

УДК (UDC) 629.113

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАНСМИССИИ СРЕДНЕТОННАЖНОГО  
ГРУЗОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВАRESEARCH TRANSMISSION'S OPERATING MODES OF THE MEDIUM-DUTY CAR-  
GO VEHICLEТоропов Е.И., Вашурин А.С., Трусов Ю.П., Мошков П.С.  
Toropov E.I., Vashurin A.S., Trusov Yu.P., Moshkov P.S.Нижегородский Государственный Технический Университет (Нижний Новгород, Российская Федерация)  
Nizhniy Novgorod State Technical University (Nizhniy Novgorod, Russian Federation)

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования режимов работы трансмиссии среднетоннажного грузового транспортного средства ГАЗон Next. Цель исследования – получение эмпирических данных о режимах работы двигателя и механической трансмиссии в условиях, приближенных к эксплуатационным. Полученные экспериментальные зависимости могут быть использованы при проектировании комплекта, включающего в себя механизмы автоматического управления муфтой сцепления и переключения передач, а также электронный блок управления ими. Была спроектирована и реализована измерительная установка, позволяющая фиксировать во времени такие параметры как скорость транспортного средства, ускорение, траекторию, параметры работы двигателя, нагрузки, возникающие в трансмиссии и её приводе, а также действия водителя. В статье представлено описание процесса подготовки узлов транспортного средства к исследованию, а также установки измерительного комплекса. Для получения большего количества статистических данных о работе трансмиссии транспортное средство было испытано при полной массе, половине от максимальной загрузки и в снаряженном состоянии.

**Ключевые слова:** автоматизированная трансмиссия, механическая коробка передач, тензодатчик, телеметрия.

**Дата принятия к публикации:** 03.03.2020  
**Дата публикации:** 25.06.2020

**Сведения об авторах:**

**Торопов Евгений Иванович** – инженер, Центр коллективного пользования «Транспортные системы», Нижегородский Государственный Технический Университет,  
e-mail: [evgeny.toropov@nntu.ru](mailto:evgeny.toropov@nntu.ru)

**Вашурин Андрей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент, кафедра «Автомобили и тракторы», Нижегородский Государственный Технический Университет, e-mail: [vashurin@nntu.ru](mailto:vashurin@nntu.ru)

**Трусов Юрий Павлович** – заместитель директора, Центр коллективного пользования

**Abstract.** The article presents the results of a study of transmission modes of the GAZon Next medium-duty cargo vehicle. The main goal of the presented scientific work is to obtain empirical data describing the operating modes of the engine and mechanical transmission in operational conditions. Engineers and programmers in the design of the kit, which includes automatic clutch and gearshift control mechanisms, as well as an electronic control unit for them, will use the obtained experimental correlations. Specialists of technical university have developed a measuring system that allows recording in time such parameters as: vehicle speed, acceleration, trajectory, engine operation parameters, loads that occur in the transmission and its drive, as well as the driver's actions. This article provides a detailed description of the process of preparing vehicle components for research, as well as the installation of a measuring complex. The vehicle was tested at full weight, half of the maximum load and in curb weight to obtain more statistics on the operation of the transmission. In conclusion, the article presents the obtained experimental graphs.

**Keywords:** automated transmission, mechanical gearbox, strain gauge, telemetry.

**Date of acceptance for publication:** 03.03.2020  
**Date of publication:** 25.06.2020

**Authors' information:**

**Evgeniy I. Toropov** – engineer, Center for Collective Use at the NSTU “Transport Systems”, Nizhniy Novgorod State Technical University,  
e-mail: [evgeny.toropov@nntu.ru](mailto:evgeny.toropov@nntu.ru)

**Andrey S. Vashurin** – PhD, associate professor of Department “Automobile and tractors”, Nizhniy Novgorod State Technical University,  
e-mail: [vashurin@nntu.ru](mailto:vashurin@nntu.ru)

