

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ШИМ-СИГНАЛА НА ДИАПАЗОН УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ ТОПЛИВОПОДАЧИ ДВС

В.А. Кусяк

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

Согласно статистическим данным, в странах СНГ доля грузовых автомобилей и автобусов, оснащенных дизельными двигателями стандарта Euro-2, составляет 62 % от общего парка. Такие двигатели устанавливаются на некоторые модели автомобилей производства ОАО «Минский автомобильный завод» [1] и пользуются спросом в силу целого ряда преимуществ, связанных с соотношением цены – качества, ремонтпригодностью и простотой обслуживания.

Однако использование двигателей с механической топливоподачей в мехатронных системах управления силовым агрегатом ограничено наличием механической связи между педалью и рычагом регулятора топливного насоса высокого давления (ТНВД). Комплексные алгоритмы трогания с места, маневрирования и переключения передач для автоматического режима предусматривают управление исполнительными механизмами ДВС, сцепления и коробки передач без участия водителя. В частности, при реализации этих алгоритмов ЭБУ необходимо регулировать обороты двигателя независимо от воздействия водителя на педаль акселератора.

Специалисты кафедры «Автомобили» БНТУ разработали и создали пневматический привод регулятора ТНВД дизельного двигателя с механической топливоподачей. Привод имеет электронное управление и легко интегрируется в мехатронную систему управления силовым агрегатом автомобиля (рис. 1).

Основными элементами привода являются пропорциональный электромагнитный клапан 4 серии VER 3121-1 и силовой пневматический цилиндр 7 одностороннего действия, установленный на корпусе ТНВД. Шток пневмоцилиндра С85N20-40S

шарнирно соединен с рычагом регулятора ТНВД. В качестве органа управления топливоподачей используется педаль 21 с бесконтактным датчиком 19 положения. Механическая связь между педалью и рычагом регулятора отсутствует. Процесс изменения топливоподачи полностью автоматизирован. Управление пропорциональным электромагнитным клапаном 4 осуществляется ЭБУ 1 на основе широтно-импульсной модуляции. Сигнал от датчика 6 перемещения используется в качестве обратной связи на электронный блок управления.

Рабочие характеристики пневматического пропорционального клапана SMC VER 3121-1 [2] представлены на рис. 2.

Как видно из рабочей характеристики «ток – давление» (рис. 2), максимальный ток управления пропорциональным электромагнитным клапаном составляет 0,95 А, что соответствует техническим характеристикам используемого контроллера esomat R360 серии CR2500 (ifm electronic, Германия) [3, с. 56]. Максимальное регулируемое давление на выходе электромагнитного клапана (ЭМК) составляет 0,65 МПа, что также соответствует рабочему давлению в пневматической системе большегрузных автомобилей и автопоездов.

Таким образом, пропорциональный ЭМК VER3121-1 в рабочем диапазоне управляющих токов при диаметре поршня пневматического цилиндра 20 мм и номинальном давлении в пневмосистеме 0,65 МПа обеспечивает качественное управление рычагом регулятора ТНВД на всех нагрузочных режимах двигателя.

При отладке электронной системы особое внимание уделялось оценке диапазона регулирования ШИМ-сигнала, подаваемого на обмотки

