

# АЛГОРИТМ ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ СТАНДАРТА EURO-2 Electronic control algorithm of EURO-2 diesel engine

Кусяк В.А., к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

**Аннотация.** В статье описан электронно-пневматический привод регулятора ТНВД дизельного двигателя КамАЗ-740 с механической топливоподачей и свободным впуском. Произведены расчет и согласование геометрических параметров силовой части привода с техническими характеристиками электронных компонентов. Представлена блок-схема адаптивного

алгоритма электронного управления дизельным двигателем стандарта Euro-2, обеспечивающего пропорциональность углов поворота «электронной» педали акселератора и рычага регулятора ТНВД, отработку аварийной функции по перегреву двигателя, недостаточности или избыточности давления масла в контуре системы смазки, а также реализующего процедуру про-

грева двигателя после запуска при пониженной температуре окружающего воздуха. Приведены результаты полунатурного эксперимента по апробации предложенного алгоритма с использованием средств визуализации CoDeSys V2.3.

**The summary.** The paper presents the electronic-pneumatic actuator of fuel injection pump of diesel engine KAMAZ-740 with a mechanical fuel supply and free admittance. Geometric parameters calculations of the power actuator and its coordination with the technical characteristics of electronic components of designed drive are made. An adaptive algorithm

block diagram of diesel engine Euro-2 electronic control is given in activity. The proposed algorithm ensures the proportionality of the "electronic" accelerator pedal rotation angles and fuel injection pump regulator lever, testing of emergency functions of the engine overheating, insufficient or excessive oil pressure in the lubrication system circuit, as well as implements a procedure of the engine warming up after starting at low ambient temperature. The results of semi-natural experiment on testing of the proposed algorithm are shown with the visualization possibilities of the CoDeSys V2.3.

