

*В. В. Шаповалов, О. И. Коваленко, И. А. Колодяжный, К. А. Кручинин, А. Л. Озябкин*

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

**Аннотация.** Рассмотрена перспективная силовая автоматическая трансмиссия, разработанная учёными РГУПС. В конструкции этой автоматической коробки перемены передач (АКПП) используется оригинальная, не имеющая аналогов муфта-шестерня, используемая в качестве фрикционного усилительного звена. Благодаря применению муфты-шестерни удалось увеличить КПД АКПП, ввиду того что практически отсутствуют разрывы потока передаваемой мощности, благодаря этому скорость включения передач увеличилась. Также был разработан алгоритм управления трансмиссией. Его принцип действия основан на движении электромагнита, перемещающегося параллельно герконам, которые являются активаторами для замыкания ключей. Электромагнит жестко закреплен на соленоиде,двигающемся вверх и вниз в соответствии с ростом или уменьшением напряжения, изменяющегося в большую или меньшую сторону за счет скорости вращения выходного вала двигателя. Конструкция схемы управления трансмиссией проста в исполнении и обладает высокой надежностью.

**Ключевые слова:** трансмиссия, муфта-шестерня, система управления, алгоритм, контакт, геркон, электромагнит, надежность.

**Для цитирования:** Разработка алгоритма управления автоматической силовой трансмиссией / В. В. Шаповалов, О. И. Коваленко, И. А. Колодяжный [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения – 2023. – № 2. – С. 180–188. – DOI 10.46973/0201–727X\_2023\_2\_180.

### *Введение*

С появлением механических коробок перемены передач в автомобилях инженеры и конструкторы задумались над упрощением процесса управления транспортными средствами путем создания автоматических версий силовых трансмиссий. Созданию конструкции автоматической трансмиссии предшествовало огромное количество конструкторских разработок и экспериментов в области силовых трансмиссий. Но только в 1948 году на автомобиле Buick появилась первая в мире серийная двухступенчатая автоматическая трансмиссия Dynaflo [1], в которой стал использоваться гидротрансформатор вместо применяемой ранее гидромуфты, ухудшающей разгонную динамику.

На протяжении следующих десятилетий количество различных трансмиссий увеличивалось ввиду того, что перед инженерами и конструкторами стояла задача по созданию наиболее эффективного и экономичного типа трансмиссии, появились: КПП с вариатором, электрогидравлические коробки передач, роботизированные коробки перемены передач, а также гибридные силовые трансмиссии [2–6].

### *Основная часть*

Сегодня автоматические трансмиссии получили распространение не только на автомобильном транспорте, но и на железнодорожном, а также на строительной, землеройно-транспортной и военной технике. В связи с уходом с российского рынка зарубежных поставщиков автоматических силовых трансмиссий, стал особенно актуальным вопрос замещения импортных трансмиссий на отечественные. На базе фундаментальных теоретических основ динамической анизотропии фрикционных связей [7–10] учёными РГУПС был создан эскизный вариант перспективной трансмиссии (рис 1, а) с фрикционной муфтой-шестерней, не имеющей аналогов (рис. 1, б). Она имеет электронно-электромагнитное управление, которое за счёт сокращения времени разрыва потока передаваемой мощности –  $t_w$  ( $t_w \rightarrow 0$ ) в процессе переключения передач последовательно и параллельно соединенных элементов позволяет значительно увеличить КПД. Муфта-шестерня обеспечивает высокую надежность из-за отсутствия сложных технических систем в своем составе, а по своим технико-экономическим характеристикам не имеет конкурентных аналогов. Трансмиссия легко может быть адаптирована для путевых машин, например, для погрузочно-транспортного мотовоза МПТ-6К.

Поскольку разработанная перспективная трансмиссия (рис 1, а) не предусматривает в своей конструкции дополнительные планетарные ряды с дополнительными зубчатыми зацеплениями, а имеет только одно зацепление, как и обыкновенная механическая КПП, то вероятность выхода из строя

у неё значительно снижена. Например, 8-ступенчатая трансмиссия ZF [3] имеет 4 ряда планетарных передач, каждый из которых состоит из одной солнечной шестерни, одного водила, трех сателлитов и одной коронной шестерни, такая техническая система является сложной, поэтому согласно формуле по вычислению вероятности на отказ получаем:

