

11. **Комбайн** зерноуборочный КЗ-14 «Полесье GSM»: инструкция по эксплуатации ПО «Гомсельмаш». – Гомель, 2007. – 122 с.

12. **Гидропривод** MAN TGL 10.180 [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://gruzovikin.ru/obzor-gruzovikov/man/gidroprivod-man-tgl-10.180.html>. – Дата доступа: 02.06.2014.

13. **Платонов, В. Ф.** Гусеничные транспортеры-тягачи / В. Ф. Платонов. – М., 1978.

## REFERENCES

1. **Labodaev, V. D., & Udovenko, V. M.** (1987) *Automobile Transportation of Agricultural Cargo*. Minsk, Uradzhay (in Russian).

2. **Myshko, R. A., Dobysh, G. F., & Bud'ko, Iu. V.** (1987) *Industrial Technologies for Reclaimed Areas*. Minsk, Uradzhay (in Russian).

3. **Gurevich, A. M., Bolotov, A. K., & Fortuna, V. P.** (1975) *Exploitation of Caterpillar Tractor*. Moscow, Kolos (in Russian).

4. **Kutkov, G. M.** (2004) *Tractors and Automobiles. Theory and Technological Properties*. Moscow, Kolos (in Russian).

5. **Katsygin, V. V., Krinko, M. S., & Melnikov, E. S.** (1979) *High-Speed and High Power Tractors*. Minsk, Uradzhay (in Russian).

6. **Novikov, A. V., Shilo, I. N., Neparko, T. A., Timoshenko, V. Ia., & Labodaev, V. D.** (2008) *Exploitation of Agricultural Equipment*. Minsk, Belarus (in Russian).

7. **Novikov, A. V., Shilo, I. N., Neparko, T. A., Liakhov, A. P., & Timoshenko, V. Ia.** (2011) *Equipment Support of crop Production. Practical Course*. Minsk, BSATU (in Russian).

8. **Erofeev, A. A.** (1977) *Automated Control Systems of Construction Machines*. Leningrad, Mashinostroyenie (in Russian).

9. **Bobrovnik, A. I.** (1997) *Improvement of Operational Characteristics of Mobile Fertilizer Units*. Minsk, Minskij Traktornyj Zavod (in Russian).

10. **Operation** Manual for Tractor “BELARUS 3022B”. Minsk: Minskij Traktornyj Zavod, 2008 (in Russian).

11. **Combine** Harvester KZ-14 “Polesye GSM”. PA “Gomselmash” Operation Manual. Gomel, 2007 (in Russian, unpublished).

12. **Hydraulic drive** MAN TGL 10.180. Available at: <http://gruzovikin.ru/obzor-gruzovikov/man/gidroprivod-man-tgl-10.180.html>. (accessed 2 June 2014).

13. **Platonov, V. F.** (1978) *Caterpillar Tractor Hauler*. Moscow, Mashinostroyenie (in Russian).

Поступила 10.01.2014

УДК 629.113

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ В КОМАНДНОМ РЕЖИМЕ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМ АГРЕГАТОМ АВТОМОБИЛЯ

*Канд. техн. наук, доц. КУСЯК В. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

E-mail: [vkusyak@bntu.by](mailto:vkusyak@bntu.by)

Приведена принципиальная схема автоматизированной системы управления силовым агрегатом на базе сухого фрикционного сцепления и механической коробки передач. Мехатронная система имеет модульную компоновку и позволяет осуществлять трогание автомобиля с места, маневрирование с низкими скоростями, переключение передач в командном и автоматическом режимах. Управление дизельным двигателем, сцеплением и десятиступенчатой коробкой передач на всех режимах движения осуществляется контроллерами при воздействии на селектор режимов движения, педаль акселератора, а по необходимости – и на педаль тормоза. Обмен данными между электронными блоками осуществляется по протоколу SAE-J1939 со скоростью передачи 250 кбит/с. Изменение топливоподачи дизельного двигателя, включение-выключение сцепления и переключение ступеней в коробке происходят автоматически в результате срабатывания пневматических силовых исполнительных механизмов при подаче сигнала от контроллера на соответствующий электромагнитный клапан или их комбинацию.