**Yuriy P. Trusov** – deputy director, Center for Collective Use of the NSTU “Transport Systems”,

«Транспортные системы», Нижегородский Государственный Технический Университет,  
e-mail: yury.trusov@nntu.ru

**Мошков Павел Сергеевич** – инженер, Центр коллективного пользования «Транспортные системы», Нижегородский Государственный Технический Университет,  
e-mail: pavel.moshkov@nntu.ru

Nizhniy Novgorod State Technical University,  
e-mail: yury.trusov@nntu.ru

**Pavel S. Moshkov** – engineer, Center for Collective Use of the NSTU “Transport Systems”, Nizhniy Novgorod State Technical University,  
e-mail: pavel.moshkov@nntu.ru

### Благодарности

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект по договору № 02.G25.31.0270 от 29.05.2017 г.)*

### Acknowledgements

*The study was supported by the grant of the Education and Science Ministry of the Russian Federation (project No. 02.G25.31.0270 of May 29, 2017)*

## 1. Введение

В настоящее время автопроизводители повышают конкурентоспособность своей продукции за счет увеличения числа выпускаемых модификаций, что обеспечивается внедрением последних мехатронных разработок [1]. Постоянно растущие требования к безопасности транспортных средств также являются катализатором “цифровизации” автомобилей.

Одним из перспективных векторов развития механических трансмиссий грузовых транспортных средств является их автоматизация, т.е. автоматическое управление муфтой сцепления и переключением передач при помощи специальных механизмов (актуаторов), управляемых микроэлектронным блоком. Мировые автоконцерны (Mercedes-Benz, Volvo, Renault, Scania, DAF, Iveco, MAN) уже на протяжении 20 лет серийно оборудуют свои транспортные средства подобными техническими решениями [1]. Преимущества над “классическими автоматами” – это более высокий коэффициент полезного действия. Также за счет унификации агрегатов упрощается конструктивная доработка серийной ручной механической трансмиссии под её автоматизацию. Система автоматического управления, заложенная в электронном блоке, осуществляет управление трансмиссией на основе математического алгоритма, называемого совокупностью зависимостей моментов переключения передач (как с низших на высшие, так и наоборот) от основных факторов – скорости автомобиля и нагрузки

двигателя, так называемая “карта переключений” [2]. Стоит отметить, что для более плавного переключения, в алгоритме должно быть предусмотрено определение оптимального времени работы исполнительных механизмов, исходя их действующих условий движения, на основе которого рассчитывается величина изменения мощности на ведущих колесах до и после переключения передач [3].

В большинстве случаев грузовые автомобили оснащаются роботизированной трансмиссией Astronic от компании «Zahnrad Fabrik». Подобной системой оборудован и магистральный тягач КАМАЗ-5490. В связи с этим, разработка отечественной автоматизированной трансмиссии является актуальной задачей.

## 2. Подготовка к проведению испытаний

Учитывая необходимость отечественных подобных мехатронных разработок, была поставлена задача по разработке комплекта автоматизации (“роботизации”) ручной механической трансмиссии среднетоннажного грузового транспортного средства Газон Next, который должен состоять из актуаторов муфты сцепления и переключения передач, а также электронного блока управления ими.

На начальном этапе была разработана принципиальная схема измерительной установки, позволяющая фиксировать параметры работы механической трансмиссии в условиях, близких к эксплуатационным (рис. 1).

Основная цель планируемых испытаний - получение эмпирических зависимостей управления трансмиссией (процесса трогания,

переключения на высшую и низшую передачу – составление “карты”, остановка).