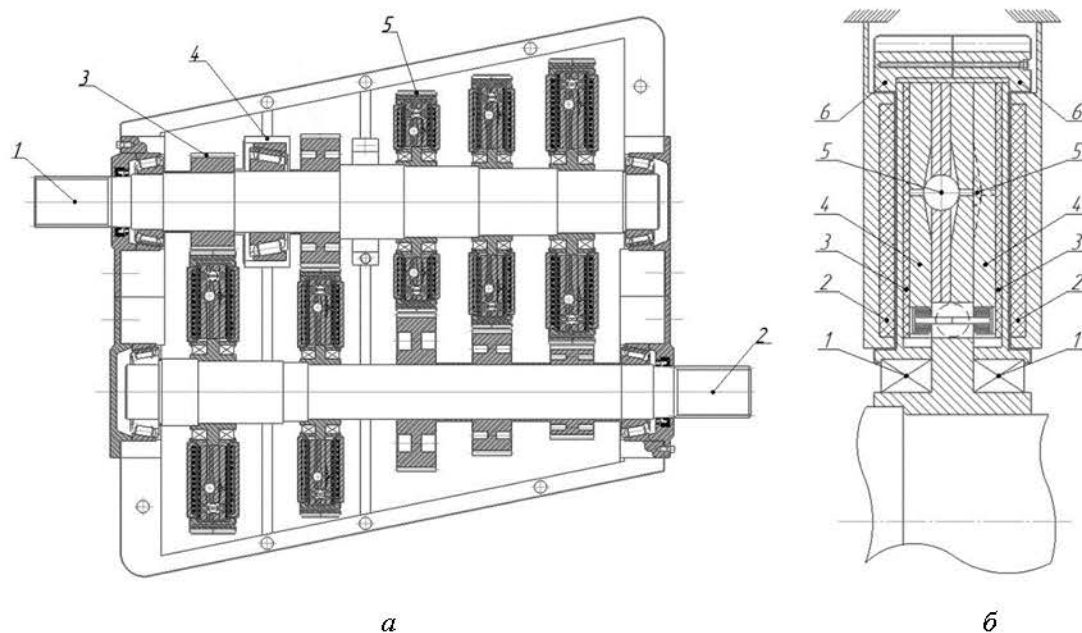
$$P(t) = \frac{N_0 - n_t}{N_0}, \quad (1)$$

где  $N_0$  – исходное число работоспособных объектов,  
 $n_t$  – число отказавших объектов за время  $t$ .

$P(t) = \frac{6-1}{6} = \frac{5}{6} = 0,833$  – вероятность отказа планетарного ряда трансмиссии ZF [3] при отказе первого элемента из шести в одном из планетарных рядов.

Зубчатая передача обладает высоким ресурсом при наличии масляного клина при контактировании зубьев. Она работает в режиме граничного, а затем переходит в жидкостное трение, при больших скоростях полностью разрывает контакт между зубьями, и зубья опираются на масляный клин. В нашей перспективной трансмиссии используется одно зубчатое зацепление с одной шестерней и одной муфтой-шестерней, то есть применяется 2 элемента, значит вероятность отказа зубчатого зацепления:

$$P(t) = \frac{2-1}{2} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ – вероятность отказа одной из двух шестерён.}$$



**Рис. 1. Эскизный вариант перспективной силовой трансмиссии и ее основного компонента – фрикционной муфты-шестерни:**

*a* – общий вид разработанной пятиступенчатой роботизированной автоматической силовой трансмиссии: 1 – входной вал; 2 – выходной вал; 3 – ведущая шестерня;

4 – подшипник; 5 – муфта-шестерня;

*б* – конструкция основного элемента трансмиссии – муфты-шестерни: 1 – подшипник;

2 – магнит; 3 – металлокерамический диск; 4 – диск включения; 5 – тело вращения;

6 – полукорпус

Таким образом, вероятность выхода из строя одного планетарного ряда, состоящего из шести элементов, у восьмиступенчатой трансмиссии ZF [3] выше по сравнению с зубчатой передачей, состоящей из двух элементов, у трансмиссии, предлагаемой учеными РГУПС, согласно расчету вероятности, на отказ по формуле (1).

При интеграции в корпус шестерни зеркальной обгонной муфты реализуется комбинированное усижительное звено. Для создания высокого значения коэффициента усиления  $K_{ус} \rightarrow \infty$  в усилитель-

ном элементе АКПП необходимо обеспечить высокую стабильность коэффициента трения между металлокерамическим диском и диском включения. Реализация же апериодического звена фрикционной пары обеспечивает монотонно нарастающий переходной процесс и динамическую ошибку регулирования, стремящуюся к нулю.