Показаны результаты полунатурного эксперимента по исследованию процесса переключения передач в командном режиме управления силовым агрегатом. Представлены осциллограммы переходного процесса с различной структурой алгоритма управления. Приведен их сравнительный анализ и дано заключение о целесообразности автоматизации процесса переключения. Графическое оформление результатов полунатурного эксперимента производили с помощью средств визуализации CoDeSys V2.3.

**Ключевые слова:** автоматизированный силовой агрегат, переключение передач, полунатурный эксперимент, алгоритм управления.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

## RESEARCH ON GEAR SHIFTING PROCESS IN COMMAND MODE OF VEHICLE POWERTRAIN CONTROL

KUSYAK V. A.

Belorussian National Technical University

The paper presents a schematic diagram of the powertrain automated control system based on dry friction clutch and manual gearbox. Mechatronic system has a modular configuration and allows to make the vehicle starting-up, low speed maneuvering and command or automatic gearshifting. Diesel engine, clutch and 10-step gearbox control is carried out at all movement modes by electronic modules when affected on mode selector, accelerator pedal and, if necessary, on brake pedal. Data exchange between electronic units is carried by SAE-J1939 protocol with a transmission rate of 250 kbit/s. Change in diesel fuel supply, clutch engagement and gearshifting take place automatically as a result of pneumatic power actuator operation by a signal from the controller to the corresponding solenoid valve or a combination thereof.

Presents the results of semi-natural experiment on research of gear shifting process in the command mode of powertrain control. Transient gearshift oscillograms with various control algorithm structure have been given in the paper. The paper contains a comparative analysis of the oscillograma and a conclusion on expediency of gear shifting automation. A graphic representation of the semi-natural experiment results has been performed with the help of CoDeSys V2.3-visualization facilities.

**Keywords:** automated powertrain, gear shifting, semi-natural experiment, control algorithm.

Fig. 4. Ref.: 10 titles.

Обзор мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов показал [1; 2, с. 43; 3; 4, с. 8], что, помимо автоматического режима трогания и переключения передач, водитель имеет возможность управлять автоматизированной трансмиссией в командном режиме. В частности, посредством перевода селектора в соответствующее положение возможна инициализация процесса переключения на смежную высшую или низшую передачу.

С учетом тенденций в мировом автомобилестроении и в области мехатроники специалисты кафедры «Автомобили» БНТУ разработали и создали полномасштабный макетный образец автоматизированной системы управления силовым агрегатом на базе сухого фрикционного сцепления и механической коробки передач (рис. 1).

Спроектированная мехатронная система функционирует в комплексе с дизельным двигателем, имеющим электронное управление топливоподачей и моторным тормозом. Управление фрикционным сцеплением и многоступенчатой механической коробкой передач осуществляется отдельным электронным блоком, что соответствует модульному принципу построения систем автоматизации. Обмен данными по протоколу SAE-J1939 между электронными блоками дизельного двигателя и трансмиссии производится по последовательной коммуникационной сети CAN (Controller Area Network) со скоростью передачи 250 кбит/с [5, с. 37].