Рис. 1. Принципиальная схема измерительной установки:

1 – измеритель параметров движения транспортного средства Racelogic VBox 3i; 2 – дисплей VBox; 3 – GPS/Glonass антенна; 4 – гироскоп; 5 – диагностическая колодка; 6 – динамическая система сбора данных TMR-200; 7 – датчик давления, установленный в гидроприводе сцепления; 8 – датчик оборотов первичного вала коробки передач; 9 – датчик линейных перемещений измерения положения педали сцепления; 10 – тензометрические датчики, установленные в тросы привода переключения передач; 11 – телеметрический комплект для измерения момента на карданном валу

При помощи данного измерительного комплекса производится фиксация во времени параметров:

- движения транспортного средства (линейная скорость движения транспортного средства, км/ч; продольное и поперечное ускорения, g; скорость рыскания, тангажа, крена, °/с; траектория);

- режима работы двигателя (обороты коленчатого вала, об/мин; актуальный крутящий момент двигателя, Н·м; момент трения в двигателе Н·м);

- режима работы трансмиссии (обороты входного и выходного валов коробки передач, об/мин; момент, развиваемый на карданном валу, Н·м; усилия в тросах переключения передач, Н; давление жидкости в гидроприводе сцепления, МПа);

- действия водителя (положение педали акселератора, %; факт нажатия на педаль тормоза, 0/1; положение педали сцепления,

мм; запрашиваемый крутящий момент водителем, Н·м);

- срабатывание электронных систем, влияющих на динамику транспортного средства (антиблокировочная и противобуксочная система).

Измерение крутящего момента на вращающемся валу – нетривиальная техническая задача. Разработан ряд способов, позволяющих фиксировать данный динамически изменяющийся параметр. В качестве примера можно привести автомобильный двигатель, крутящий момент которого вычисляется электронным блоком управления на основе калибровочных таблиц, заложенных в него на стадии разработки программного обеспечения. В нашем случае наиболее точное определение момента на валах трансмиссии обеспечивает метод, основанный на замере деформации [4]. При данном подходе на исследуемый вал под углом 45° к оси вращения

наклеиваются тензометрические резисторы, соединение которых производят по мостовой схеме. Таким образом, обеспечивается высокая чувствительность, улучшается линейность получаемой характеристики, значительно уменьшается влияние температуры на величину выходного сигнала [4]. Основная сложность при использовании данного метода применительно к вращающимся элементам – это передача измеренных показаний на регистрирующее оборудование. При современном уровне развития микроэлектроники данная проблема решается при помощи микроконтроллеров, операционного усилителя и реализации цифрового радиоканала на разрешенной частоте 433 МГц.

Значения крутящего момента на карданном валу автомобиля Газон Next измерялись и фиксировались при помощи многоканаль-

ной телеметрической системы КМТ, состоящая из:

1) усилителя и дешифратора сигнала от тензометрического моста МТ32-STG в количестве 3 штук;

2) центрального модуля-сборщика МТ32-ENC8, управляющего дешифраторами посредством SPI-шины;

3) радиочастотного передатчика МТ32-Tx, работающего на частоте 433МГц и осуществляющего передачу данных со скоростью 320 кбит/с;

4) автономного питания от литиевой батареи CR-P2;

5) дешифратора радиосигнала МТ32-DEC8 с принимающей антенной.

Установленный на карданный вал комплект телеметрии, а также наклеенные тензометрические датчики представлены на рис.2.