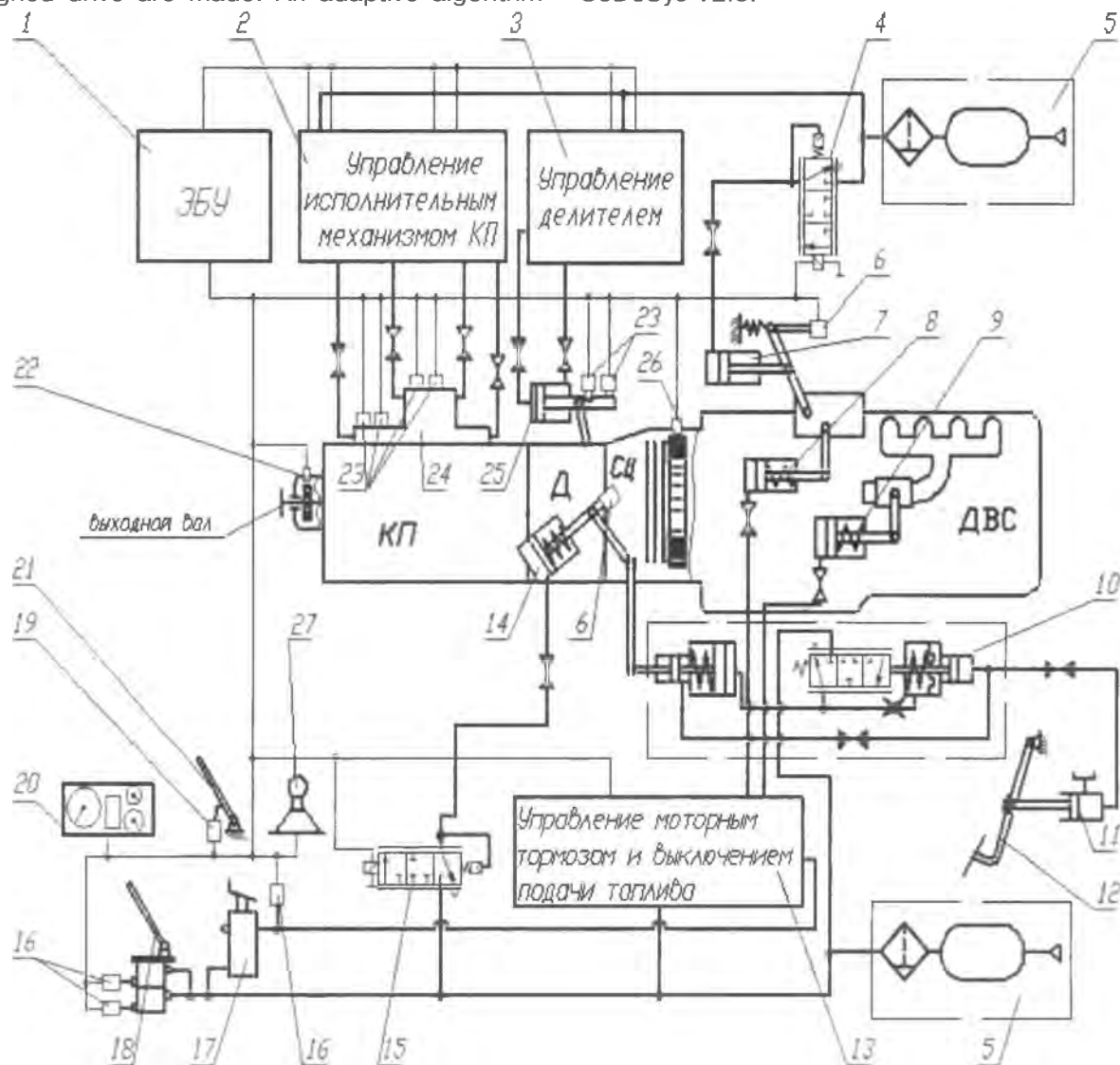


Рис.1. Принципиальная схема мехатронной системы силового агрегата

1 – электронный блок; 2, 3, 13 – блок электромагнитных клапанов (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

**Введение.** Для дизельных двигателей, отвечающих стандарту Euro-2, применяется механическая система топливоподачи. 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). Это не позволяет ЭБУ трансмиссией в процессе трогания, маневрирования и переключения передач регулировать обороты двигателя независимо от воздействия водителя на педаль «газа».

Для электронного управления дизельным ДВС с механической топливоподачей необходимо разорвать механическую связь между педалью и рычагом регулятора ТНВД. При этом в качестве органа управления необходимо использовать электронную педаль «газа» с датчиком ее углового положения. В этом случае потенциометрический датчик педали «газа», непрерывно регистрирующий изменение угла ее положения и передающий соответствующий сигнал в блок управления работой двигателя,

функционально эквивалентен отсутствующей механической связи.

**Основная часть.**

При разработке мехатронной системы управления топливоподачей дизельного двигателя рассматривались различные варианты исполнения автоматизированного привода топливного насоса высокого давления: электрический, гидравлический, пневматический. Предпочтение было отдано пневматическому приводу, в связи с наличием источника энергии на борту автомобиля (компрессора), простотой компоновки элементов привода, возможностью использования серийно выпускаемых промышленностью компонентов (пневмоцилиндров, клапанов и др.).

Разработанный специалистами БНТУ пневматический привод регулятора ТНВД дизельного двигателя КамАЗ-740 с механической топливоподачей и свободным впуском имеет электронное управление и легко интегрируется в мехатронную систему силового агрегата автомобиля (рис. 1). Основными элементами привода являются пропорциональный электромагнитный клапан (ЭМК) 4 и силовой пневматический цилиндр 8 одностороннего действия, установленный на корпусе ТНВД. Внешний вид вышеуказанных элементов привода изображен на рис. 2 и 3.

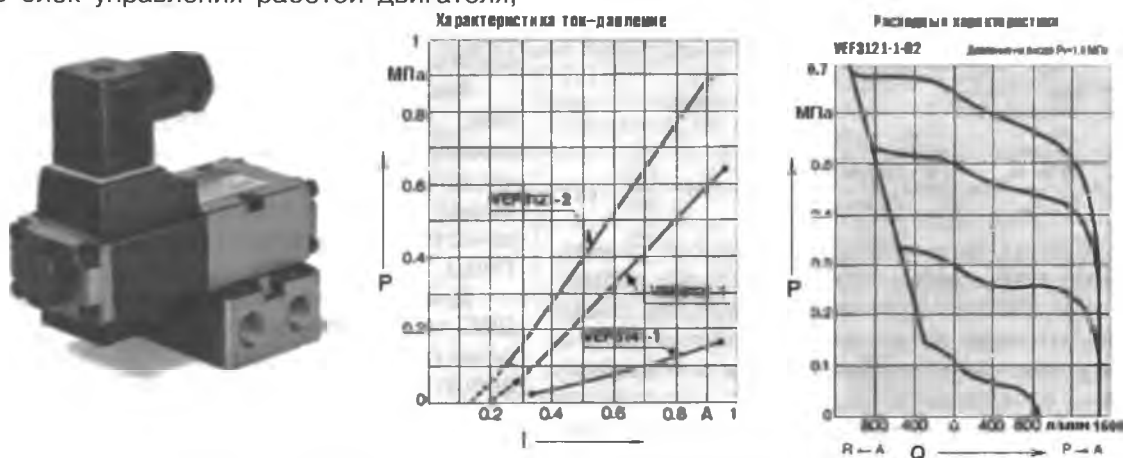


Рис. 2. Пропорциональный электромагнитный клапан SMC VEP3121-1 и его рабочие характеристики «ток-давление»  $P=f(I)$  и «давление-расход»  $P=f(Q)$