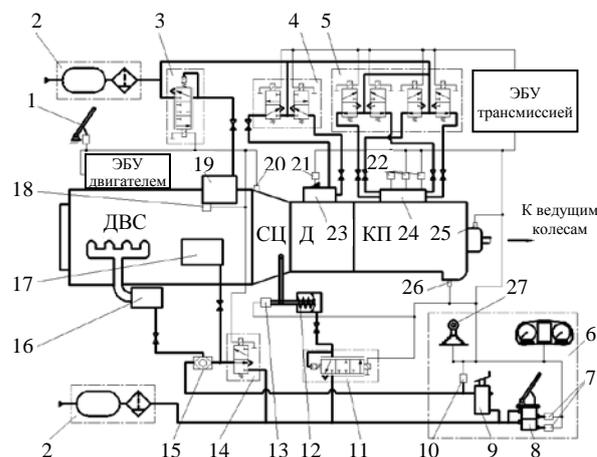


Рис. 1. Принципиальная схема автоматизированного силового агрегата: 1 – педаль газа с датчиком положения; 2 – питающая часть пневмопривода; 3–5, 11, 14 – электромагнитный клапан управления ДВС, коробкой передач, сцеплением и моторным тормозом; 6 – орган управления и панель приборов; 7, 10 – датчик давления; 8 – педаль тормоза с двухсекционным тормозным краном; 9 – клапан останова двигателя; 12, 16, 17, 19, 23, 24 – исполнительный механизм соответственно сцепления, моторного тормоза, рычага регулятора ТНВД, делителя и основной КП; 13, 18, 21 – датчик перемещения; 15 – двухмагистральный клапан; 20, 25, 26 – датчик частоты вращения; 22 – концевой выключатель; 27 – селектор режимов

Мехатронная система позволяет осуществлять: трогание автомобиля с места, маневрирование с низкими скоростями на площадке ограниченных размеров, переключение передач,

выбор передачи после торможения или движения накатом. Причем переключение передач может происходить как в автоматическом, так и в командном режиме управления.

В качестве органа управления режимами работы силового агрегата используется селектор 27 (рис. 1) от легкового автомобиля BMW с модифицированной под 24 В системой питания. При перемещении оператором рычага селектора 1 (рис. 2) в позицию P (Parking), R (Rear), N (Neutral), D (Drive), M/S (Manual/Sport), «+» или «-» на входные порты разъема X1 электронного блока 4 поступает сгенерированный цифровой сигнал.

Полученная информация конвертируется с размещением в 1 байте 64-битного пакета TxPDO, обрамляется 11-битным объектно-ориентированным идентификатором (COB Id) и в виде общей телеграммы (блока PDO + SDO) поступает по CAN-шине 1 в распоряжение смарт-контроллера 2 управления трансмиссией. CAN-сопряжение между «мастером» (смарт-контроллером CR2500) и «подчиненным» (модулем ввода CR2012) – согласно стандарту ISO 11898 [6].

Таким образом, переход рычага селектора из одной позиции в другую инициирует начало отработки определенного алгоритма по управлению силовым агрегатом. Причем в положениях P, R, N или D за основу принимается сигнал уровня «0», поскольку при переводе селек-

тора в одну из вышеуказанных позиций ток базы соответствующего транзистора (рис. 2) закрывает  $p-n-p$ -переход, прерывая течение заряда от эмиттера к коллектору. На соответствующем входе DIN1, DIN2, DIN3 или DIN4 контроллера CR2012 происходит смена сигнала с True на False. При переводе селектора в положение M/S, «+», или «-» за основу принимается сигнал уровня «1».

Переключение в командный режим управления силовым агрегатом происходит при переводе оператором рычага селектора 1 из позиции D в позицию M/S (рис. 2). Дальнейшее перемещение рычага селектора в позицию «+» или «-» инициирует процесс переключения соответственно на смежную высшую или низшую передачу.

При отработке алгоритма переключения передач по принципу индивидуальной синхронизации в переходном процессе задействованы исполнительный механизм 19 управления топливopодачей ДВС, исполнительный механизм 23 делителя, исполнительный механизм 25 базовой коробки передач и исполнительный механизм 12 фрикционного сцепления. Все операции по управлению вышеперечисленными узлами и агрегатами осуществляют электронные блоки ДВС и трансмиссии, последовательно или параллельно подавая команды на определенную комбинацию электромагнитных клапанов 3–5 и 11 (рис. 1).

