

УДК 629.113.585

*В. А. КУСЯК*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ШИМ-СИГНАЛА НА ДИАПАЗОН УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ СЦЕПЛЕНИЯ**

*Белорусский национальный технический университет*

*(Поступила в редакцию 27.01.2014)*

Обзор мехатронных систем управления механической трансмиссией показал, что автоматизированный привод сухого фрикционного сцепления, как правило, имеет дополнительный резервный контур управления [1–5]. Это объясняется тем, что для электронных компонентов мехатронных систем, несмотря на их высокую надежность, характерны кратковременные сбои в работе и внезапность возникновения отказов. Кроме того, возможна утечка рабочего тела из контуров привода исполнительных механизмов, что снижает или полностью исключает работоспособность системы управления и подвижность транспортного средства.

Учитывая вышеизложенное, а также опираясь на опыт зарубежных компаний, специалисты кафедры «Автомобили» Белорусского национального технического университета разработали оригинальный дуплексный привод сухого фрикционного сцепления [6], который интегрируется в мехатронную систему управления силовым агрегатом (МСУСА) и имеет два независимых контура управления (рис. 1).

Автоматизированный привод как основной контур включает силовой исполнительный механизм 14 и пропорциональный электромагнитный клапан 13, установленные на коробке передач (рис. 1). Дублирующий гидравлический привод состоит из педали 8 с гидроцилиндром 7, трубопроводов и штатного пневмогидравлического усилителя 6 (рис. 1, 2). Узел выключения сцепления представляет собой рычажный механизм, состоящий из двух рычагов 16 и 17, установленных на втулке вала вилки выключения сцепления. Один из рычагов соединен с силовым исполнительным механизмом автоматизированного привода управления сцеплением. Другой рычаг входит в состав дублирующего гидравлического привода.

При включении сцепления в автоматическом режиме (например, в процессе трогания с места или маневрировании) для управления пропорциональным электромагнитным клапаном 13 (рис. 1) предлагается использовать стратегию DSAC [7, 8], заключающуюся в подаче на обмотку соленоида широтно-импульсного сигнала с последующим изменением скважности в соответствии с заданным алгоритмом. При этом электронная система должна обеспечить на всех переходных процессах такой темп включения сцепления, который позволил бы, с одной стороны, избежать динамических перегрузок в трансмиссии, а с другой, не превысить критериальных ограничений по энергетической нагруженности фрикционного сцепления, оцениваемой удельной работой и мощностью буксования [9].

Совершенно очевидно, что качество управления сухим фрикционным сцеплением будет зависеть от ширины диапазона сигнала с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ-сигнала). На величину диапазона оказывают влияние согласованность геометрических параметров исполнительного механизма, рабочей характеристики пропорционального электромагнитного клапана (ПЭМК) и выходного каскада используемого контроллера. При постоянных параметрах последних доминирующее влияние на диапазон управления оказывает частота генерируемого ШИМ-сигнала [8].

В лаборатории кафедры «Автомобили» БНТУ создан испытательный стенд [10] для отладки автоматизированной мехатронной системы управления силовым агрегатом, включающим