Встроенное фрикционное усилительное звено при высокой стабильности коэффициента трения  $f$  (т.е.  $\Delta f \rightarrow 0$ ) имеет коэффициент усиления  $K_{ус} \rightarrow \infty$  и обладает высокой компактностью, что позволяет вписать его в корпуса шестерён АКПП.

Муфта-шестерня имеет несколько режимов работы:

- 1 Переходной режим (в этом случае ни резонансное, ни антирезонансное напряжение на муфту не передается);
- 2 Режим включения (подача на электромагнит антирезонансного динамического воздействия);
- 3 Режим выключения (подача на электромагнит резонансного динамического воздействия).

Разработанная учеными РГУПС пятиступенчатая АКПП имеет следующий оригинальный алгоритм управления: ее включение осуществляется путем нажатия на кнопку «пуск (П) (ручной пуск)». На выходном валу АКПП располагается ротор тахогенератора (ТГ), на клеммах которого вырабатывается напряжение, пропорциональное скорости вращения выходного вала (В-2). При нажатии кнопки «пуск» напряжение с клемм тахогенератора подается на первый электромагнит IЭМ (рис. 2, 3), в результате этого происходит закрытие контакта IЭМ-6, подающего напряжение на обмотку ЭМ-I, включающее муфту сцепления 1-й передачи, и начинается движение мобильной технической системы на первой передаче. При этом происходит блокирование всех остальных передач (второй, третьей, четвертой, пятой) за счет открытия контактов IЭМ-2, IЭМ-3, IЭМ-4, IЭМ-5.

