

МЕТОДЫ ТЕСТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ВПРЫСКА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

С.С. Исаков

Кыргызко-Российский Славянский университет, г.Бишкек
email: isakov_s_s@rambler.ru

Дизели, работающие с повышенной степенью сжатия и коэффициентом избытка воздуха, в большей степени, чем другие двигатели, отвечают современным тенденциям двигателестроения (прежде всего по экономическим и экологическим показателям). В выхлопных газах дизелей по сравнению с бензиновыми двигателями содержится очень мало окиси углерода, углеводородов и окиси азота. Однако это преимущество нельзя использовать, не обеспечив оптимальные характеристики и параметры топливоподачи в соответствии с режимом работы двигателя и условиями его эксплуатации. Надежность, экономичность двигателя и объем вредных выбросов в атмосферу во многом зависят от настройки топливной аппаратуры и ее технического обслуживания [1]. Современные автомобили, оснащенные бортовой микро ЭВМ осуществляют автоматическое регулирование оптимальными процессами впрыска топлива, однако на большинстве эксплуатируемых автомобилях с дизельным двигателем эти устройства отсутствуют, и регулирование топливной аппаратуры осуществляется на станциях технического обслуживания.

Наиболее важным узлом топливной аппаратуры дизельных двигателей является топливный насос высокого давления (ТНВД), осуществляющий впрыск дизельного топлива через форсунки. Установка углов начала впрыскивания топлива форсункой является одной из важнейших технологических операций при регулировке ТНВД дизельного двигателя. Регулирование угла впрыска топлива ТНВД осуществляется на испытательных стендах. В настоящее время имеется большое количество испытательных



Рис. 1. Внешний вид устройства ЦИУВ-4

стендов регулировки ТНВД, для различных автомобилей. Для регулировки угла впрыскивания топлива необходимо определить угол поворота вала в момент впрыска топлива через форсунку. Устройство ЦИУВ-4 разрабатывалось для стенда КИ-22205, взамен поставляемого электронного блока для его модернизации с целью повысить точность измерения угла впрыска топлива рис. 1. На измерительных стендах КИ-22205 для измерения угла поворота вала устанавливается – инкрементный двухканальный оптический энкодер рис. 2. На стеклянный диск нанесены 720 непрозрачных (счетных) меток, через 0,5 град., и метка начала отсчета. Диск закрепляется на оси вала, а его край помещается в щелевой оптический двухканальный датчик. При каждом пересечении любого из датчиков с меткой, фотодиод закрывается, и оптический датчик формирует импульс. Такой энкодер будет вырабатывать 720 измерительных импульсов и один импульс начального положения за один оборот оси вала. Принцип измерения угла заключается в подсчете счетных импульсов с момента прохождения через начальное положение до появления сигнала с датчика начала впрыска.

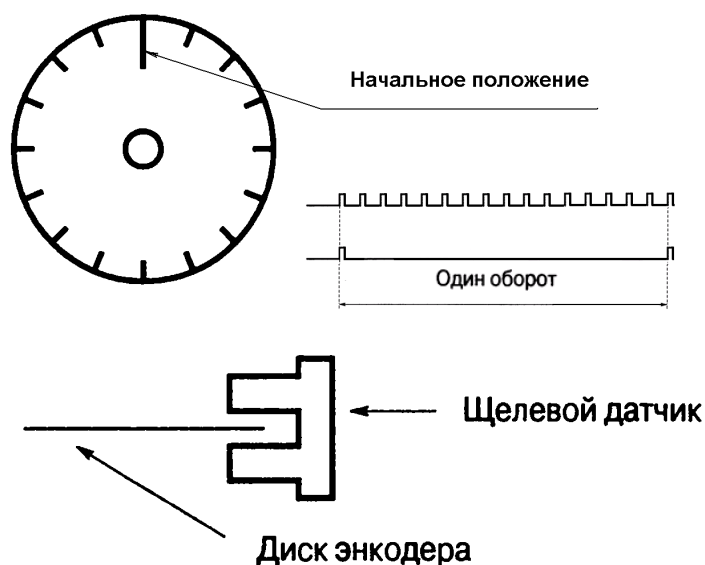


Рис. 2. Диск оптического инкрементного энкодера

При модернизации стенда была изменена электрическая принципиальная схема оптических датчиков энкодера. Для формирования прямоугольных импульсов был применен триггер Шмидта рис.3 обеспечивающий защиту от помех, амплитудная характеристика выходного сигнала в относительных единицах светового потока приведена на рис. 4 [4]. Для увеличения надежности диск был изготовлен из непрозрачного материала, (дюралюминия), а метки делать в виде прорезей в количестве 720 измерительных и одной начального положения (точки отсчета).