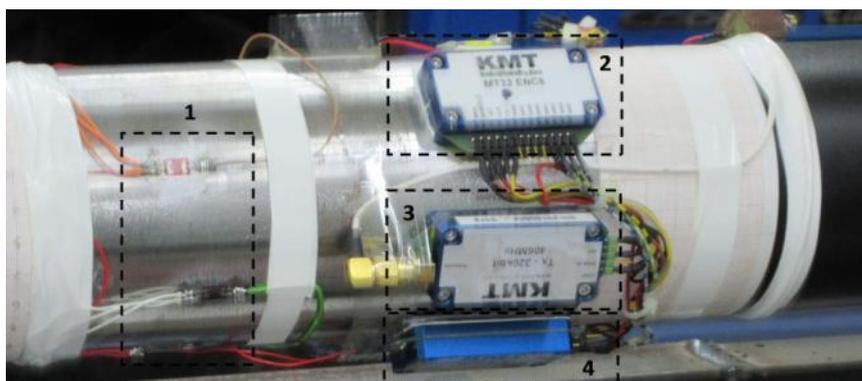


Рис. 2. Установка тензодатчиков и телеметрии на карданный вал в целях измерения крутящего момента: 1 – тензометрический мост; 2 – центральный модуль МТ32-ENC8; 3 - радиотрансмиттер МТ32-Tx; 4 - дешифратор МТ32-STG

Перед установкой на испытуемое транспортное средство измерительный карданный вал предварительно был откалиброван на физическую величину момента.

В “роботизированной” механической трансмиссии процесс выбора и переключения передач, а также управление муфтой сцепления обеспечивается актуаторами, которые по принципу действия могут быть пневматическими, электромеханическими или гидроэлектромеханическими.

Рассматривались все возможные варианты. Проанализировав аналоги, было решено сделать выбор в пользу последних двух. Та-

ким образом, при их разработке (кинематический и силовой анализ) встает вопрос об экспериментальном определении усилий, возникающих в приводе. Для этой цели были изготовлены, откалиброваны и установлены в привод переключения передач испытуемого автомобиля измерительные тросы (рис.3).

Так как для проектирования механизмов автоматического управления трансмиссией необходимы дополнительные исходные данные о работе привода (скорость выключения и включения сцепления при переключениях передач, давление в гидравлической системе сцепления, силовая характеристика диа-

фрагментной пружины сцепления и т.п.), то в дополнение к штатным бортовым автомобильным сенсорам были установлены внешние датчики: датчик линейного перемещения педали сцепления (рис.4, а), датчик давления в гидроприводе сцепления (рис.4, б), датчик скорости вращения входного вала коробки передач (рис.4, в), трехосевой гироскоп для оценки режимов движения (рис.4, г).

Для фиксации во времени значений крутящего момента, измеренного и передаваемого телеметрическим комплектом, растягивающих усилий, возникающих в тросах привода во время переключения передач, а также сигналов от внештатных датчиков использовалась динамическая система сбора данных TMR-200. Она включает в себя блоки:

- TMR-211 (центральный блок управления системой);
- TMR-281 (сенсорный дисплей);

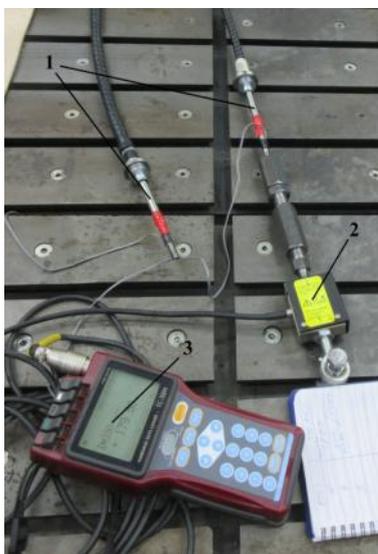
- TMR-221 (измерение деформации по полномостовой схеме, применяется для фиксации измеряемых значений, получаемых от телеметрии и датчика линейных перемещений);

- TMR-222 (измерение усилий в тросах, возникающих при переключении передач, а также давления в гидроприводе);

- CAN/Voice/GPS TMR-251 (передача измерений по пользовательской CAN-шине в Vbox3i);

- TMR-253 (преобразование частотного сигнала с индукционного сенсора скорости вращения входного вала и датчика-Холла выходного вала коробки передач в физическую величину).

После осуществления всех подготовительных работ измерительное оборудование было установлено и закреплено в кабине исследуемого транспортного средства (рис.5).