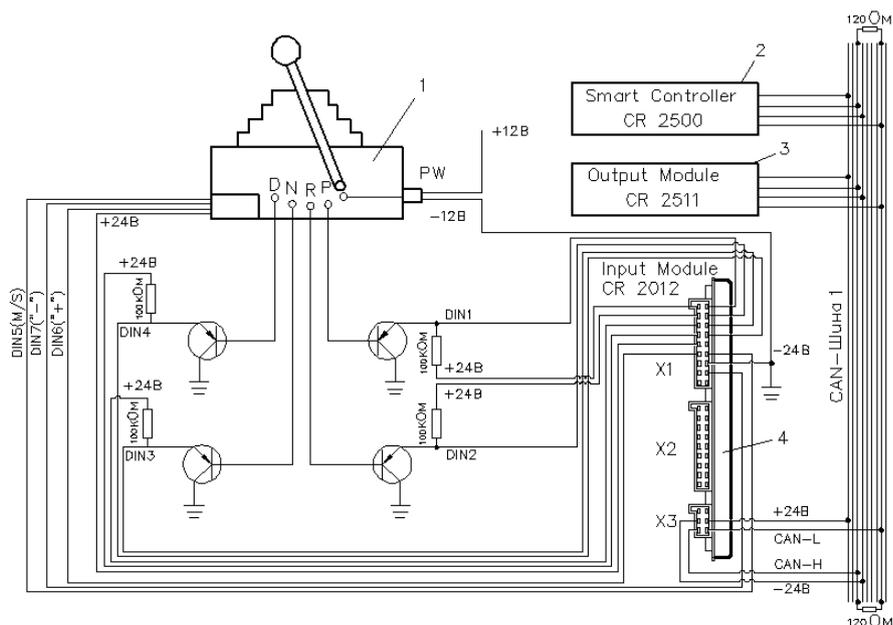


Рис. 2. Схема подключения селектора к CAN-модулю ifm CR2012: 1 – селектор режимов работы силового агрегата; 2 – смарт-контроллер CR2500; 3 – модуль вывода CR2511; 4 – модуль ввода CR2012; DIN1–DIN7 (Digital Input) – цифровые входы контроллера CR2012

В процессе проведения полунатурного эксперимента на испытательном стенде с помощью средств визуализации CoDeSys V2.3 [7, с. 6–65]

производили запись процесса переключения передач в командном режиме управления. Отдельные результаты приведены на рис. 3 и 4.