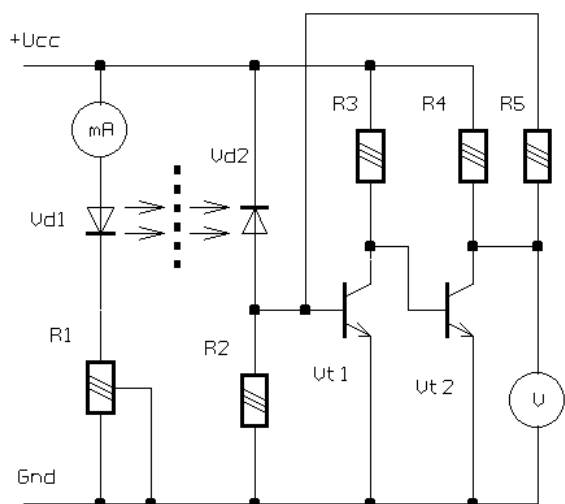


Рис. 3. Схема оптического преобразователя

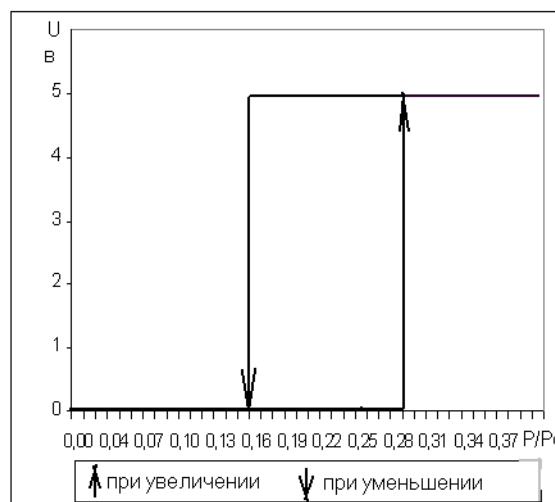
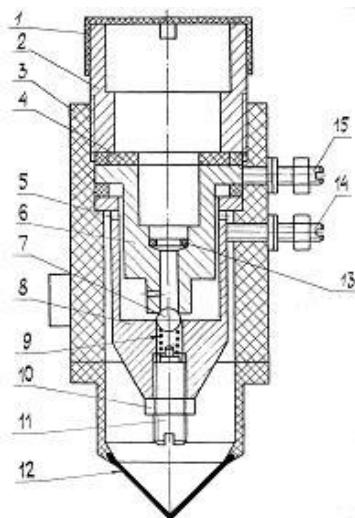


Рис. 4. Выходная характеристика оптического преобразователя

Для регистрации начала впрыскивания топлива форсункой на топливных стендах КИ-22205, используются контактные датчики начала впрыскивания [2] рис. 5.



- 1 - крышка;
- 2 - гайка;
- 3 - стакан;
- 4, 13 - прокладки;
- 5 - сливное отверстие;
- 6 - воронка;
- 7 - контактный шарик;
- 8 - стакан;
- 9 - пружина;
- 10 - гайка;
- 11 – регулировочный винт;
- 12 - сетка;
- 15, 14 - контактные винты.

Рис. 5. Контактный датчик начала впрыскивания

На стендах КИ-22205 устанавливается электронный блок с цифровой индикацией с позволяющий измерять угол впрыска с погрешностью до $\pm 0,5$ градуса, определение угла впрыска топлива заключалось в подсчете угломерных импульсов от начального положения до появления сигнала от датчика впрыска, рис. 6

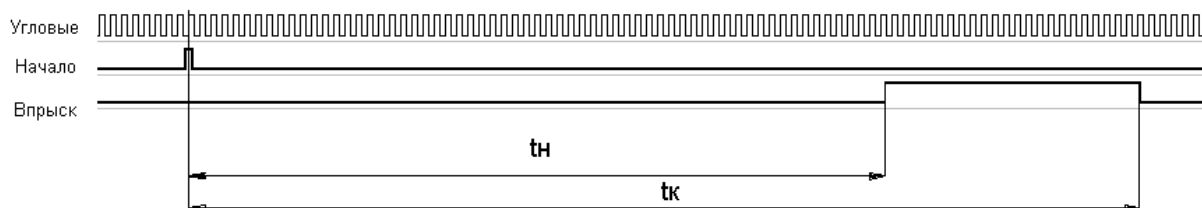


Рис. 6. Сигналы с измерительных датчиков

В устройство ЦИУВ-4 был использован микроконтроллер ATMEGA8, на входы которого подавались сигналы: от оптического инкрементного энкодера; и от датчика начала впрыска. Вывод результатов осуществлялся на десятиразрядный жидкокристаллический индикатор (ЖКИ). Применение микроконтроллера с программным управлением позволило, повысить точность измерений, путем анализа сигналов с датчиков, измерения времени и проведением математических вычислений.

Измерение угла поворота вала в момент впрыска топлива можно выполнить подсчетом угломерных импульсов от начального положения до появления сигнала от датчика впрыска, рис. 6.

Углы поворота вала начала и конца впрыска определяются по формулам:

$$\varphi_n = K \cdot N_n, \text{ град.}; \quad (1)$$

$$\varphi_k = K \cdot N_k, \text{ град.}, \quad (2)$$

где: φ_n – угол начала впрыска;
 φ_k – угол конца впрыска;
 N_n – количество импульсов до начала впрыска;
 N_k – количество импульсов до конца впрыска;
 K – угол соответствующий 1 импульсу $= 0.5^\circ$.