а)



б)

Рис. 3. Установка и тарировка измерительных тросов: а - тарировка измерительных тензометрических тросов; б - установка тросов в приводе (1 - измерительные тросы; 2 – датчик силы; 3 – тензометрический усилитель ТС-32К)



а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Установка дополнительных датчиков:

а - датчик линейных перемещений педали сцепления; б - датчик давления в гидроприводе сцепления; в - датчик скорости вращения первичного вала к.п; г - гироскоп IMU04



Рис. 5. Установка регистрирующего оборудования в кабине транспортного средства:  
 1 – монитор Vbox; 2 – Racelogic Vbox 3i 100Hz; 3 – модуль управления Vbox; 4 – система сбора данных TMR; 5 – источник питания датчиков

### 3. Проведение испытаний

Испытания транспортного средства были выполнены при следующих грузенных состояниях: полная загрузка, половина от максимальной, снаряженная. Каждое из состояний тестировалось с тентом и без тента. Это необходимо для оценки влияния аэродинамического сопротивления, которое сильно сказывается при высоких скоростях движения. Для проведения данного рода испытаний при инженерной поддержке Объединенного инженерного центра «ГАЗ» и Горьковского автомобильного завода были выделены спецдороги полигона «Березовая пойма». Проводились исследования следующих режимов движения:

- 1) начало движения испытуемого объекта с первой и со второй передачи;
- 2) замер разгонной характеристики автомобиля, а также движение в магистральном и городском циклах согласно ГОСТ 20306-90;

3) торможение двигателем.

Примеры графиков, полученных в результате эксперимента, показаны на рис. 6 и 7 (процесс трогания и переключения передач). Видно, что среднее время переключения передач водителем испытателем составляет 1...1,5 с. Время выключения сцепления составляет 0,25...0,3 с. С помощью датчиков давления и перемещения была получена реальная зависимость нарастания давления от нажатия на педаль (рис. 8). Необходимо отметить, что на транспортное средство перед испытаниями был установлен новый комплект деталей (кривая 1). Дополнительно были проведены аналогичные замеры на автомобиле, имеющем изношенное сцепление (рис. 8, кривая 2). По конструкторской документации на привод можно перейти к зависимости перемещения поршня главного цилиндра сцепления от прикладываемого усилия.