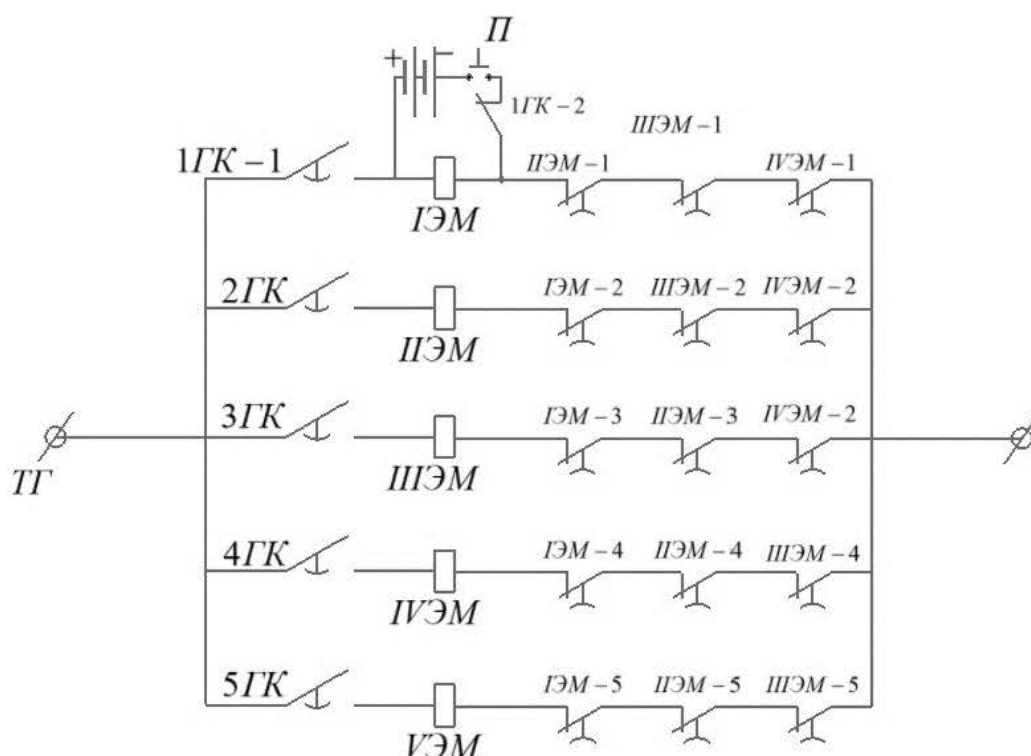


Рис. 2. Электросхема включения контактов, управляющих коробкой передач

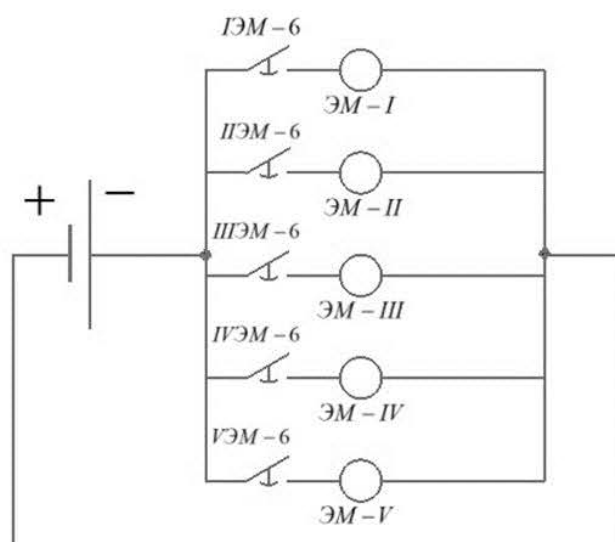


Рис. 3. Электросхема обмотки

В момент включения первой передачи на клеммах генератора, находящегося на втором валу (В-2), где расположен ротор ТГ, вырабатывается напряжение  $U_{ТГ}$  необходимой величины. После включения и самовозврата в исходное (открытое) положение кнопки П, питание на обмотку IЭМ подается с клемм ТГ за счет включения замыкающего контакта с задержкой времени на открытие 1ГК (контакт геркона 1ГК).

По мере роста скорости и нахождения магнита в стабильном состоянии, соответствующем устойчивому взаимодействию магнита и геркона 1Г, происходит включение контакта 1ГК. Геркон 1Г специальный, имеющий два контакта: один контакт замыкающий – 1ГК-1, а второй – размыкающий – 1ГК-2, замыкающий контакт геркона 1ГК подает напряжение на обмотку IЭМ, размыкающий контакт установлен в цепи питания ручного пуска обмотки IЭМ, с задержкой по времени происходит разрыв размыкающего контакта 1ГК-2, и обмотка IЭМ питается за счет включенного контакта геркона 1ГК-1. Контакт геркона 1ГК-1 имеет задержку по времени на отключение, с увеличением роста скорости мобильной технической системы возрастает напряжение на клеммах тахогенератора, сердечник соленоида (СС) 1 (рис. 4) перемещается вверх, сжимая при этом пружину 2, происходит перемещение магнита 3 и выход на позицию постоянного взаимодействия с герконом 2Г.

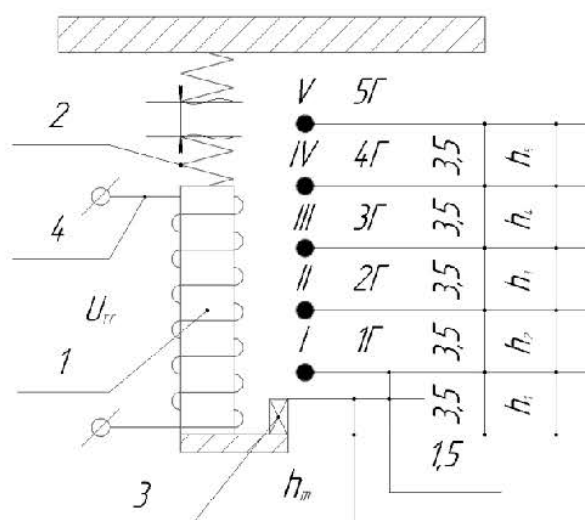


Рис. 4. Схема движения регулирующего постоянного магнита:

1 – сердечник соленоида; 2 – пружина; 3 – регулирующий постоянный магнит; 4 – обмотка электромагнитного соленоида; 1Г, 2Г, 3Г, 4Г, 5Г – герконы

