные тенденции.

1. Автоматизация управления силовым агрегатом на базе сухого фрикционного сцепления и механической КП является одним из перспективных направлений в мировом автомобилестроении, поскольку мехатронные системы позволяют улучшить тягово-скоростные свойства и топливную экономичность автотранспортных средств, снизить психофизическую нагрузку водителя, повысить безопасность движения и увеличить долговечность силового агрегата.

2. Современные автоматизированные мехатронные системы управления силовым агрегатом, созданные на базе механических ступенчатых КП и сухих фрикционных сцеплений, имеют, как правило, пневматический привод ИМ, что объясняется наличием на борту автомобиля компрессора, невысоким давлением в системе управления, а также возможностью использования штатных пневмоаппаратов различных систем автомобиля.

3. Исполнительные механизмы переключения передач конструктивно выполняются диафрагменными, поршневыми, пружинно-поршневыми, электрическими или комбинированными (в том числе с электромагнитным исполнением), однако, наибольшее распространение получили ИМ поршневого типа, ввиду их высокой надежности, технологичности и низкой себестоимости изготовления.

4. С точки зрения передачи усилия на вилки переключения развитие конструкций исполнительных механизмов идет по двум основным направлениям:

– пневмо- или гидроцилиндры непосредственного воздействия, устанавливаемые по одному на каждом штоке КП и управляемые с помощью двухпозиционных электромагнитных клапанов или золотникового распределительного устройства;

– тандемные исполнительные механизмы электрического или поршневого типов с передаточными звеньями, осуществляющие выбор ползуна и включение передачи аналогично действиям водителя при ручном управлении посредством двух ортогонально расположенных пневмо/гидроцилиндров или электродвигателей постоянного тока.

5. По расположению современные исполнительные механизмы выполняются как *встроенными*, непосредственно соединенными со штоками или вилками переключения и интегрированными в корпус КП, так и *вынесенными*, устанавливаемыми отдельно на крышке КП и передающими усилие на штоки через дополнительные устройства.

### Литература:

1. Механизм переключения передач транспортного средства: пат. 2268169 Россия, МПК В60К20/02 / В. П. Папулов. — Заявл. 24.03.04; Опубл. 20.01.06. — 6 с.
2. Системы современного автомобиля: роботизированная коробка передач DSG [Electronic resource] / А. Суслинников, 2009–2014. — Режим доступа: <http://systemsauto.ru/box/dsg.html>. — Дата доступа: 15.02.2014.
3. Volvo to introduce new automated transmission for FL distribution truck [Electronic resource] / Progressive Media Group. Copyright© 2008. — Mode of access: [http://www.Automotive Business Review\\_ News.htm](http://www.Automotive Business Review_ News.htm). — Date of access: 9.03.2012.
4. Weatherley, B. Volvo FE gets I-Sync automatic transmission. [Electronic resource] / Brian Weatherley, Will Shiers November, 2009. — Mode of access: <http://www.BigLorryBlog.htm>. — Date of access: 9.03.2012.
5. 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.
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. Механизм автоматизированного переключения передач в механической ступенчатой коробке передач: пат. 2192973 С2 Российская 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.
8. Антиблокировочные и противобуксовочные системы / Конструкции автомобилей: зарубежный опыт // ЦНИИТЭИавтопром, М., 1991 — 79 с.
9. 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.
10. Transmission shifting mechanism and position sensor: pat. 5743143 USA, int. Cl.6 F16H 59/04 / J. F. Carpenter, M. L. Lanting, M. J. Huggins, D. L. Wadas; assignee Eaton Corp. — № 695052; filed 9.08.96; date of patent 28.04.98. — 11 p.
11. Фрайден, Дж. Современные датчики: справочник / Дж. Фрайден, пер. Заболотная Ю. А., ред. перевод Свинцов Е. Л. — М.: Техносфера, 2005. — 588 с.
12. Захарик, А. М. Синтез исполнительных механизмов систем автоматизированного управления составной коробкой передач большегрузного автомобиля: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / А. М. Захарик. — Минск, 1992. — 16 с.
13. Куцеволов, В. А. Обоснование параметров исполнительных механизмов коробок передач автоматизированных ступенчатых механических трансмиссий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / В. А. Куцеволов. — Минск, 1988. — 20 с.
14. 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.
15. Fuller® Automated Transmissions: AutoShift™ 18-Speed / Eaton tech. information: condensed specifications TRSL-0285 806 2M/WP. — Eaton Corp., USA, 2006. — 2 p.
16. Fuller® Automated Transmissions: AutoShift 10-Speed / Eaton tech. information: condensed specifications TRSL-0281 108 2M/WP. — Eaton Corp., USA, 2008. — 2 p.
17. Провести исследования и создать автоматизированную систему переключения передач автопоезда общей грузоподъемностью 21–22 т, изготовить образец, провести стендовые и дорожные испытания системы, откорректировать конструкторскую документацию: отчет о НИР (заключ.) / Бел. нац. техн. университет; рук. О. С. Руктешель. — Минск, 2006. — 133 с. — № ГР 2002445.
18. Кусяк, В. А. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов: монография // В. А. Кусяк, О. С. Руктешель // Минск: БНТУ, 2015. — 296 с.
19. Баханович, А. Г. Реализация концепции электронного управления при автоматизации дизельного двигателя с механической топливоподачей / А. Г. Баханович, О. С. Руктешель, В. А. Кусяк, А. Н. Гурин // Новости науки и технологий. — 2015. — № 1(32). — С. 11–18.