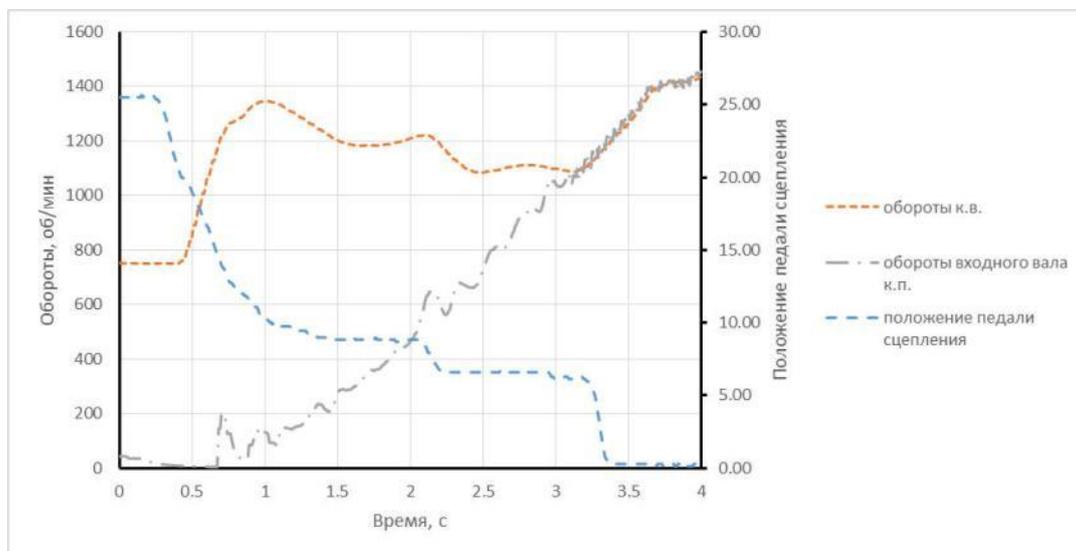
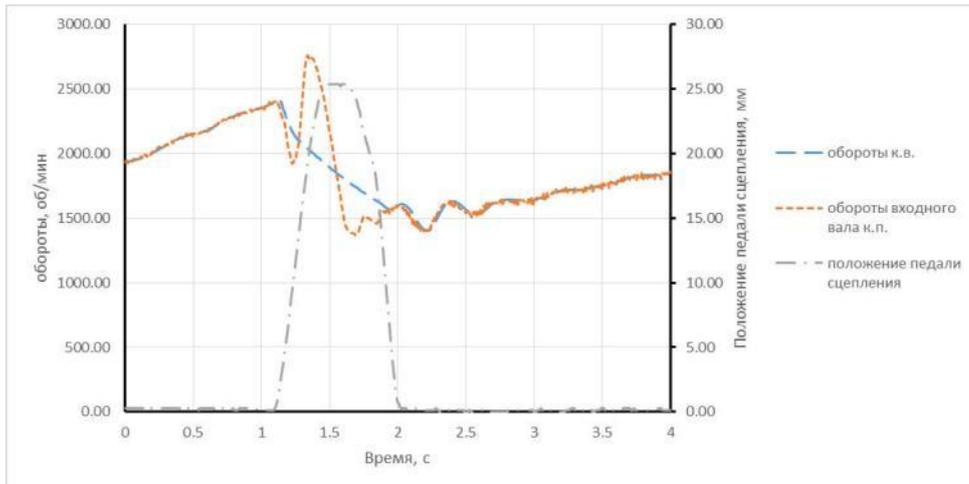


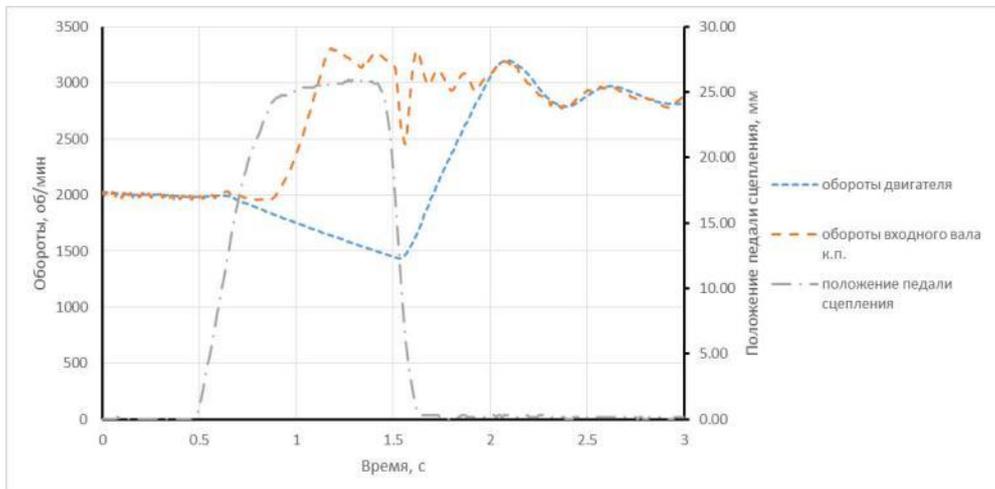
Рис. 6. Экспериментальный график процесса трогания

В результате исследований было установлено, что усилия в механизмах выбора вилки и включения передач существенно отличаются (рис 9). Первый пик на кривой 3 связан с приложением усилия водителем до полного выключения сцепления при быстром переключении передач. Третий пик связан с продолжением приложения усилия во-

дителем на рычаг переключения передач после включения передачи. Второй пик непосредственно связан с процессом синхронизации угловых скоростей валов коробки передач. Максимальное усилие включения передачи достигает 550 Н, при том что усилие на выборе вилки не менее 100 Н.