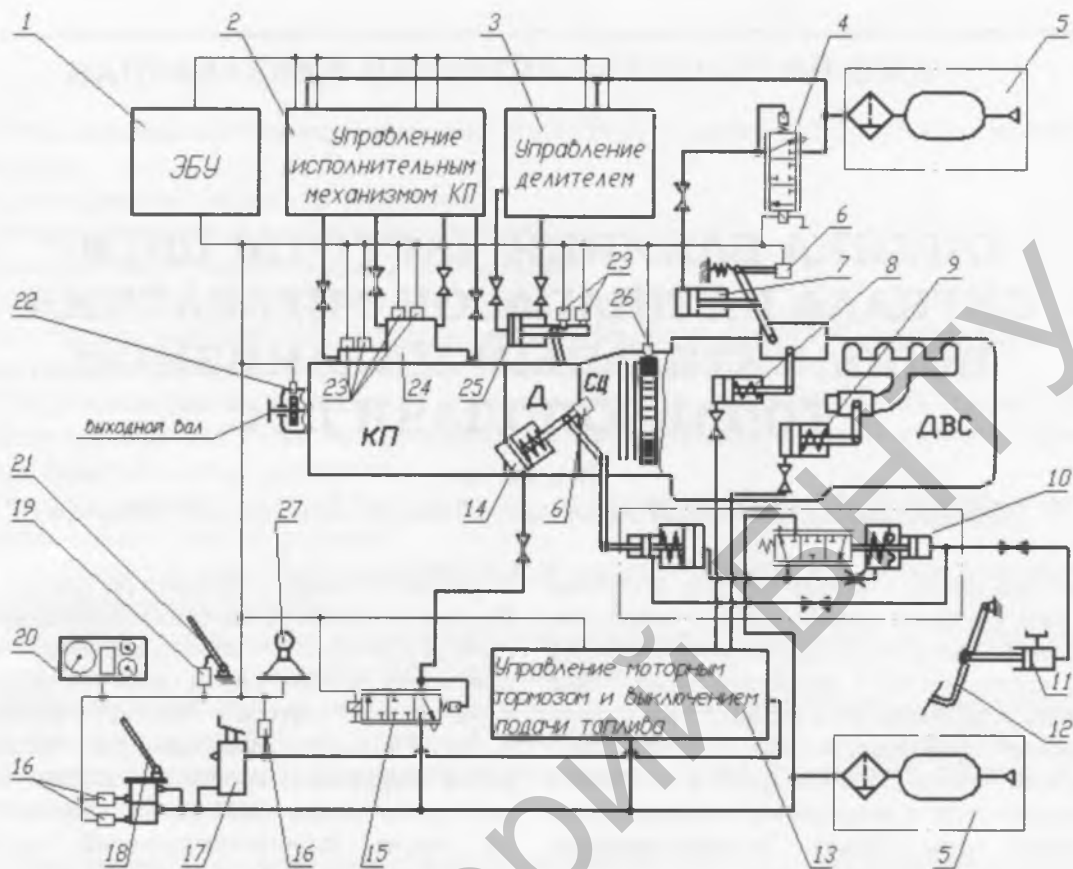


Рис. 1. Принципиальная схема мехатронной системы управления силовым агрегатом:

- 1 — электронный блок; 2, 3, 13 — блок ЭМК; 4, 15 — пропорциональные ЭМК; 5 — питающая часть пневмопривода; 6, 19 — датчики перемещения; 7, 8, 9, 14, 24, 25 — исполнительные механизмы; 10, 11, 12 — гидропривод сцепления; 16 — датчики давления; 17 — кран моторного тормоза; 18 — тормозной кран; 20 — панель приборов; 21 — педаль акселератора; 22, 26 — датчики частоты вращения; 23 — концевые выключатели; 27 — селектор режимов

пропорционального электромагнитного клапана. Данная величина с одной стороны характеризует оптимальность характеристик выбранных аппаратных средств и рассчитанных геометрических параметров силовой части привода. С другой стороны, от ее величины напрямую зависит качество управления и точность регулирования.

Среди целого ряда факторов, оказывающих влияние на ширину диапазона регулирования, а это скорость перемещения педали акселератора, напряжение аккумуляторных батарей, согласованность геометрических параметров исполнительного механизма и характеристик электронных компонентов привода, наибольший эффект вызывает изменение частоты управляющего сигнала.

Для исследования влияния частоты ШИМ-сигнала на диапазон регулирования было 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, управляющего исполнительным механизмом двигателя. В качестве обратной связи использовалось положение рычага регулятора ТНВД, фиксируемое потенциометрическим датчиком угловых перемещений МУ-615А.

На испытательном стенде [4] была проведена серия экспериментов с записью процесса перемещения рычага регулятора ТНВД в зависимости от величины ШИМ-сигнала при частотах от 150 до 250 Гц. Графическое представление результатов полунатурного эксперимента производилось с помощью средств визуализации CoDeSys V2.3 [5, с. 6–65]. Осциллограмма процесса перемещения рычага регулятора ТНВД при частоте управляющего сигнала 200 Гц приведена на рис. 3.