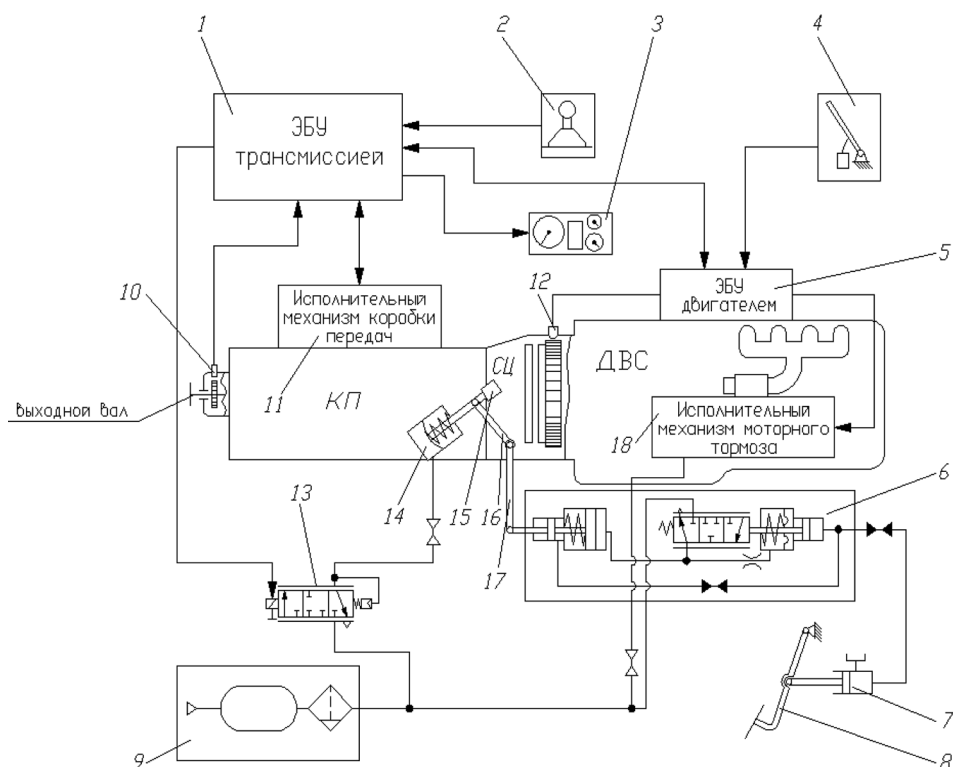


Рис. 1. Принципиальная схема МСУСА с дуплексным приводом сцепления: 1, 5 – ЭБУ трансмиссией и двигателем; 2 – селектор режимов движения; 3 – ЖКИ-монитор; 4 – педаль «газа»; 6 – пневмогидроусилитель, 7 – гидроцилиндр; 8 – педаль сцепления; 9 – питающая часть пневмопривода; 10, 12 – датчики частоты вращения; 11, 18 – исполнительные механизмы коробки передач и моторного тормоза; 13 – пропорциональный электромагнитный клапан; 14 – силовой исполнительный механизм сцепления; 15 – датчик перемещения; 16, 17 – рычаги узла выключения сцепления

двигатель внутреннего сгорания, сухое фрикционное сцепление и механическую коробку передач. Аппаратную основу системы составляют контроллеры *esomat R360* серии *CR2500* (*ifm electronic GmbH*, Германия). Для исследования влияния частоты ШИМ-сигнала на диапазон управления разработано программное обеспечение, позволяющее инициализировать генератор сигналов и в автоматическом режиме обеспечивать подачу ШИМ-сигнала различной скважности (но определенной частоты) на обмотки пропорционального электромагнитного клапана *VER 3121-1* (*SMC*, Япония), управляющего исполнительным механизмом сцепления. В качестве обратной

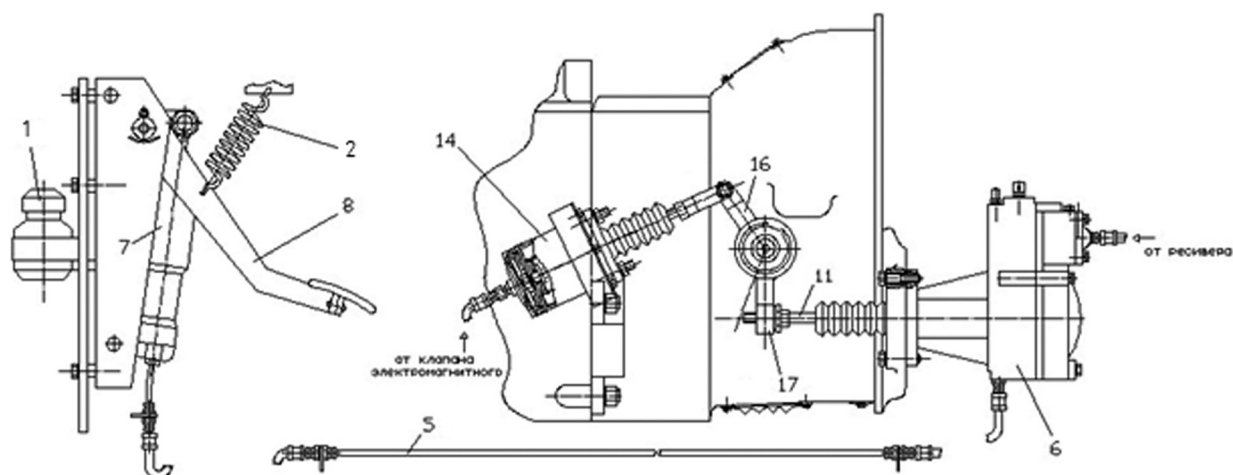


Рис. 2. Дуплексный привод фрикционного сцепления: 1 – расширительный бачок; 2 – возвратная пружина; 3, 4 – см. рис. 1; 5 – трубопровод; 6 – корпус ПГУ; 7 – гидроцилиндр; 8 – педаль сцепления; 9, 10 – см. рис. 1; 11 – шток пневмоусилителя; 12–15 – см. рис. 1; 16, 17 – рычаги узла выключения сцепления