а)



б)

Рис. 7. Экспериментальные графики процесса переключения передач при максимальной подаче топлива: а – переключение на высшую передачу; б – переключение на низшую передачу

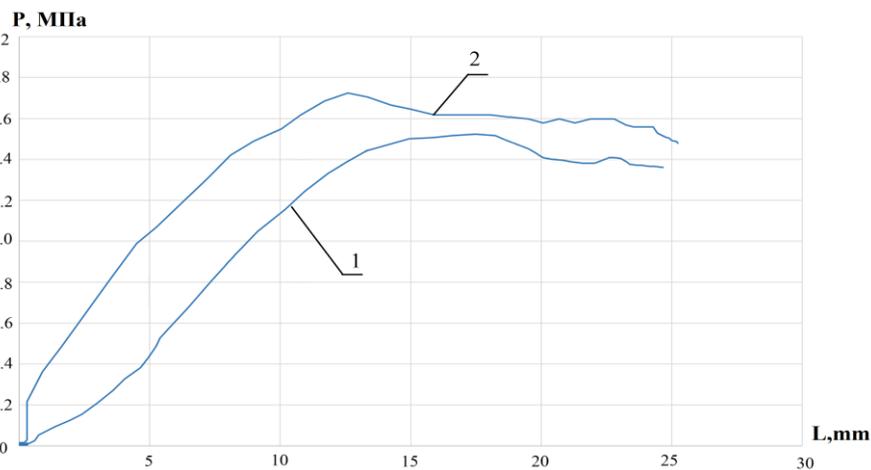


Рис. 8. График зависимости давление в гидромагистрали привода сцепления от перемещения педали: 1 – характеристика для нового сцепления; 2 – характеристика для

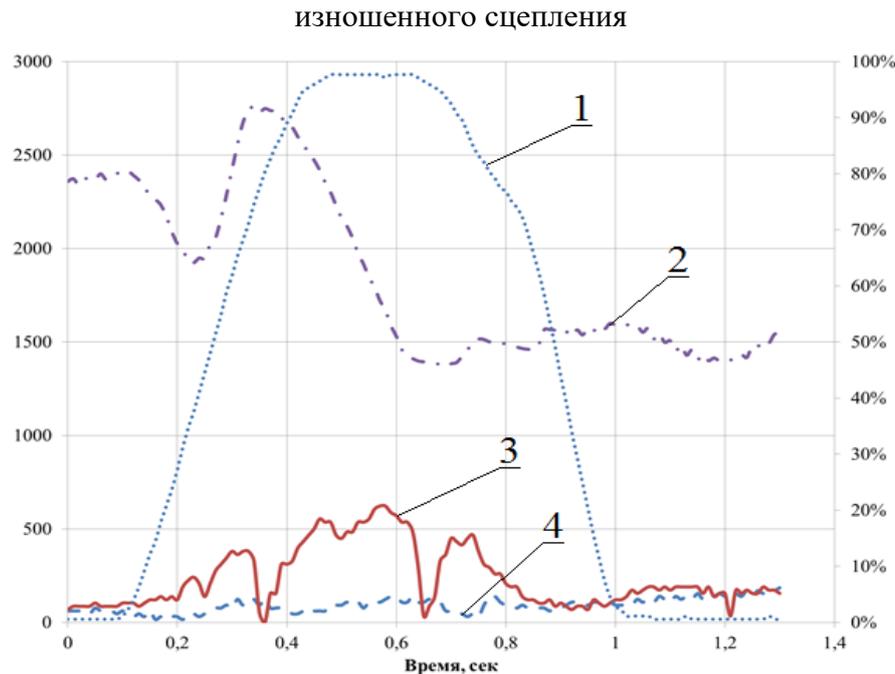


Рис. 9. Экспериментальные кривые полученные при переключении передач автомобиля: 1 – нажатие на педаль сцепления, %; 2 – скорость вращения первичного вала КПП, об/мин; 3 – усилие механизма включения передачи, Н; 4 – усилие механизма выбора дорожки, Н