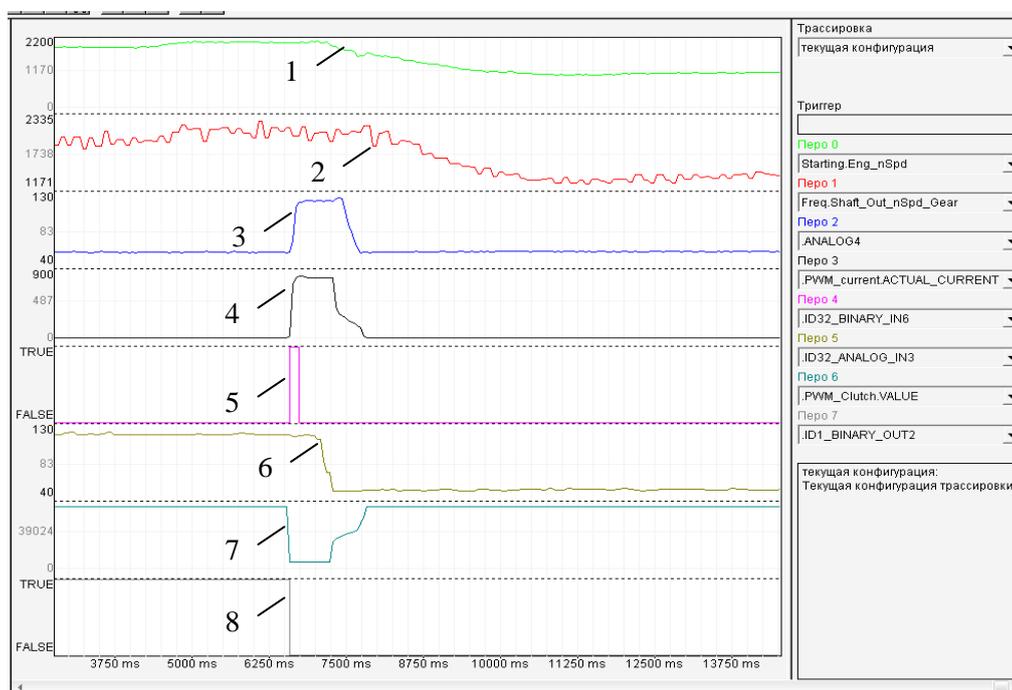


Рис. 3. Осциллограмма процесса переключения с I на II передачу: 1, 2 – частота вращения соответственно коленвала ДВС и выходного вала КП, об/мин; 3 – перемещение рычага выключения сцепления, бит; 4 – ток ПЭМК управления сцеплением, мА; 5 – сигнал уровня «1» от перемещения рычага селектора в позицию «+»; 6 – перемещение вилки переключения делителя, бит; 7 – величина, задающая скважность ШИМ-сигнала, бит; 8 – сигнал на управление электромагнитным клапаном делителя

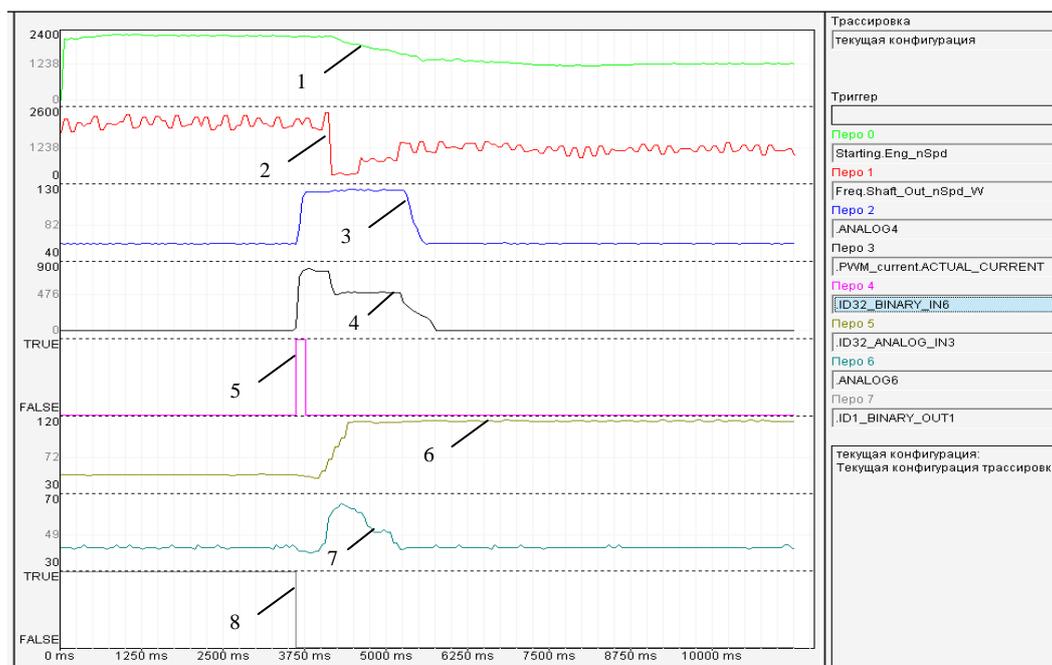


Рис. 4. Осциллограмма процесса переключения со II на III передачу: 1–6, 8 – то же, что на рис. 3; 7 – перемещение вилки включения передачи в базовой КП, бит

Как видно из представленной на рис. 3 осциллограммы, переход с I на II передачу осуществлялся только переключением ступени делителя при полностью выключенном сцеплении. Ввиду незначительного количества операций управления общее время  $t_n$  переключения передач было минимальным и составило, согласно проведенному исследованию, от момента перевода селектора до полного включения сцепления 1,10 с, что на 37,5 % больше минимального времени на аналогичный процесс в западногерманской мехатронной системе ZF AS-Tronic II [8, с. 16]. Причем время выключения сцепления заняло 0,10 с, переключение с прямой на повышающую ступень делителя – 0,35 с, а процесс замыкания сцепления произошел за 0,35 с.