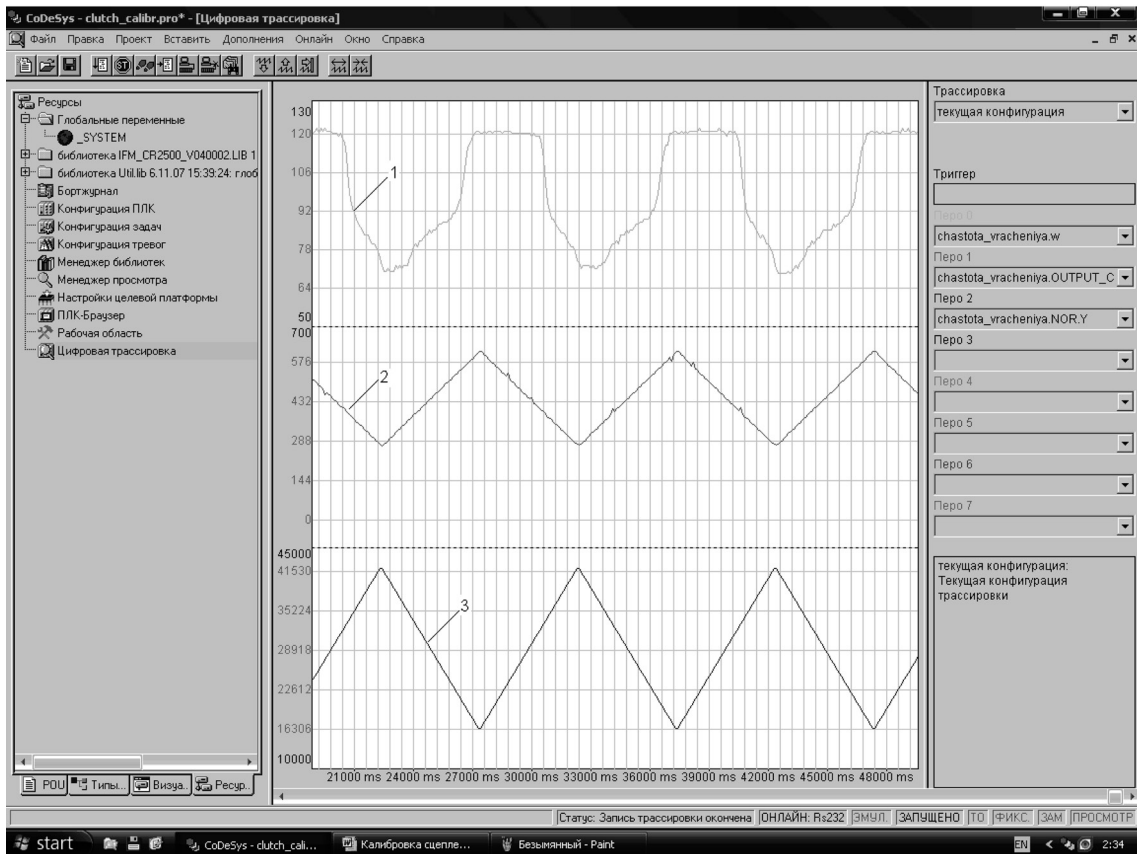


Рис. 3. Осциллограмма процесса управления сцеплением при  $\nu = 150$  Гц: 1 – перемещение рычага сцепления, бит; 2 – ток ПЭМК сцепления, мА; 3 – ШИМ-сигнал, бит

связи использовалось положение рычага выключения сцепления, фиксируемое потенциометрическим датчиком угловых перемещений МУ-615А.

В процессе экспериментов исследовался диапазон управления исполнительным механизмом сцепления при частоте ШИМ-сигнала от 150 до 250 Гц с шагом 25 Гц. Графическое представление результатов полунатурного эксперимента производилось с помощью средств визуализации CoDeSys V2.3 [11, с. 65]. Отдельные результаты записи процесса включения-выключения сухого фрикционного сцепления приведены на рис. 3.