#### 4. Заключение

Полученные экспериментальные данные, такие как усилия необходимые для переключения передач (рис. 9) в зависимости от времени; диапазон усилий включения/выключения сцепления (рис. 8) для различной степени износа; время включения/выключения сцепления; время переключения водителем, необходимы для проектирования электромеханических приводов (актуаторов) привода переключения передач и управления муфтой сцепления [5]. Для исполнительного механизма сцепления целесообразно использовать кинематическую схему с сервопружиной, так как при выключении сцепления необходимо преодолевать

усилие диафрагменной пружины, а при включении сцепления необходимо прикладывать усилие для плавного смыкания дисков, противодействуя усилию пружины.

Полученные данные являются отправной точкой для разработки и проектирования органов управления роботизированной трансмиссии, а также они необходимы при разработке встраиваемого программного обеспечения электронного блока.

В конечном итоге, составленные по этим данным алгоритмы управления исполнительными устройствами и двигателем должны существенно снизить уровень нагрузок, возникающих при переключении, а также упростить процедуру верификации программного обеспечения.

## Список литературы

1. Недялков А.П., Блохин А.Н. Применение опережающих технических решений при создании механических ступенчатых коробок передач с автоматизированным управлением // Наука и образование. 2011. №2. С. 1-18.
2. Гируцкий О.И., Есеновский-Лашков Ю.К., Поляк Д.Г. Электронные системы управления агрегатами автомобиля. М.: Транспорт, 2000. 213 с.
3. Недялков А.П., Блохин А.Н., Денисенко Е.Г. Исследование возможности переключения передач при движении автомобиля с использованием показателей, характеризующих действительный и кинематический интервал оборотов ведущих частей трансмиссии // Наука и образование. 2012. №11. С. 105-120.
4. Гуринов А.С., Дудник В.В., Гапонов В.Л., Калашников В.В. Измерение крутящего момента на вращающихся валах // Вестник Донского государственного технического университета. 2012. №1. С. 25-30.
5. Vashurin A.S., Butin D.A., Yarzhemsky A.D. Kit's development for automation mechanical transmission of a cargo vehicle // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 709 (2020) 033097. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/3/033097>

## References

1. Nedyalkov A.P. Primeneniye operezhayushchikh tekhnicheskikh resheniy pri sozdanii mekhanicheskikh stupenchatykh korobok peredach s avtomatizirovannym upravleniyem. *Nauka i obrazovaniye*, 2011, No.2, pp. 1-18. (In Russian)
2. Girutskiy O.I. Elektronnyye sistemy upravleniya agregatami avtomobilya. Moscow, Transport, 2000. 213 p. (In Russian)
3. Nedyalkov A.P., Blokhin A.N., Denisenko Ye.G. Issledovaniye vozmozhnosti pereklyucheniya peredach pri dvizhenii avtomobilya s ispolzovaniyem pokazateley, kharakterizuyushchikh deystvitelnyy i kinematcheskiy interval oborotov vedushchikh chastey transmissii. *Nauka i obrazovaniye*, 2012, No.11, pp. 105-120. (In Russian)
4. Gurinov A.S., Dudnik V.V., Gaponov V.L., Kalashnikov V.V. Izmereniye krutyashchego momenta na vrashchayushchikhsya valakh. *Vestnik Donskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2012, No.1, pp. 25-30. (In Russian)
5. Vashurin A.S., Butin D.A., Yarzhemsky A.D. Kit's development for automation mechanical transmission of a cargo vehicle. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 709 (2020) 033097. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/3/033097>.