Рис. 3. Конструктивное исполнение пневмоцилиндра S85N20-40S: 1 – кронштейн крепления пневмоцилиндра; 2 – шток; 3 – маслоотражатель-

ное кольцо; 4 – гильза; 5 – поршень; 6 – бронзовая втулка шарнирной опоры; 7 – поршневое уплотнительное кольцо специального исполнения (с минимальным трением); 8 – герметичное завальцованное соединение гильзы и крышки

Шток пневмоцилиндра 6 (см. рис. 4) шарнирно соединен с рычагом 3 регулятора ТНВД. Геометрические параметры силового цилиндра привода рычага регулятора ТНВД должны обеспечивать устойчивую работы системы топливоподачи при давлении воздуха в пневмосистеме 0,65 ... 0,7 МПа и перекрывать угол поворота рычага регулятора по параметру хода штока цилиндра.

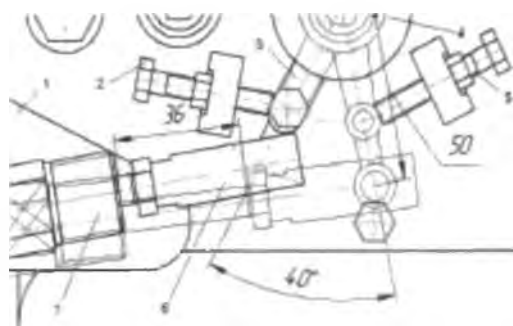


Рис. 4. Чертеж к определению хода штока силового цилиндра: 1 – кронштейн крепления пневмоцилиндра; 2, 5 – винты ограничения соответственно минимальных и максимальных оборотов двигателя с контргайками; 3 – рычаг регулятора ТНВД; 4 – датчик положения; 6 – наконечник штока поршня пневмоцилиндра с шарниром; 7 – силовой пневмоцилиндр

На заведенном двигателе с помощью динамометра была определена сила  $F_p$ , которую необходимо приложить к рычагу регулятора для его перемещения в крайнее правое положение, соответствующее максимальным оборотам двигателя. Она составляет  $F_p = 120$  Н.

Площадь  $S_n$  поршня силового цилиндра и его диаметр  $d_n$  были определены исходя из величины минимального давления в пневмосистеме (соответствует рабочему давлению пропорционального клапана при максимальной силе тока в катушке, см. рис. 2) и силы  $F_p$ , которую необходимо приложить к рычагу регулятора:

$$S_n = \frac{F_p}{P_{\min}} = \frac{120}{0,65} = 184,62 \text{ мм}^2 \quad (1)$$

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot S_n}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 184,62}{3,14}} = 15,34 \text{ мм} \quad (2)$$

Исходя из того, что угол поворота рычага регулятора составляет  $40^\circ$ , с помощью геометрических построений (см. рис. 4), было определено, что хода штока силового цилиндра  $h = 40$  мм достаточно, чтобы перекрыть этот диапазон.

Таким образом, выбранный силовой цилиндр C85N20-40S (см. рис.3) по своим техническим характеристикам (см. табл. 1) соответствует рассчитанным параметрам.

Пропорциональный электромагнитный клапан VER3121-1 (рис. 2), предназначен для непрерывного пропорционального управления давлением воздуха в рабочей полости силового цилиндра с помощью электрического сигнала. Управление пропорциональным клапаном осуществляется ЭБУ на основе широтно-импульсной модуляции. Устройство пропорционального электромагнитного клапана представлено на рис. 5, а его техническая характеристика приведена в работе [2].

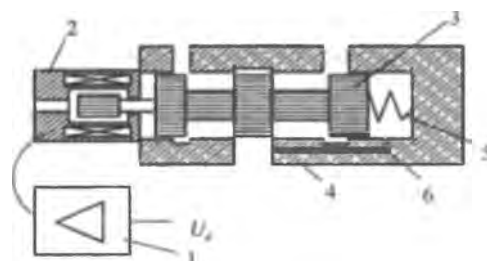


Рис. 5. Устройство ПЭМК давления SMC VER3121-1: 1 – управляющая цепь, 2 – пропорциональный электромагнит, 3 – золотник, 4 – корпус клапана, 5 – пружина, 6 – пневматическая цепь обратной связи.