В результате этого происходит устойчивое закрытие контакта 2ГК, подача напряжения на обмотку ПЭМ, включение контакта ПЭМ-6, который находится в цепи питания электромагнита ЭМ-II. На сердечнике соленоида закреплен регулирующий постоянный магнит 3, который при перемещении сердечника позиционируется в районе расположения геркона 1 до наступления момента включения второй передачи, (до набора скорости, превышающей скорость движения на первой передаче). При прохождении позиции первого геркона (рис. 4 и 5) и движении постоянного магнита в позиции взаимодействия с герконом 2Г осуществляется движение мобильной системы на второй передаче путем предварительного открытия контакта геркона 1ГК-1 с задержкой по времени, отсоединения питания обмотки IЭМ и соответственно закрытие контакта IЭМ-2. Электромагнит ЭМ-II под напряжением, включена 2-я передача. Включение обмотки ПЭМ приводит к разрыву цепи питания IЭМ за счет разрыва контакта ПЭМ-1, а отключение обмотки IIIЭМ – за счет открытия контакта ПЭМ-3, отключение цепи питания IVЭМ – за счет открытия контакта ПЭМ-4 и отключения обмотки VЭМ за счет открытия контакта ПЭМ-5. Таким образом, включая 2-ю передачу, мы исключаем возможность включения остальных передач: 1, 3, 4 и 5-й, так как происходит отключение контактов ПЭМ-1, ПЭМ-3, ПЭМ-4, ПЭМ-5 цепи питания обмоток IЭМ, IIIЭМ, IVЭМ и VЭМ, что исключает параллельное включение передач 1, 3, 4 и 5-й параллельно второй передаче.

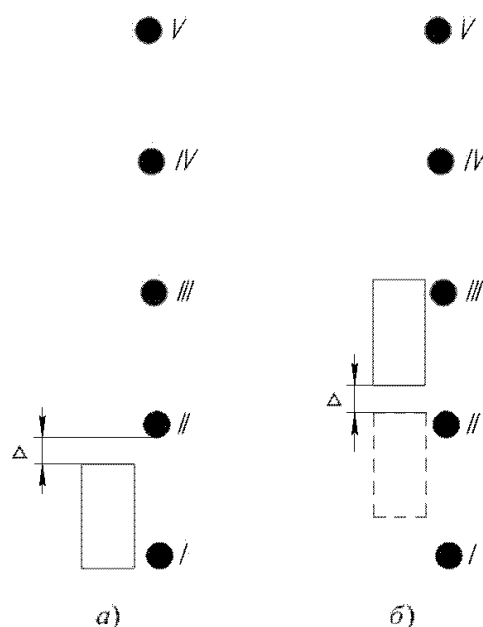


Рис. 5. Схема движения электромагнита между герконами

Расположение контактов-герконов исключает включение сразу двух муфт-шестерен (М-III):

$$h_m < h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = h_5 . \quad (2)$$

Контакты 1ГК-1, 2ГК, 3ГК, 4ГК, 5ГК имеют задержку по времени на их отключение, а контакты IЭМ-6, IVЭМ-6, VЭМ-6 также имеют задержку по времени на отключение. Наличие данных контактов с задержкой на отключение, а также расположение герконов 2 относительно регулирующего магнита 3 исключают «ложное» срабатывание или частое переключение муфт-шестерен при переходе граничных положений регулирующего постоянного магнита (РПМ).

Регулярная замена трансмиссионного масла является залогом долговечной работы коробки перемены передач, то есть свежее масло не будет иметь продуктов износа в процессе перехода от жидкостного трения к граничному за счет локальных включений, при попадании которых происходит изнашивание зубьев шестерен, что положительно скажется на надежности автоматической коробки перемены передач.

Также, модернизируя в дальнейшем силовую трансмиссию, планируется внедрение искусственного интеллекта в работу данного механизма. Прототипом такой системы могла бы послужить система переключения передач Information and Communication Technology (ICT) Connected Shift System совместной разработки компаний Hyundai Motor Company и Kia Motors Corporation [11]. Она позволяет автомобилю переходить трансмиссии на оптимальную передачу, основываясь на информационных

данных о дорожной обстановке и плотности транспортного потока впереди. Система ICT Connected Shift System использует специальное интеллектуальное программное обеспечение блока управления трансмиссией TCU (Transmission Control Unit), которое собирает и обрабатывает в режиме реального времени информацию от обеспечивающих систем, в частности – камер и радара интеллектуального круиз-контроля, а также навигации, в памяти которой заложены высокоточные картографические маршруты. Навигационная система учитывает наличие спусков и подъемов, градиент дорожного полотна, профили поворотов, а также разнообразные дорожные ситуации, текущее состояние транспортного потока. Радарный датчик позволяет определить скорость и расстояние между автомобилем и другими участниками движения, а фронтальная камера обеспечивает информацию о дорожной разметке и полосах движения.