Переключение со II на III передачу (рис. 4) происходило по более сложному алгоритму, предусматривающему: 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. Вследствие этого общее время переключения передач (от момента перевода селектора до полного выключения сцепления) составило  $t_n = 1,95$  с (рис. 4). Время выключения сцепления заняло 0,10 с, переключение с повышающей на прямую ступень делителя составило 0,45 с, а процесс замыкания сцепления произошел за 0,35 с.

Большую часть времени занял процесс переключения в основной КП. Время выключения II передачи и переход в нейтраль составили 0,50 с (рис. 4). Включение III передачи произошло за 0,90 с, причем на синхронизацию угловых скоростей индивидуальными синхронизаторами потребовалось  $t_{\text{синх}} = 0,35$  с. Таким образом, общее время манипуляций в основной КП составило 1,40 с.

По сравнению с ZF AS-Tronic II, общее время командного переключения передач по алгоритму, предусматривающему управление базовой и дополнительной коробками с индивидуальными синхронизаторами, в 2,4 раза больше

[8, с. 16] аналогичного процесса с центральной синхронизацией. Однако по сравнению с ручным управлением автоматизация процесса переключения дает выигрыш по времени в командном режиме управления в 0,85 с: 1,95 с против 2,80 с [9, с. 36, 10, с. 74, табл. 3.3], что составляет 30,36 %.

## ВЫВОДЫ

1. Результаты полунатурного эксперимента подтвердили работоспособность спроектированной мехатронной системы на основе локальной электронной сети и функциональность разработанных алгоритмов для командного режима управления силовым агрегатом грузового автомобиля.

2. По сравнению с ручным управлением общее время процесса переключения передач в автоматизированной трансмиссии при командном режиме управления сокращается на 30,36 % и составляет в зависимости от структуры алгоритма от 1,10 до 1,95 с, что положительно сказывается на тягово-скоростных свойствах и топливной экономичности автотранспортных средств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Fuller® Automated Transmissions: Fuller® Ultra-Shift® LST, -LHP, -LEP / Eaton Tech. Information: Condensed Specifications TRSL-0300, -0318 807 2.5M/WP, TRSL – 0314 807 2M/WP. – Eaton Corp., USA, 2007. – 6 p.
2. 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.
3. Тенденции развития автоматизированных систем управления механическими коробками передач большегрузных автомобилей / О. С. Руктешель [и др.] // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2006. – № 2. – С. 50–54.
4. 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.
5. SAE International™: Surface Vehicle Recommended Practice / J1939-71: Vehicle Application Layer. – SAE Truck and Bus Control and Communications Network Subcommittee. – 2003. – 379 p.
6. CiA DS-301, Version 4.01: CANopen Application Layer and Communication Profile: ISO 11989 [Electronic resource] / CAN in Automation e.V., Germany, copyright © 2001–012. – Mode of access: [http://www.workarea.ego-gw.it/ego2/ego/itf/software/301\\_canopen.pdf](http://www.workarea.ego-gw.it/ego2/ego/itf/software/301_canopen.pdf). – Date of access: 19.03.2009.

7. **Руководство** пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys V2.3 / ПК «Пролог», Copyright: 3S-Smart Software Solutions GmbH, 2008. – 452 с.

8. **ZF AS Tronic®** / ZF tech. information, Sheet-No. 1327 750 102a. – ZF Friedrichshafen AG, Germany, 2001. – 23 p.

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.

10. **Кусяк, В. А.** Синтез алгоритма переключения передач в трансмиссии городского автобуса: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / В. А. Кусяк. – Минск, 2000. – 173 с.

## REFERENCES

1. **Fuller®** Automated Transmissions: Fuller®Ultra-Shift® LST, -LHP, -LEP. Eaton Tech. Information: Condensed Specifications TRSL-0300, -0318 807 2.5M/WP, TRSL – 0314 807 2M/WP. Eaton Corp., USA, 2007.