Давление на выходе клапана регулируется изменением степени открытия золотника 3 (рис. 5) путем сопоставления силы  $F_1$ , создаваемой управляющим электромагнитом 2 и действующей на левый торец золотника, и суммарной силы  $F_2$  противодействующей пружины 5 и выходного давления, приложенных к правому торцу золотника.

Как видно из характеристики «ток-давление» (см. рис. 2), максимальный ток управления пропорциональным электромагнитным клапаном составляет 0,95А, что соответствует техническим характеристикам используемого контроллера esomat R360 серии CR2500 (ifm electronic, Германия) [3, с. 25]. Максимальное регулируемое давление на выходе клапана составляет 0,65 МПа, что также соответствует давлению в пневматической системе большегрузных автомобилей и автопоездов [4, с. 195].

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

Для электронного управления дизельным ДВС с механической топливоподачей необходимо разорвать механическую связь между педалью и рычагом регулятора ТНВД. При этом в качестве органа управления необходимо использовать электронную педаль «газа» с датчиком ее углового положения. В этом случае потенциометрический датчик педали «газа», непрерывно регистрирующий изменение угла ее положения и передающий соответствующий сигнал в блок управления работой двигателя, функционально эквивалентен отсутствующей механической связи.

Исходя из вышеизложенного, пульт управления стендом [5] был оснащен напольной педалью Global MT 7000 серии Mechatronic (см. рис. 6) с бесконтактным программируемым электронным датчиком положения vSENSE [6].



Рис. 6. Размещение электронной педали «газа» в педальном блоке: 1 – датчик углового положения; 2 – педаль акселератора; 3 – педаль тормоза

Напряжение питания электронного датчика положения VSENSE – 5 В. Для обеспечения требуемого уровня напряжения использовался стабилизатор L7805ABV TO220. Схема подключения стабилизатора к электронному блоку (напряжение питания 24 В) изображена на рис. 7.

В процессе испытаний педаль была протестирована. Максимальный угол перемещения педали составил 17°. Рабочая характеристика электронной педали «газа» представляет собой зависимость выходного напряжения U на сигнальных выводах датчика от углового положе-

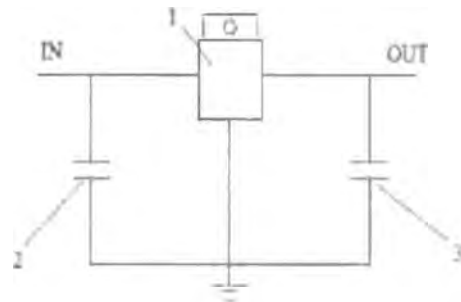


Рис. 7. Схема подключения стабилизатора напряжения: 1 – стабилизатор напряжения L7805ABV TO220, 2, 3 – конденсаторы емкостью соответственно 0,33 и 0,1 мкФ.

ния «пед. педали, т.е.  $U = f(\alpha_{пед.})$ .

Пересчет оцифрованных значений сигнала датчика положения педали в величину выходного напряжения осуществлялся программно в среде CoDeSys V2.3 посредством инициализации встроенного функционального блока INPUT\_VOLTAGE, возвращающего текущее входное напряжение в милливольты на используемом аналоговом канале контроллера [3, с. 11-37].

Значения выходного напряжения сигнала, в зависимости от угла поворота педали, по каждому из двух независимых аналоговых каналов представлены в таблице 1. Рабочая характеристика бесконтактного датчика электронной педали представлена на рис. 8.

Таблица 1. Значения выходного напряжения электронной педали

Способ измерения	№ канала бесконтактного датчика	Начальное значение напряжения, мВ	Конечное значение напряжения, мВ	Значение напряжения в режиме kick-down, мВ
С помощью цифрового мультиметра	1	350	2100	2310
	2	700	4200	4620
Программно в среде CoDeSys V2.3	1	322	2053...2063	2239
	2	625...635	4146...4156	4518...4528

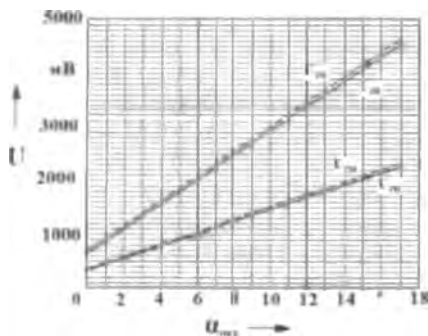


Рис. 8. Рабочая характеристика электронного датчика VSENSE:  $U_m$ ,  $U_p$  – значения напряжения полученные соответственно с помощью цифрового мультиметра и программно в среде CoDeSys V2.3; 1, 2 – номер аналогового канала.