На основе этих данных TCU имеет возможность прогнозировать наиболее оптимальный сценарий смены передачи в режиме реального времени, при этом не прекращая движение. Эти сценарии строятся при помощи алгоритма, создаваемого искусственным интеллектом, и в соответствии с ними происходят переключения передач. К примеру, когда прогнозируется относительно продолжительное замедление, а радар определяет, что движущееся впереди транспортное средство не прибегает к резким изменениям скорости, возможно временное размыкание сцепления в трансмиссии и переход на движение накатом (на нейтральной передаче) для повышения топливной экономичности.

### **Выводы**

Таким образом, специалистами и учеными РГУПС был разработан способ переключения передач для перспективной автоматической силовой трансмиссии, использующей в качестве своего усилительного звена – муфту-шестерню. Он основан на движении электромагнита, расположенного параллельно герконам, которые служат активаторами для замыкания ключей электроцепи в определенной последовательности. Электромагнит жестко закреплен на соленоиде, перемещающемся вверх и вниз в соответствии с ростом или уменьшением напряжения. Напряжение изменяется в большую или меньшую сторону за счет скорости вращения выходного вала двигателя, на котором установлен ротор тахогенератора. Подобная конструкция позволяет плавно менять передачи по мере движения транспортного средства, что обеспечивает высокий уровень комфорта в процессе вождения. Также предложенная схема проста в реализации и адаптации под различные виды наземного транспорта, начиная от легковых автомобилей, заканчивая путевыми машинами и специализированной техникой (бульдозерами, автогрейдером, экскаваторами).

В результате выполнения комплекса научно-исследовательских и проектных работ был проработан вопрос по замещению импортных комплектующих, а именно механических и электронных компонентов, в области автоматизации силовых трансмиссий для мобильных технических систем (МТС). Данная задача была выполнена, опираясь на фундаментальные теоретические основы динамической анизотропии фрикционных связей [7–10], найдены пути решения целого ряда задач, позволивших создать проект конструкции автоматической коробки перемены передач (АКПП) с использованием компактных усилительных звеньев зеркальных обгонных муфт, которые интегрированы в шестерни. Благодаря такому решению значение коэффициента полезного действия (КПД) превосходит уровень КПД силовых трансмиссий ближайших зарубежных аналогов [2–6], в АКПП предусмотрены мероприятия, исключающие явления разрыва потока передаваемой мощности, а время включения передач снижено до минимума –  $t_{\text{вкл.}}$  ( $t < 0,1$ ), повышен уровень надежности за счет простоты конструкции, а также технико-экономические характеристики, которые можно противопоставить лучшим иностранным аналогам.

Разработанная специалистами РГУПС конструкция АКПП предназначена для мобильных технических систем легковых, спортивных и грузовых автомобилей, землеройно-транспортных машин, дорожно-строительной и специализированной техники.

### **Список литературы**

1 Первая автоматическая коробка. История развития коробки передач // Историческая справка с технического сайта по устройству узлов и агрегатов автомобиля : сайт. – 2023. – URL: <https://tdiesel.ru/pervaya-avtomaticheskaya-korobka-istoriya-razvitiya-korobki-peredach.html> (дата обращения: 22.04.2023).

### **References**

1 The first automatic transmission. The history of the development of the gearbox // Historical reference from the technical site on the components and assemblies of cars : [website]. – 2023. – URL: <https://tdiesel.ru/pervaya-avtomaticheskaya-korobka-istoriya-razvitiya-korobki-peredach.html> (date of access: 04/22/2023).

2 Product information. Product Lineup // Материалы официального сайта японского бренда Jatco – транснациональной японской компании, одного из крупнейших производителей автокомпонентов : официальный сайт. – 2023. – URL: <https://www.jatco.co.jp/english/products/> (дата обращения: 22.04.2023).

3 Продукция для легковых автомобилей. Автоматические коробки передач // Материалы официального сайта технологического концерна мирового масштаба ZF, производящего трансмиссии и автокомпоненты : официальный сайт. – 2023. – URL: <https://www.zf.com/> (дата обращения: 22.04.2023).

4 Автоматические силовые трансмиссии. Силовые агрегаты // Материалы официального сайта японской машиностроительной компании Aisin : официальный сайт. – 2023. – URL: <https://www.aisin.com/en/product/mobility/powertrain/> (дата обращения: 22.04.2023).