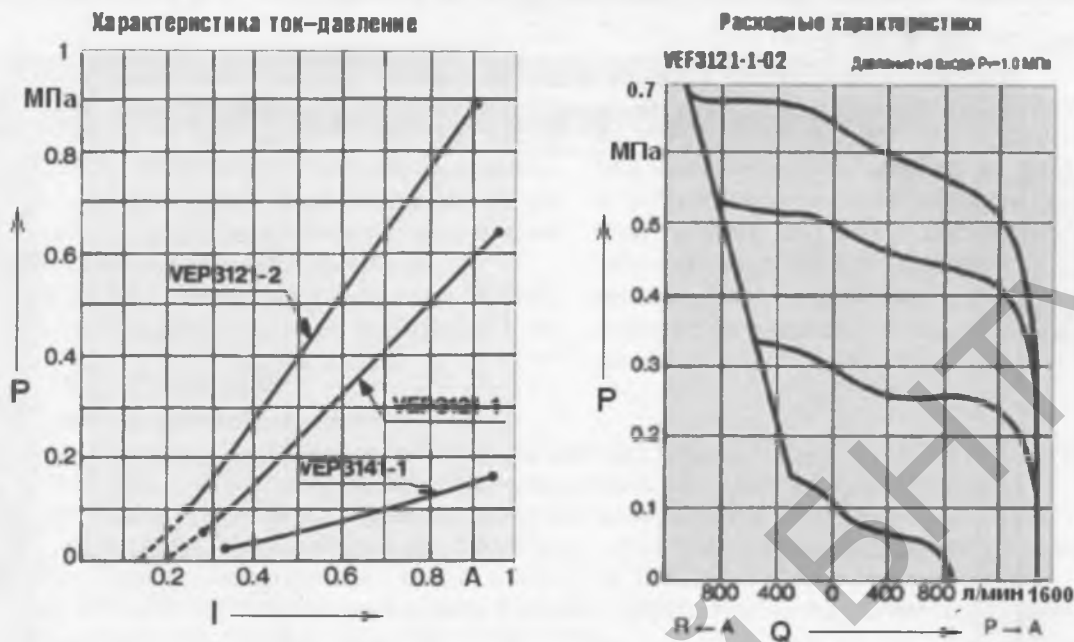


Рис. 2. Рабочие характеристики пропорциональных ЭМК серии VEP

Как показали результаты экспериментов, диапазон ШИМ-сигнала при частоте 150 Гц оказался наибольшим и составил 57,9 %. С повышением частоты наблюдается устойчивая тенденция к сужению диапазона регулирования. Так уже при 200 Гц диапазон регулирования уменьшился на 11,9 % и составил 49,1 % ШИМ. При частоте 250 Гц диапазон уменьшился на 18,5 % и составил 39,5 % ШИМ. Однако при низких частотах наблюдается повышенные потери энергии, что выражается в нагреве обмоток ЭМК. При высоких частотах характерна периодически неустойчивая работа, выражающаяся в существенном приращении величины перемещения рычага при незначительном (50-ибитном) изменении ШИМ-сигнала.

Вышеописанная зависимость изменения диапазона регулирования от частоты ШИМ-сигнала проиллюстрирована на рис. 4. Гистерезис исполнительного механизма двигателя при частоте 200 Гц представлен на рис. 5.

Исследования характеристик исполнительного механизма при вариации частоты широтно-импульсной модуляции показали, что величина изменения тока выходного каскада ЭБУ (силовой фактор), подаваемого на обмотку пропорционального электромагнитного клапана управления топливоподачей, остается постоянной и не зависит от частоты управляющего сигнала, а, следовательно, и от диапазона регулирования. Для отрыва рычага регулятора ТНВД из крайнего поло-

жения, соответствующего минимально устойчивой частоте вращения коленвала двигателя, необходим ток на обмотке ПЭМК равный  $I_{\text{ндр}} = 0,31 \text{ А}$ . При упоре рычага регулятора в винт ограничения максимальных оборотов двигателя ток, протекающий через пропорциональный электромагнитный клапан, составляет  $I_{\text{кон}} = 0,74 \text{ А}$  (верхняя граница токового диапазона).

