

УДК 621.436

А.А. Лисовал, С.В. Кострица

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СВЯЗИ ЭЛЕКТРОННОГО РЕГУЛЯТОРА ДИЗЕЛЯ

*В статье описаны методика и результаты расчётных исследований на математической модели электронного регулятора дизеля. Объект исследования – автомобильный дизель 4ЧН12/14 с двухрежимным регулятором. Вводили внешнее воздействие на каналы частоты вращения, измерения перемещений электронной педали и рейки ТНВД. Канал частоты вращения микропроцессорной САР требует 10-ти разрядного представления данных.*

### Введение

На колёсных транспортных средствах и их силовых установках на основе дизелей широко распространены электронные компоненты, и соответственно, системы автоматического регулирования (САР) и управления (САУ). Среди дизельных САР и САУ обязательно присутствует система автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала (САРЧ).

Настройку и тестирование электронных САРЧ дизеля на устойчивость производят предварительно в «ручном» режиме от специального программатора или компьютера с установленным на нём специализированным программным обеспечением. Обычно, программное обеспечение для операций настройки позволяет формировать для тестирования эталонные сигналы двух видов: треугольные и прямоугольные.

### Постановка задачи

В публикациях [1-4] были описаны методика создания двухрежимной электронной САРЧ, результаты разработки математической модели САРЧ дизеля и на его основе программного обеспечения для автомобильного дизеля 4ЧН12/14. Особенностью работ по созданию микропроцессорной САРЧ для автомобильного дизеля 4ЧН12/14 является идентичность программного обеспечения для реального микропроцессорного блока управления и математической модели этого блока, реализованной в системе Matlab/Simulink [2]. Для расчёта цикловой подачи в блок управления программно были введены три корректирующие кривые между верхней (внешняя скоростная характеристика) и нижней (холостой ход) граничными кривыми. Настройкой наклона корректирующих кривых был устранен известный недостаток многоплунжерных ТНВД с дозированием подачи топлива отсечкой в ходе нагнетания, а именно – падение цикловой подачи при уменьшении частоты вращения коленчатого вала дизеля [3].

В экспериментальном двухрежимном регуляторе для автомобильного дизеля 4ЧН12/14 обяза-

тельными являются входные сигналы (контуры) от индукционного датчика частоты вращения коленчатого вала и датчика положения электронной педали, а выходным – сигнал в контур управления исполнительным электро-механическим сервоприводом, кинематически связанный с рейкой ТНВД и оборудованный автономным пропорционально-интегральным регулятором. Входные и выходные сигналы в реальных условиях эксплуатации подвергаются внешним частотным воздействиям от вибраций, упругих реакций вязкого трения, а их информационно-измерительные каналы – от электронных помех различной природы.

**Цель** настоящей работы – исследование влияния частотных внешних воздействий на стабильность работы информационно-измерительных каналов микропроцессорного блока управления и на устойчивость САРЧ дизеля в целом.

### Методика и результаты исследования

В расчётных исследованиях на разработанной математической модели внешние возмущения в виде прямоугольных сигналов поочерёдно через сумматор накладывали на основные сигналы каналов: частоты вращения (NDv), положения электронной педали (FIR), положения рейки ТНВД (Hn). На рис. 1 показано моделирование наложения внешних возмущений на входной сигнал FIR – положения электронной педали, которое приводило на математической модели высшего структурного уровня «дизель - нагрузка». На рис. 1 обозначены блочные программы: «дизель» (DVZ), «нагрузка» (Nagruzka), блок Hnag датчика нагрузки на моторном стенде.

На рис. 2 показано наложение внешних прямоугольных сигналов на входной канал NDv частоты вращения дизеля и выходной канал Hn управления положением рейки ТНВД в математической модели электронного регулятора, которая является подпрограммой модели «дизель» (DVZ) низшего структурного уровня.

На рис. 2 обозначено блоки: El\_Reg – описывает работу исполнительного электромеханическо-

го сервопривода;  $U_e-H_n$  – описывает пересчёт сигнала управления в перемещение рейки ТНВД;  $P_k1$

– вводит значение давления наддува в дизеле.

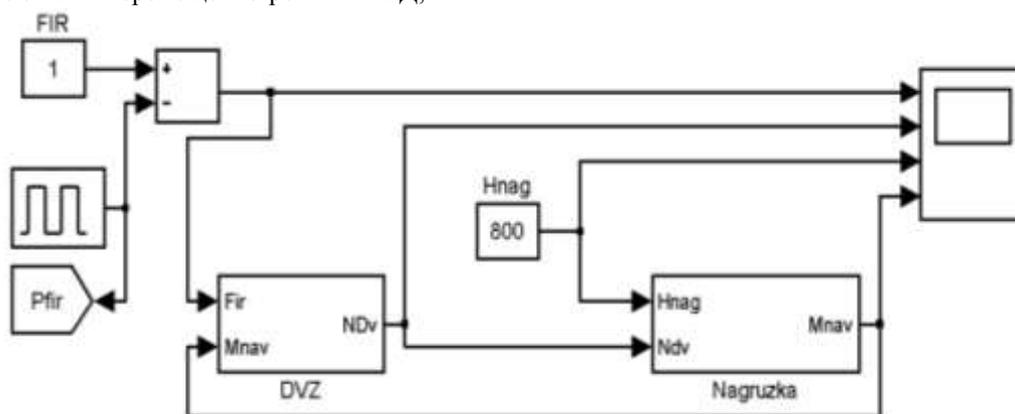


Рис. 1. Математическая модель высшего структурного уровня «дизель - нагрузка»