Как видно из приведенной на рис. 8 рабочей характеристики, датчик генерирует два независимых сигнала, причем имеющийся второй потенциометр выдает на всех рабочих ре-

жимах половину напряжения первого. Один из аналоговых выходов сенсора может быть использован в качестве резервного контура при возможной неисправности основного канала с сохранением полной работоспособности системы. Кроме того, благодаря наличию двух каналов, упрощается диагностика и выявление неисправностей.

Выбранная педаль Global MT 7000 серии Mechatronic полностью соответствует техническим требованиям, предъявляемым к мехатронным системам, и обладает следующими преимуществами по сравнению с другими аналогами:

- увеличенным сроком службы ввиду наличия бесконтактной группы в модуле датчика;

- высокой точностью измерения углового положения ввиду использования технологий на базе эффекта Холла;

- высокой степенью надежности ввиду нали-

чия двух независимых аналоговых каналов; повышенной степенью защиты (уровень IP67) при работе в динамических и статических условиях.

Для установившегося движения на определенной передаче ЭБУ необходимо задавать управляющее воздействие на исполнительный механизм топливоподачи таким образом, чтобы обеспечивалась пропорциональность углов поворота педали «газа» и рычага регулятора ТНВД.

Пропорциональность между углом поворота педали и перемещением штока 6 силового цилиндра 7, шарнирно соединенного с рычагом 3 регулятора ТНВД (см. рис. 4), обеспечивается контроллером 1 (см. рис.1) при подаче широтно-импульсного сигнала на пропорциональный ЭМК 4.

Для настройки пропорционального управления и определения зоны регулирования управляющего сигнала необходимо иметь обратную связь по перемещению рычага регулятора. В качестве обратной связи использовался сигнал потенциометрического датчика МУ-615-А угловых перемещений (см. рис. 9), подвижный элемент которого жестко соединен с осью рычага регулятора ТНВД. Перемещение подвижных механических контактов датчика вдоль переменного резистора изменяет его сопротивление пропорционально положению контактов, что индицируется на выходе пропорциональным аналоговым сигналом постоянного напряжения [7, с.59]. Датчик угловых перемещений подключается к источнику стабилизированного постоянного напряжения 5 В.



**Рис. 9. Потенциометрический датчик угловых перемещений МУ-615А**

Угол перемещения рычага регулятора составляет 40°. Диапазон углового перемещения движка потенциометра датчика МУ-615-А составляет 60°, что перекрывает диапазон углового перемещения рычага регулятора ТНВД, обеспечивая определение его положения на всех нагрузочных режимах двигателя.

Размещение вышеописанных пропорционального электромагнитного клапана давления SMC VER3121-1, пневматического силового цилиндра С85N20-40S и потенциометрического датчика МУ-615А перемещения рычага регулятора на дизельном двигателе КамАЗ 740 проиллюстрировано на рис. 10.

В процессе трогания с места, маневриро-

вания и переключения передач управление топливоподачей двигателя осуществлялось контроллером независимо от положения педали «газа», задаваемого оператором. На этих режимах, в качестве обратной связи на электронный блок управления, использовалось значение угловой скорости коленвала двигателя, определяемое датчиком частоты вращения, установленным напротив зубчатого венца маховика ДВС (см. рис. 11).



**Рис. 10. Размещение пневмоцилиндра, ПЭМК и датчика МУ-615А на двигателе: 1 – пропорциональный ЭМК VER3121; 2 – пневмоцилиндр выключения подачи топлива; 3 – датчик МУ-615А перемещения рычага регулятора ТНВД; 4 – силовой пневмоцилиндр**



**Рис. 11. Размещение датчика частоты вращения коленвала двигателя: 1 – рычаг выключения сцепления (гидравлический привод); 2 – пневмогидроусилитель (ПГУ) сцепления; 3 – датчик частоты вращения коленвала ДВС; 4 – шток ПГУ**

Из трех возможных типов частотных датчиков, используемых в современной измерительной технике [8, с. 458], был выбран датчик частоты вращения 1GQ8001 (рис. 12) производства Honeywell Sensing and Control, работающий на основе эффекта Холла. Датчики Холла в настоящее время являются наиболее предпочтительными для использования в электронных автомобильных системах, поскольку являются устойчивыми к механической вибрации и электромагнитным помехам.