Таким образом, независимо от частоты управляющего сигнала, ток выходного каскада ЭБУ (силовой фактор) варьируется от 0,31.. до 0,74 А (рис. 3), т.е. рабочий диапазон по току составляет 0,43 А. Исходя из рабочей характеристики электромагнитного клапана SMC VEP3121-1 и с учетом зоны его устойчивой работы (рис. 2), это составляет 66,15 %, что является достаточным для качественного управления процессом топливоподачи.

#### Выводы

Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность спроектированной мехатронной системы управления дизельным двигателем с механической топливоподачей. При этом

- диапазон регулирования по току составил 66,15 % (от 0,31...0,74 А);
- диаметр силового цилиндра — 20 мм;
- диаметр трубопровода от ПЭМК к силовому цилиндру — 6 мм;
- диаметр трубопровода от ресивера до ПЭМК — 10 мм;
- давление воздуха в контуре — 0,65 мПа.

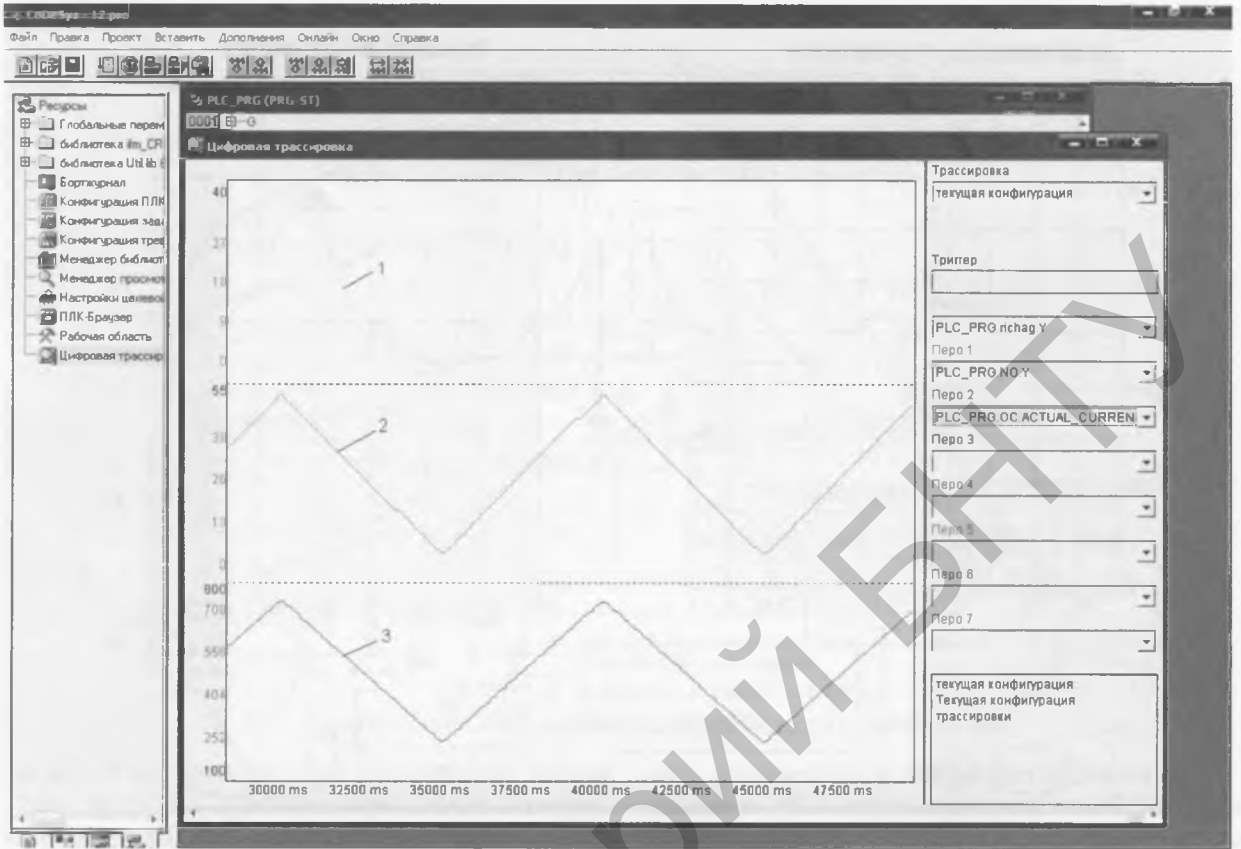


Рис. 3. Осциллограмма процесса управления рычагом ТНВД при частоте 200 Гц:  
 1 — перемещение рычага регулятора ТНВД, град; 2 — величина ШИМ-сигнала, %;  
 3 — ток в обмотках ПЭМК ДВС, мА