5 Петров, А. П. Современные конструкции автоматических коробок передач : учебное пособие / А. П. Петров ; Курганский государственный университет. – Курган : Изд-во Курганского государственного университета, 2015. – 80 с. – ISBN 978-5-4217-0333-4.

6 Харитонов, С. А. Автоматические коробки передач : научная литература / С. А. Харитонов. – Москва : Астрель, 2003. – 335 с. – ISBN 5-17-017672-4.

7 Патент № 2674899 Российская Федерация, МПК F16D 65/00 (2006.01). Способ повышения эффективности фрикционных систем / В. В. Шаповалов, М. М. Шестаков, Р. А. Корниенко [и др.] ; заявитель В. В. Шаповалов. – № 2016128401 ; заявл. 12.07.2016 ; опубл. 13.12.2018, Бюл. № 35. – 20 с.

8 Патент № 2748933 Российская Федерация, МПК G01N 3/56 Динамический мониторинг узлов трения мобильных технических систем / В. И. Колесников, В. В. Шаповалов, И. В. Колесников [и др.] ; заявитель РГУПС. – № 2020111610А ; заявл. 03.19.2020 ; опубл. 01.06.2021, Бюл. № 16. – 10 с.

9 Metal Plating of Friction Surfaces of the “Wheel–Rail” Pair / V. V. Shapovalov, Yu. F. Migal, A. L. Ozyabkin, I. V. Kolesnikov, R. A. Kornienko, E. S. Novikov, E. E. Feyzov & P. V. Kharlamov // Journal of Friction and Wear. – V. 41, P. 338–346. – DOI 10.1088/1757-899X/1029/1/012034.

10 Tribological testing of MI-26T helicopter tail driver couplings : XV International Scientific-Technical Conference “Dynamic of Technical Systems” (DTS-2019) / V. V. Shapovalov, A. L. Ozyabkin,

2 Product information. Product line // Materials of the official website of the Japanese brand Jatco – a transnational Japanese company, one of the largest manufacturers of automotive components : official website. – 2023. – URL: <https://www.jatco.co.jp/english/products/> (date of access: 04/22/2023).

3 Products for cars. Automatic transmissions // Materials of the official website of the technological concern of the French scale ZF, which produces transmissions and auto components : official website. – 2023. – URL: <https://www.zf.com/> (date of access: 04/22/2023).

4 Automatic power transmissions. Power units // Materials of the official website of the Japanese engineering company Aisin : official website. – 2023. – URL: <https://www.aisin.com/en/product/mobility/powertrain/> (date of access: 04/22/2023).

5 Petrov, A. P. Modern designs of automatic transmissions: textbook / A. P. Petrov ; Kurgan State University. – Kurgan : Publishing House of Kurgan State University, 2015. – 80 p. – ISBN 978-5-4217-0333-4.

6 Kharitonov, S. A. Automatic transmissions : scientific literature / S. A. Kharitonov. – Moscow : Astrel, 2003. – 335 p. – ISBN 5-17-017672-4.

7 Patent No. 2674899 Russian Federation, IPC F16D 65/00 (2006.01). A way to improve the efficiency of friction systems / V. V. Shapovalov, M. M. Shestakov, R. A. Kornienko [et al.] ; applicant V. V. Shapovalov. – No. 2016128401 ; dec. 07.12.2016 ; publ. 12.13.2018, Bull. No. 35. – 20 p.

8 Patent No. 2748933 Russian Federation, IPC G01N 3/56 Dynamic monitoring of nodes of mobile technical systems / V. I. Kolesnikov, V. V. Shapovalov, I. V. Kolesnikov [et al.] ; applicant RSTU. – No. 2020111610A ; dec. 03.19.2020 ; publ. 06.01.2021, Bull. No. 16. – 10 p.

9 Metal Plating of Friction Surfaces of the “Wheel–Rail” Pair / V. V. Shapovalov, Yu. F. Migal, A. L. Ozyabkin, I. V. Kolesnikov, R. A. Kornienko, E. S. Novikov, E. E. Feyzov & P. V. Kharlamov // Journal of Friction and Wear. – V. 41, P. 338–346. – DOI 10.1088/1757-899X/1029/1/012034.

10 Tribological testing of MI-26T helicopter tail driver couplings : XV International Scientific-Technical Conference “Dynamic of Technical Systems” (DTS-2019) / V. V. Shapovalov, A. L. Ozyabkin,



I. V. Kolesnikov, P. V. Kharlamov, V. B. Mischenko. – New York : AIP Conference Proceedings, 2019. – Volume 2188. – P. 020013–1...020013–10. – DOI 10.1063/1.5138387.