Кроме того эффект Холла принципиально не зависит от частоты изменения магнитного поля [9], что позволяет измерять малые угловые скорости, близкие к нулевым. Данное обстоятельство особенно важно при отработке алгоритма трогания с места и маневрирования в автома-

тическом режиме работы силового агрегата.

В качестве кодовых элементов ферромагнитного ротора использовался зубчатый венец маховика коленвала, имеющий 113 прямоочных зубьев. Угловая скорость ротора (маховика коленчатого вала) определяется по возмущениям в поле постоянного магнита, который размещается внутри корпуса бесконтактного датчика.

Для упрощения монтажа датчик частоты вращения был помещен в специально изготовленный латунный корпус 1 (см. рис. 12) и подключен к блоку управления посредством кабеля ifm E10954.



Рис. 12. Внешний вид датчика частоты вращения 1GQ8001: 1 – латунный корпус с резьбовым наконечником; 2 – разъем кабеля ifm E10954

Помимо вышеперечисленного дополнительного оборудования на двигателе КамАЗ-740 имеются штатные датчики давления и температуры. Для контроля температуры охлаждающей жидкости использовался датчик TM100 с отрицательным температурным терморезистором [10, с. 41, рис. 3.10]. Конструктивное исполнение датчика и его рабочая характеристика представлены на рис. 13.

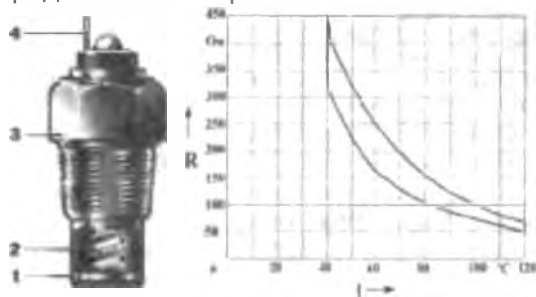


Рис. 13. Конструкция датчика TM100 и его рабочая характеристика: 1 – полупроводниковый резистор, 2 – токоведущая пружина, 3 – корпус, 4 – вывод

Датчик TM111 аварийного перегрева левого блока цилиндров реагирует только на пороговое значение физической величины, в данном случае температуры охлаждающей жидкости двигателя. При достижении максимальной допустимой температуры биметаллическая пластина 3 (см. рис. 14) изгибается настолько, что происходит замыкание контактной группы 4-6. При этом сигнал, поступающий в электронный блок управления двигателем, меняет свое значение на противоположное, активируя световую индикацию и звуковую сигнализацию (зуммер). При снижении температуры прогиб

биметаллической пластины 3 (см. рис. 3.19) уменьшается, контакты 4 и 6 размыкаются и сигнал, поступающий в ЭБУ, меняет свое значение на исходное.

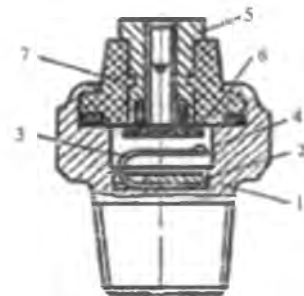


Рис. 14. Датчик перегрева охлаждающей жидкости модели TM111: 1 – корпус, 2 – прижимная шайба, 3 – термобиметаллическая пластина, 4 – контакт, 5 – выводной зажим, 6 – тарельчатый контакт, 7 – изолятор.

Датчик давления масла в системе смазки двигателя – штатный, модели MM-370, мембранного типа. Работа датчика основана на изменении сопротивления в цепи при перемещении ползунок 8 реостата за счет деформации гофрированной металлической мембраны 5 (рис. 15).

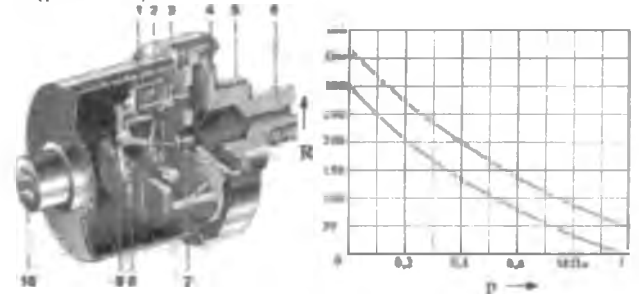


Рис. 15. Датчик давления масла MM-370 и его рабочая характеристика: 1 – пружина; 2 – ось ползуна; 3 – передаточный рычажок; 4 – основание со штуцером; 5 – мембрана; 6 – проволоочный стержень; 7 – толкатель; 8 – ползунок реостата, 9 – реостат; 10 – штекер датчика