Как показали результаты экспериментов, диапазон ШИМ-сигнала при частоте 150 Гц оказался наибольшим и составил 40,7%. С повышением частоты наблюдается устойчивая тенденция к сужению диапазона управления исполнительным механизмом сцепления. При 200 Гц диапазон управления уменьшился на 26,04% по отношению к диапазону при частоте 150 Гц и составил 30,1% ШИМ, при частоте 250 Гц диапазон уменьшился на 34,15% и составил 26,8% ШИМ. Вышеописанная зависимость изменения диапазона управления от частоты ШИМ-сигнала проиллюстрирована на рис. 4. Гистерезис исполнительного механизма фрикционного сцепления представлен на рис. 5.

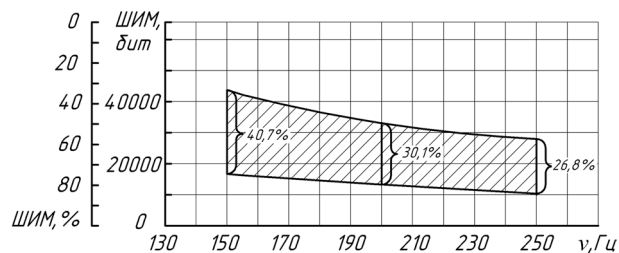


Рис. 4. Зависимость диапазона регулирования от частоты управляющего ШИМ-сигнала

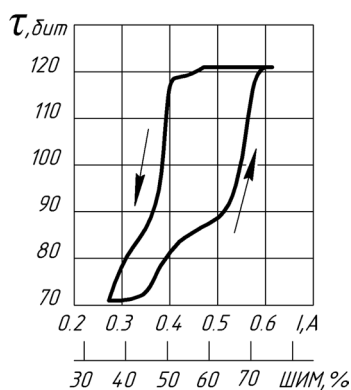


Рис. 5. Гистерезис исполнительного механизма сцепления:  $I$  – ток на обмотках электромагнитного клапана, А;  $\tau$  – оцифровка сигнала от датчика положения рычага сцепления, бит; ШИМ – управляющий ШИМ-сигнал, %.

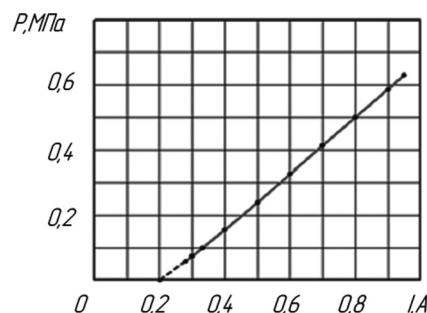


Рис. 6. Характеристика ток–давление ПЭМК SMCVER3121-1

Вариация частоты ШИМ-сигнала не оказывает влияния на рабочий диапазон по величине тока. При срабатывании исполнительного механизма сцепления величина силы тока на обмотках электромагнитного клапана изменяется от 0,272 до 0,614 А (рис. 4), т. е. рабочий диапазон составляет 0,342 А. С учетом рабочей характеристики используемого электромагнитного клапана (рис. 6) и зоны его устойчивой работы это составляет 50,3%, что является достаточным для качественного управления фрикционным сцеплением.

Таким образом, как показали исследования, частота ШИМ-сигнала оказывает существенное влияние на диапазон управления исполнительным механизмом сцепления: изменение частоты на 25 Гц приводит к изменению диапазона управления ШИМ-сигнала приблизительно на 2,5% (рис. 4). Однако при высоких или низких частотах возможны нагрев обмоток ЭМК или периодическая неустойчивость работы всей системы, выражающаяся в существенном приращении величины перемещения рычага сцепления при незначительном изменении ШИМ-сигнала. Поэтому выбор оптимальной частоты необходимо производить исходя из специфических особенностей проектируемой системы.

## Выводы

1. Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность спроектированной мехатронной системы управления сухим фрикционным сцеплением. При этом диапазон управления по току составил 50,3% (от 0,272 до 0,614 А); активный диаметр диафрагмы исполнительного механизма сцепления 100 мм; диаметр трубопровода от ПЭМК к диафрагменному исполнительному механизму 10 мм; диаметр трубопровода от ресивера до ПЭМК 10 мм; давление воздуха в контуре управления 0,65 МПа.

2. Исследовано влияние частоты ШИМ-сигнала на диапазон управления. С уменьшением частоты наблюдается устойчивая тенденция к расширению диапазона: изменение частоты на 25 Гц приводит к изменению диапазона управления ШИМ-сигнала приблизительно на 2,5 %. Зависимость нелинейная, индивидуальная для конкретной системы, однако в целом тенденция сохраняется для любой мехатронной системы.