11 Hyundai и KIA разработали первую в мире систему переключения передач на основе технологий информации и связи – ICT Connected Shift System // Материалы официального сайта корейской автомобильной компании Kia : официальный сайт. – 2020. – URL: <https://www.kia.ru/press/news/81/> (дата обращения: 23.04.2023).

I. V. Kolesnikov, P. V. Kharlamov, V. B. Mischenko. – New York : AIP Conference Proceedings, 2019. – Volume 2188. – P. 020013–1...020013–10. – DOI 10.1063/1.5138387.

11 Hyundai and KIA have developed the first transmission shift system based on information and communication technologies – ICT Connected Shift System // Materials of the official website of the Korean automobile company Kia : official website. – 2020. – URL: <https://www.kia.ru/press/news/81/> (date of access: 04/22/2023).

*V. V. Shapovalov, O. I. Kovalenko, I. A. Kolodyazhny, K. A. Kruchinin, A. L. Ozyabkin*

#### DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC POWER TRANSMISSION CONTROL ALGORITHM

**Abstract.** In this paper, a prospective power automatic transmission developed by RSTU scientists was considered. The design of this automatic transmission uses an original, unparallelled gear clutch, which is used as a friction reinforcement link. Due to the use of a gear-clutch, it was possible to increase the efficiency of the automatic transmission in view of the fact that there are practically no interruptions in the flow of transmitted power, thanks to which the gear shift speed has increased. Also, a transmission control algorithm was developed. Its operational principle is based on the movement of an electromagnet moving parallel to the reed switches, which are activators for closing the keys. The electromagnet is rigidly fixed to the solenoid, which moves up and down in accordance with the increase or decrease in voltage, which changes up or down due to the speed of rotation of the motor output shaft. The design of the transmission control circuit is simple in execution and has high reliability.

**Keywords:** transmission, gear clutch, control system, algorithm, contact, reed switch, electromagnet, reliability.

**For citation:** Development of an automatic power transmission control algorithm / V. V. Shapovalov, O. I. Kovalenko, I. A. Kolodyazhny [et al.] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 2. – P. 180–188. – DOI 10.46973/0201-727X\_2023\_2\_180.

#### Сведения об авторах

**Шаповалов Владимир Владимирович**  
Ростовский государственный университет  
путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Транспортные машины и  
триботехника»,  
доктор технических наук, профессор,  
e-mail: [tmt@rgups.ru](mailto:tmt@rgups.ru)

**Коваленко Олег Игоревич**  
Ростовский государственный университет  
путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Транспортные машины и  
триботехника»,  
аспирант,  
e-mail: [olegkovalenko2000@mail.ru](mailto:olegkovalenko2000@mail.ru)

#### Information about the authors

**Shapovalov Vladimir Vladimirovich**  
Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Transport Vehicles and Tribotechnics»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
e-mail: [tmt@rgups.ru](mailto:tmt@rgups.ru)

**Kovalenko Oleg Igorevich**  
Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Transport Vehicles and Tribotechnics»,  
Postgraduate Student,  
e-mail: [olegkovalenko2000@mail.ru](mailto:olegkovalenko2000@mail.ru)



**Колодяжный Илья Алексеевич**

Ростовский государственный университет  
путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Транспортные машины и  
триботехника»,  
соискатель,  
e-mail: 1nexus2mod@gmail.com

**Кручинин Кирилл Антонович**

Ростовский государственный университет  
путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Транспортные машины и  
триботехника»,  
аспирант,  
e-mail: Krutchinin.Kirill@yandex.ru

**Озябкин Андрей Львович**

Ростовский государственный университет  
путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Транспортные машины и  
триботехника»,  
доктор технических наук, доцент,  
e-mail: ozyabkin@mail.ru

**Kolodyazhny Ilya Alekseevich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Transport Vehicles and Tribotechnics»,  
Applicant,  
e-mail: 1nexus2mod@gmail.com

**Kruchinin Kirill Antonovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Transport Vehicles and Tribotechnics»,  
Postgraduate Student,  
e-mail: Krutchinin.Kirill@yandex.ru

**Ozyabkin Andrey Lvovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Transport Vehicles and Tribotechnics»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Associate Professor,  
e-mail: ozyabkin@mail.ru