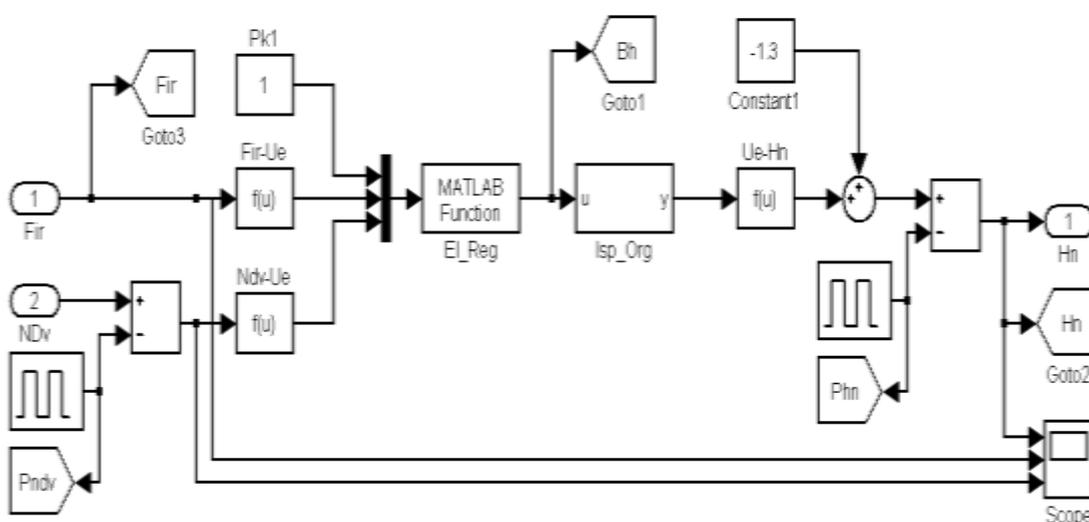


Рис. 2. Математическая модель электронного регулятора с наложением внешних возмущений

Точность измерения входных сигналов зависит от точности примененных датчиков, от уровня электронных шумов в измерительно-информационном канале, от разрядности аналого-цифрового преобразователя (АЦП) выбранного микроконтроллера и разрядности представления данных в нём.

Точность перемещения рейки ТНВД зависит от разрядности выходного широтно-импульсного модулятора, точности позиционирования исполнительного электромеханического сервопривода, механических люфтов и вибраций в соединении с рейкой ТНВД.

В автомобильных блоках управления используют 8-ми и 10-ти разрядные АЦП, что обеспечивает 256 и 1024 точек отсчёта соответственно. В процентах – это 0,4 % и 0,1 % точности от диапазона измерений. Большинство автомобильных датчи-

ков имеют точность не больше 1 % от диапазона своего измерения.

Для расчётных исследований были выбраны внешние возмущения в виде прямоугольных сигналов с частотой 1 Гц и амплитудой 0,1 %, 0,4 %, 1 % и 5 % от диапазона измерения величин. Диапазон измерения величин составил для каналов: положения электронной педали –  $FIR = 0...1$ ; частоты вращения –  $NDv = 0...3000 \text{ мин}^{-1}$ ; перемещения рейки ТНВД –  $H_n = 0...10 \text{ мм}$ .

Расчёты проводили на динамической модели с выходом после наброса нагрузки на частоты вращения дизеля 1000, 1500 и 2000  $\text{мин}^{-1}$ . Оценивали качество переходного процесса при набросе 100 % нагрузки и устойчивость работы САРЧ дизеля. Пример расчёта при воздействии внешних возмущений с амплитудами 5 %, 1 %, 0,4 % и 0,1% (от диапазона измерения) на канал  $NDv$  – частоты

вращения коленчатого вала дизеля показан на рис.3.