3. Определены оптимальная частота ШИМ-сигнала для спроектированной мехатронной системы управления фрикционным сцеплением и диапазон его регулирования: частота ШИМ-сигнала 150 Гц; диапазон управления по ШИМ 40,7%; диапазон управления по току 0,342 А.

4. Исследование характеристики исполнительного механизма показало, что с целью увеличения быстродействия системы на фазе перехода от режима выключения сцепления на режим его включения в алгоритм управления целесообразно ввести фрагмент компенсации гистерезиса исполнительного механизма, что положительно отразится на качестве управления в целом.

5. Спроектированный дуплексный привод сухого фрикционного сцепления полностью работоспособен и при его интеграции в мехатронную систему управления силовым агрегатом позволит повысить ее надежность за счет использования двухрычажной конструкции узла выключения сцепления, обеспечивающей независимость работы двух контуров для сохранения функции управления фрикционным сцеплением в аварийной ситуации.

## Литература

1. Clutch operating cylinder for a pressure-medium operated clutch: pat. 4745999 USA, int. C1.4 F16D 25/08 / F. Brugger, F. Moser, T. Ruhl; assignee Daimler-Benz Aktiengesellschaft № 56708; filed 02.01.87; date of patent 24.05.88.
2. Actuator system for vehicle automated clutches with electric motor actuator and pressurized fluid override: pat. 5934432 USA, int. C1.6 F16D 19/00 / J. Bates; assignee Eaton Corp. № 917303; filed 25.08.97; date of patent 10.08.99.
3. Clutch operating system and a hydraulic mechanism used in the same: pat. 6607060 B2 USA, int. C1.7 F16D 25/08 / A. Inoue; assignee Exedy Corp. № 10/042200; filed 11.01.02; date of patent 19.08.03.
4. Dual mode motor vehicle clutch control system: 5002166 USA, int. C1.5 B60K 41/22 / K. V. Leigh-Monstevens, L. P. Branum; assignee Automotive Products plc № 408575; filed 14.09.89; date of patent 26.03.91.
5. Clutch disconnection/connection device: pat. 5954176 USA, int. C1.6 F16D 19/00 / M. Ishihara, Y. Yamamoto et al.; assignee Isuzu Motors Limited № 08/967401; filed 11.11.97; date of patent 21.09.99.
6. Автоматизированный привод управления сухим фрикционным сцеплением с дублирующим пневмогидравлическим контуром / А. Г. Баханович, В. А. Кусяк, А. А. Филимонов, А. В. Белевич // Заявка на патент изобретения № а20120257 Республика Беларусь: МКИ F16H 21/48. Заявл. 01.03.2013.
7. Lee H.-W. A study on full electronic control of automatic transmission: direct active shift control / H.-W. Lee, J.-S. Oh, G.-H. Jung: Hyundai Motor Company// F2000A101: materials of FISITA World Automotive Congress, Seoul, June 12–15 2000. Seoul, Korea, 2000. P. 1–6.
8. Руктешель О. С., В. А. Кусяк, А. В. Белевич, В. И. Луцкий // Инженер-механик. 2013. № 4(61). С. 34–40.
9. Руктешель О. С., Соломахо В. Л., Кусяк В. А., Филимонов А. А. // Механика машин, механизмов и материалов. 2011. № 4(17). С. 19–24.
10. Руктешель О. С., Соломахо В. Л., Кусяк В. А., Филимонов А. А. // Весці. НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2009. № 4. С. 31–36.
11. System manual ecomat mobile controller range R360 for CoDeSys from version 2.3 and target version 04.xx.xx/ifm electronics gmbh, Germany, Essen, 28.07.2006.

*V. A. KUSYAK*

### **FREQUENCY INFLUENCE RESEARCH OF THE PWM-SIGNAL ON THE CONTROL RANGE OF PNEUMATIC ACTUATOR OF A DRY FRICTION CLUTCH**

#### **Summary**

To ensure quality clutch engagement in automatic mode during starting and maneuvering the control range of clutch actuator has to be maximum wide. It depends on the consistency of the actuator geometric parameters, solenoid valve characteristic, controller output stage and PWM frequency. In addition to electronic control the driver must be able to manually operate the clutch in emergency. That's why clutch must have two independent control circuits. The objective of this study was to develop clutch automated drive with a duplicate circuit and research the influence of the PWM frequency to the control range of pneumatically actuated friction clutch.