Вышеописанные датчики заведены на стрелочные указатели давления и температуры на щитке приборов, а также подсоединены к электронному блоку управления двигателем. Распределение датчиков и электромагнитных клапанов управления исполнительными механизмами двигателя КамАЗ, включая моторный тормоз, по портам смарт-контроллера esomat R360 серии CR2500 (ifm electronic, Германия) представлено в работе [11, с. 43, табл. 1]

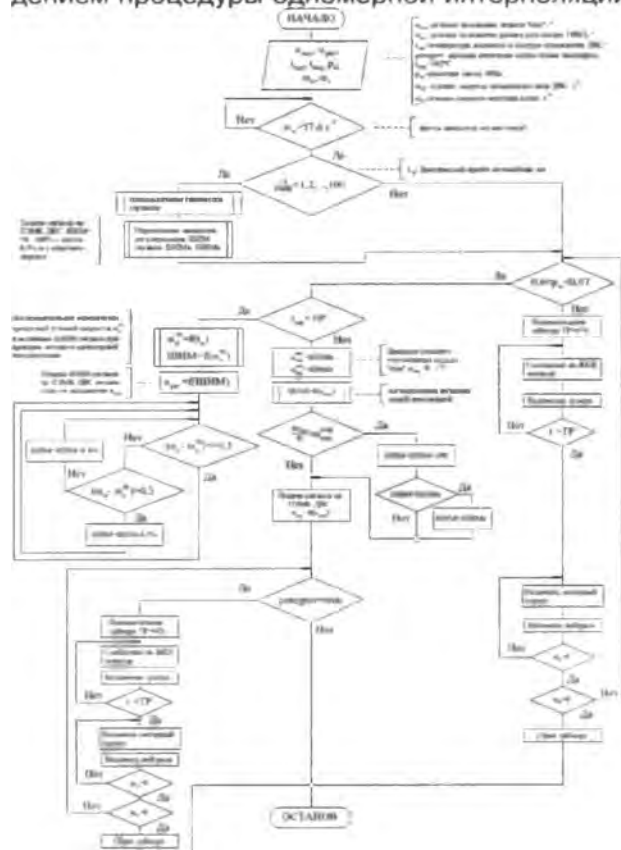
Как уже упоминалось выше, в процессе трогания с места, маневрирования и переключения передач управление топливоподачей дизельного двигателя осуществляется контроллером независимо от положения педали акселератора, задаваемого водителем. На этих режимах в качестве обратной связи на электронный блок 1 (см. рис. 1) управления используется значение угловой скорости коленвала двигателя,



определяемое датчиком 26 частоты вращения.

На режимах разгона и установившегося движения ЭБУ задает управляющее воздействие на исполнительный механизм 4 топливopодачи, обеспечивая пропорциональность углов поворота педали 21 акселератора и рычага регулятора ТНВД.

В основу алгоритма управления топливopодачей (см. рис.16) положены нормирующие и масштабирующие преобразования сигнала от датчика 19 (см. рис.1) углового положения педали 21 «акселератора» с последующим проведением процедуры одномерной интерполяции.



**Рис.16. Адаптивный алгоритм управления дизельным двигателем**

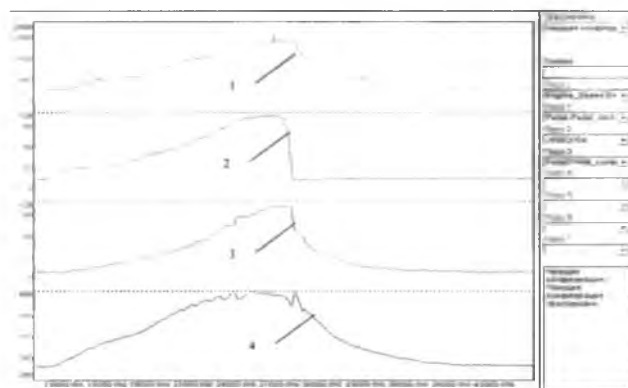
Полученное значение используется микропроцессором в качестве входной величины в функциональный блок PWM [3, раздел 9, с. 7]. В результате выполнения подпрограммы выходной каскад контроллера генерирует ШИМ-сигнал определенной скважности, тем самым обеспечивая пропорциональность углов поворота педали 21 (см. рис.1) «акселератора» и рычага регулятора ТНВД.