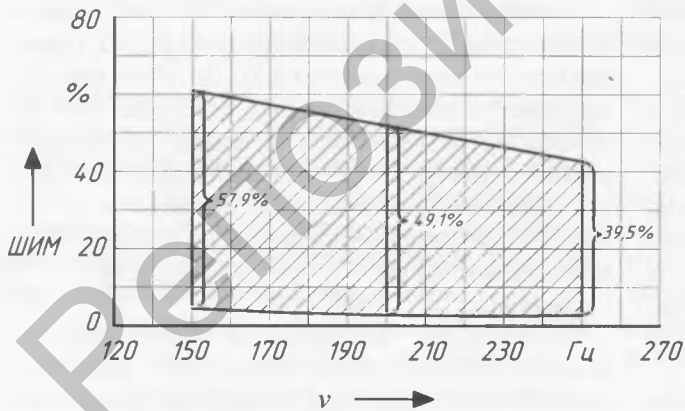


Рис. 4. Зависимость диапазона регулирования от частоты ШИМ-сигнала

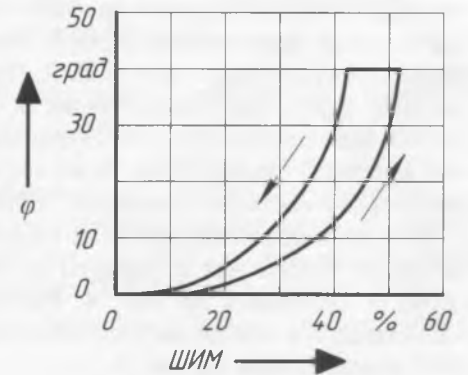


Рис. 5. Рабочая характеристика исполнительного механизма двигателя:  
 φ — угол поворота рычага регулятора ТНВД, град

Исследовано влияние частоты ШИМ-сигнала на диапазон регулирования. С уменьшением частоты диапазон расширяется: изменение частоты на 50 Гц приводит к изменению диапазона регулирования ШИМ-сигнала приблизительно на 8,5..10 %. Зависимость нелинейная, индивидуальна для конкретной системы, однако общая тенденция соблюдается для мехатронных систем с различными аппаратными ресурсами.

Определена оптимальная частота ШИМ-сигнала для спроектированной мехатронной системы и диапазон его регулирования:

- частота сигнала — 200 Гц;
- диапазон регулирования – 49,1%;
- диапазон регулирования по току – 0,43 А.

Исследование характеристики исполнительного механизма показало, что с целью увеличения быстродействия системы на фазе перехода от режима максимальной топливоподачи на режим средних нагрузок в алгоритм управления целесообразно ввести фрагмент компенсации гистерезиса исполнительного механизма, что положительно скажется на качестве управления в целом.

#### *Список использованных источников*

1. Каталог автотехники МАЗ // Минский автомобильный завод [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://www.maz.by/upload/public%20html/files/catalogs/shassi.pdf>. – Дата доступа: 29.01.2013.
2. SMC Corporation — пневматика, гидравлика, вакуумная техника, контроллеры / Устройства для регулирования давления и расхода [Electronic resource] / © SMC Corp., 2006. – Mode of access: <http://www.smc-pneumatic.ru/seach.php?logic=org.seach=smc&tp>. – Date of access: 31.06.2012.
3. 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. – 396 p.
4. Интеллектуальная система управления стенда автоматизированного силового агрегата автомобиля / О.С. Руктешель [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2009. – № 4. – С. 31–36.
5. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys V2.3. – ПК «Пролог», Copyright: 3S - Smart Software Solutions GmbH, 2008. – 452 с.