2. **ZF AS Tronic** and ZF AS Tronic Mid: Technical Manual for Installation, Operation and Commissioning. ZF Tech. Information, Sheet-No 1328 765 901f21. ZF Friedrichshafen AG, Germany, 2005.

3. **Rukteshel, O. S., Solomachov, V. L., Kussyak, V. A., Filimonov, A. A.** (2006) Development Trends of Automated Control Systems of Manual Gearboxes in Heavy Vehicles. *Vesty Akademii Nauk Belarusi. Seriya Fiziko-Tekhnicheskikh Nauk* [Bulletin of Academy of Sciences of Belarus. Series: Physical and Engineering Sciences], 2, 50–54 (in Russian).

4. **Opticruise:** Description of Operation and Work Description. Scania Tech. Information 05:05-02, Sheet-No 1 585 369. Scania CV AB, Sweden, 1995.

5. **SAE International™:** Surface Vehicle Recommended Practice. J1939-71. Vehicle Application Layer. SAE Truck and Bus Control and Communications Network Subcommittee. 2003.

6. **CiA DS-301**, Version 4.01: CANopen Application Layer and Communication Profile. ISO 11989. Available at: [http://www.workarea.ego-gw.it/ego2/ego/itf/software/301\\_canopen.pdf](http://www.workarea.ego-gw.it/ego2/ego/itf/software/301_canopen.pdf). (accessed: 19 March 2009).

7. **Manual** on PLC Programming in CoDeSys V2.3. PC “Prologue”, Copyright: 3S-Smart Software Solutions GmbH. 2008.

8. **ZF AS Tronic®.** ZF Tech. Information, Sheet-No 1327 750 102a. ZF Friedrichshafen AG, Germany, 2001.

9. **Koralevski G.** *Sintez Zakonov Upravleniya i Parametrov Gidromehanicheskih Transmissij Kolesnyh Mashin: Avtoref. dis. d-ra tehn. nauk* [Synthesis of Control Laws and Hydro-Mechanical Transmissions Parameters for Wheeled Vehicles. Author’s Abstract for a Science Degree of Doctor of Engineering Sciences]. Minsk, 2001 (in Russian).

10. **Kussyak, V. A.** *Sintez Algoritma Perekljuchenija Peredach v Transmissii Gorodskogo Avtobusa: dis. kand. tehn. nauk* [Synthesis of Gearshift Algorithm in Urban bus Transmission. Author’s Abstract for a Science Degree of Candidate of Engineering Sciences]. Minsk, 2000 (in Russian).

Поступила 14.05.2014

УДК 796.012:796.022+612.76

## КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЙ НА СТАЦИОНАРНЫХ СИЛОВЫХ ТРЕНАЖЕРАХ

*Канд. пед. наук, доц. СОТСКИЙ Н. Б.*

*Белорусский государственный университет физической культуры*

E-mail: nsotsky@gmail.com

Статья посвящена актуальной теме, связанной с созданием новой технологии взаимодействия человека с тренажерными средствами при развитии силовых качеств, важных как для спортивных достижений, так и в повседневной жизни. Цель исследования – установление кинематических и динамических особенностей работы суставных сочленений при взаимодействии тренирующегося со стационарными тренажерами в ходе выполнения силовых упражнений. В качестве основного метода исследования использован оригинальный способ определения и численного представления позы человека, основанный на установлении закономерностей изменения суставных углов с учетом всех анатомически возможных степеней свободы сочленений опорно-двигательного аппарата. В ходе исследования были проанализированы тренировочные упражнения с использованием типичных современных силовых тренажеров, использующих для создания нагрузки гравитационные, упругие и диссипативные силы. В результате исследования показано, что основной проблемой применения стационарных тренировочных систем является отсутствие возможности создания нагрузки одновременно для нескольких степеней свободы суставных движений, характерных для естественных пространственных движений человека. Другие проблемы связаны с жесткой предопределенностью траекторий звеньев человека, снижающей