Разработанный алгоритм включает отработку аварийной функции по перегреву двигателя, недостаточности или избыточности давления масла в контуре системы смазки, а также процедуру прогрева двигателя после запуска при пониженной температуре окружающего воздуха.

Предложенная мехатронная система управ-

ления топливopодачей дизельного двигателя относится к классу адаптивных, поскольку каждые 10000 км пробега происходит автоматическое «подстраивание» величины ШИМ-сигнала при обнаружении изменений в характеристиках топливной аппаратуры двигателя или пропорционального электромагнитного клапана управления исполнительным механизмом ДВС (см. рис.16).

Работоспособность вышеописанного алгоритма подтверждена осциллограммой (рис. 17), отображающей зависимость угла перемещения рычага регулятора от перемещения педали управления топливopодачей при частоте управляющего ШИМ-сигнала 200Гц. Графическая интерпретация полученных результатов производилась с помощью средств визуализации CoDeSys V2.3 [12, с. 65].



**Рис.17. Осциллограмма процесса управления топливopодачей ДВС: 1 – частота вращения коленвала двигателя, об/мин; 2 – перемещение педали акселератора, бит; 3 – перемещение рычага регулятора ТНВД, бит; 4 – ток на обмотках ПЭМК управления топливopодачей, mA**

**Заключение.** Предложенные конструкция электронно-пневматического привода регулятора ТНВД и адаптивный алгоритм управления топливopодачей дизельного двигателя на основе сигнала с широтно-импульсной модуляцией позволяют в совокупности обеспечивать:

- качественное управление топливopодачей дизельного двигателя стандарта Euro-2 на режимах разгона и установившегося движения;
- отработку комплексных алгоритмов трогания, маневрирования и переключения передач в автоматическом режиме работы силового агрегата с использованием центральной синхронизации ввиду отсутствия механической связи между педалью акселератора и рычагом регулятора ТНВД;
- адаптацию управляющего алгоритма при обнаружении изменений в характеристиках топливной аппаратуры двигателя или пропорционального электромагнитного клапана управления исполнительным механизмом ДВС, заключающуюся в корректировке краевых величин диапазона ШИМ-регулирования.



**Перечень литературных 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 R360 for CoDeSys from V2.3 and Target versions V04.xx.xx/ ifm electronics gmbh, Germany, Essen, 2006 – 396 P.
4. Высоцкий, М.С. Грузовые автомобили: проектирование и основы конструирования / М.С. Высоцкий, Л.Х. Гилелес, С.Г. Херсонский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.: ил.
5. Руктешель, О.С. Интеллектуальная система управления стенда автоматизированного силового агрегата автомобиля / О.С. Руктешель, В.Л. Соломахо, В.А. Кусяк и др. // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2009. – № 4. – С. 31–36.
6. MT Series Mechatronic Throttle Pedal with vSENSETM Technology [Electronic resource] // Kongsberg Automation GmbH, 2009. – Mode of access: <http://www.controlsandscables.com/index.php/Electronic-Foot-Pedal/Mechatronic-Electronic-Foot-Pedal-Systems.html>. – Date of access: 20.07.2012.
7. Кузин, А.Ю. Датчики теплотехнических и механических величин: справочник / А.Ю. Кузин, П.П. Мальцев, И.А. Шапортов, И.А. Беспалов. – Москва: Энергоатомиздат, 1996. – 128 с.
8. Автомобильный справочник. Перевод с немецкого. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.: ил.
9. Сысоева, С. Н.. Автомобильные цифровые магнитоуправляемые датчики угловой скорости и углового положения зубчатого ротора / С.Н. Сысоева // Электронные компоненты. 2004. . – № 3. – С. 16-23.
10. Дубровский, М.П. Системы питания бензиновых двигателей: учеб.-метод. пособие для студентов спец. 1-37 01 02 – «Автомобилестроение», 1-37 01 06 – «Техническая эксплуатация автомобилей» / М.П. Дубровский, В.А. Кусяк, О.С. Руктешель и др. – Минск: БНТУ, 2005. – 107 с.
11. Кусяк В.А. Исследование динамики дизельного двигателя при электронном управлении моторным тормозом / В.А. Кусяк // Изобретатель: ISSN 2218-743X – 2014. – № 07(175). – С. 42-45.
12. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys V2.3. – ПК «Про-лог», Copyright: 3S - Smart Software Solutions GmbH, 2008. – 452 с.