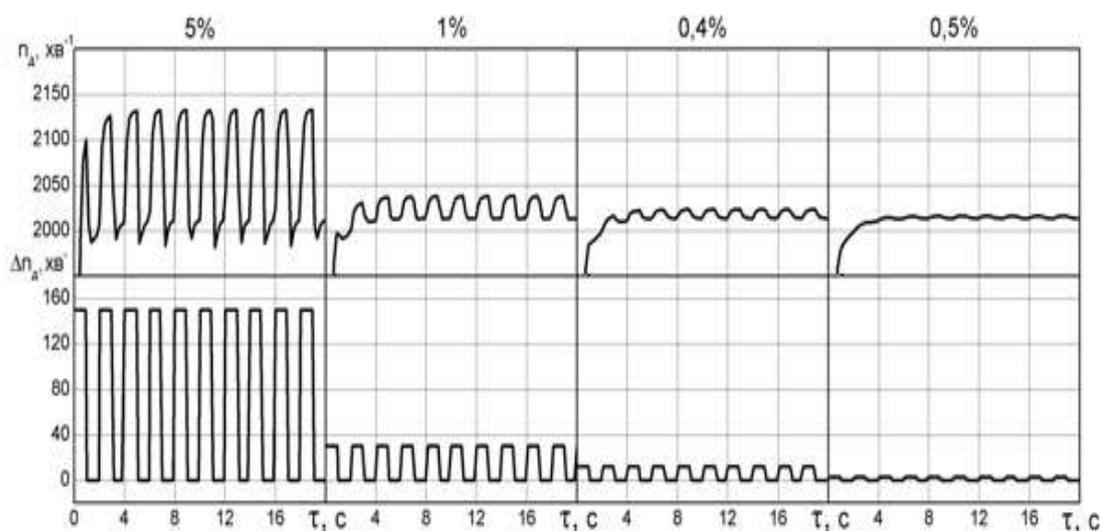


Рис. 3. Внешнее воздействие на канал измерения частоты вращения дизеля 4ЧН12/14 на номинальном режиме

#### Заключение

Наиболее чувствительным к внешним возмущениям в микропроцессорной САРЧ дизеля является входной канал частоты вращения коленчатого вала. Расчёты показали, что при одинаковых внешних прямоугольных возмущениях этот канал имеет в 5...6 раз большую чувствительность к внешним воздействиям, чем каналы электронной педали и управления рейкой ТНВД.

Исходя из этого, рекомендуется для повышения устойчивости и качества работы САРЧ дизеля в канале частоты вращения микроконтроллера, использовать представление данных не ниже 10-ти разрядного формата.

#### Список литературы:

1. Лисовал А.А. Методика и результаты испытания микропроцессорного регулятора с программно-измерительным комплексом в его составе / А.А. Лисовал // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – №1. – С.15–19. 2. Лисовал А.А. Подготовка математической модели электронного регулятора к расчётным исследо-

ваниям / А.А. Лисовал // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №1. – С.98–103. 3. Лисовал А.А. Микропроцессорный регулятор дизеля и расчёт цикловой подачи топлива / А.А. Лисовал, С.В. Кострица, А.В. Вербовский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №2. – С.63–67. 4. Лисовал А.А. Проверка адекватности математической модели системы автоматического регулирования дизеля / А.А. Лисовал, А.В. Вербовский, С.В. Кострица // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – №2. – С.64–69

#### Bibliography (transliterated):

1. Lisoval A.A. Metodika i rezultaty ispytaniya mikroprotsessornogo reguljatora s programmno-izmeritelnyim kompleksom v ego sostave / A.A. Lisoval // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2007. – №1. – S.15–19. 2. Lisoval A.A. Podgotovka matematicheskoj modeli elektronnoho reguljatora k raschetnim issledovaniyam / A.A. Lisoval // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2008. – №1. – S.98–103. 3. Lisoval A.A. Mikroprotsessornyy reguljator dizelya i raschet tsiklovoj podachi topliva / A.A. Lisoval, S.V. Kostritsa, A.V. Verbovskiy // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2010. – №2. – S.63–67. 4. Lisoval A.A. Proverka adekvatnosti matematicheskoj modeli sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya dizelya / A.A. Lisoval, A.V. Verbovskiy, S.V. Kostritsa // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2011. – №2. – S.64–69.

Поступила в редакцию 12.06.2013

Лисовал Анатолий Анатольевич – доктор техн. наук, доцент, профессор кафедры двигателей и теплотехники Национального транспортного университета, Киев, Украина, e-mail: li-dvz@bigmir.net.

Кострица Сергей Валентинович – мл. научн. сотр. отдела переработки и транспорта природного газа Института газа НАН Украины, Киев, Украина, e-mail: kostricza@ukr.net

#### МОДЕЛЮВАННЯ ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ НА ЗВ'ЯЗКИ ЕЛЕКТРОННОГО РЕГУЛЯТОРА ДИЗЕЛЯ

А.А. Лисовал, С.В. Кострица

У статті описані методика і результати розрахункових досліджень на математичній моделі електронного регулятора дизеля. Об'єкт дослідження - автомобільний дизель 4ЧН12/14 з дворіжним регулятором. Вводили зовнішній вплив на канали частоти обертання, вимірювання переміщень електронної педалі і рейки ПНВД. Канал частоти обертання в мікропроцесорній САР вимагає 10-ти розрядного представлення даних.