Измерение угла впрыска топлива может выполняться и по соотношению времени появления сигналов от датчика впрыска, к периоду полного оборота вала, без использования подсчета счетных импульсов энкодера.

Углы поворота вала начала и конца впрыска определяются по формулам:

$$\varphi.\acute{i} = \frac{t\acute{i}}{T} \cdot 360 \text{ , град.;} \quad (3)$$

$$\varphi.\hat{e} = \frac{t\hat{e}}{T} \cdot 360 \text{ , град.}, \quad (4)$$

Однако данный метод будет давать хорошие результаты только при постоянной скорости вращения вала.

Для увеличения точности измерения угла поворота вала, была введена коррекция части текущего счетного импульса. Коррекция может быть дискретной равной половине счетного импульса или пропорциональной вычисляемой по временным параметрам.

Дискретная коррекция повышает точность измерения угла поворота вала в два раза, анализируя уровень сигнала на угломерном датчике энкодера рис. 7.

Если уровень сигнала со счетного датчика высокий, то это соответствует первой половине текущего счетного импульса, а если он низкий, то второй половине (первая половина уже пройдена и ее необходимо учесть добавив 0,25 град.

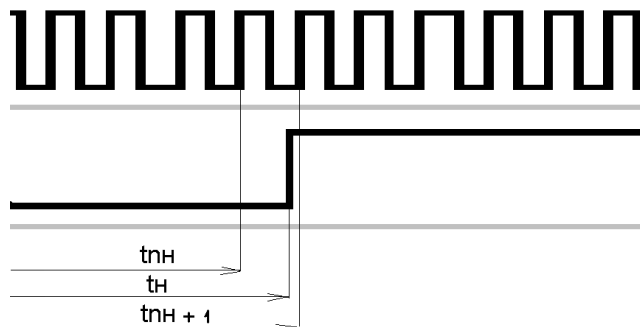


Рис. 7. Сигналы с измерительных датчиков

Углы поворота вала начала и конца впрыска определяются по формулам:

$$\varphi.\acute{i} = K \cdot \left(N\acute{i} + \frac{1-D}{2} \right) \text{ , град.;} \quad (5)$$

$$\varphi.\hat{e} = K \cdot \left(N\hat{e} + \frac{1-D}{2} \right) \text{ , град.}, \quad (6)$$

где: $\varphi_{н}$ – угол начала впрыска;

$\varphi_{к}$ – угол конца впрыска;

$N_{н}$ – количество импульсов до начала впрыска;

$N_{к}$ – количество импульсов до конца впрыска;

K – угол соответствующий 1 импульсу = 0.5о.

D – уровень сигнала ($D=1$ первый полупериод, $D=0$ второй полупериод).

Пропорциональная коррекция добавляет ту часть счетного импульса, который соответствует соотношению интервала времени от начала импульса, к интервалу времени текущего импульса (период импульса) рис. 7.

Углы поворота вала начала и конца впрыска определяются по формулам:

$$\varphi_i = K \cdot \left(N + \frac{t_i - t_{ni}}{t_{ni+1} - t_{ni}} \right), \text{ град.}; \quad (7)$$

$$\varphi_e = K \cdot \left(N + \frac{t_e - t_{ne}}{t_{ne+1} - t_{ne}} \right), \text{ град.}, \quad (8)$$

где: φ_n – угол начала впрыска;
 φ_k – угол конца впрыска;
 K – дискретность угломерных импульсов в градусах;
 N – количество подсчитанных угломерных импульсов;
 t_n – время от начального состояния до сигнала начала впрыска;
 t_{nn} – время появления счетного импульса перед сигналом начала впрыска;
 t_{nn+1} – время появления счетного импульса сразу после сигнала начала впрыска;
 t_k – время от начального состояния до сигнала конца впрыска;
 t_{nk} – время появления счетного импульса перед сигналом конца впрыска;
 t_{nk+1} – время появления счетного импульса сразу после сигнала конца впрыска.

Формирование импульсов энкодера осуществлялось для случая неравномерного вращения вала, с отклонением скорости по синусоидальному закону с амплитудой 1% от средней скорости [3] рис. 8,

$$\omega(t) = 360 \omega_{\text{н\ddot{o}}} \cdot \left(1 + \frac{\sin(2\pi\omega_{\text{н\ddot{o}}} \cdot t)}{100} \right), \text{ град/сек}, \quad (9)$$

где: $\omega_{\text{ср}}$ – средняя угловая скорость = 50 об/сек (3000 об/мин).

Период полного оборота вала определяется по формуле,

$$T = \frac{1}{\omega_{\text{н\ddot{o}}}} = 0,02, \text{ сек}, \quad (10)$$

Формирование импульсов датчика впрыска осуществлялось для различных значений в диапазоне от 0 до 360°, на один период оборота вала от 0 до 0,02 сек.

Для проверки точности измерения, применялось устройство – «восьмиканальный программируемый генератор дискретных сигналов» [5], который моделировал запрограммированные теоретические сигналы на тестируемое устройство рис.9.

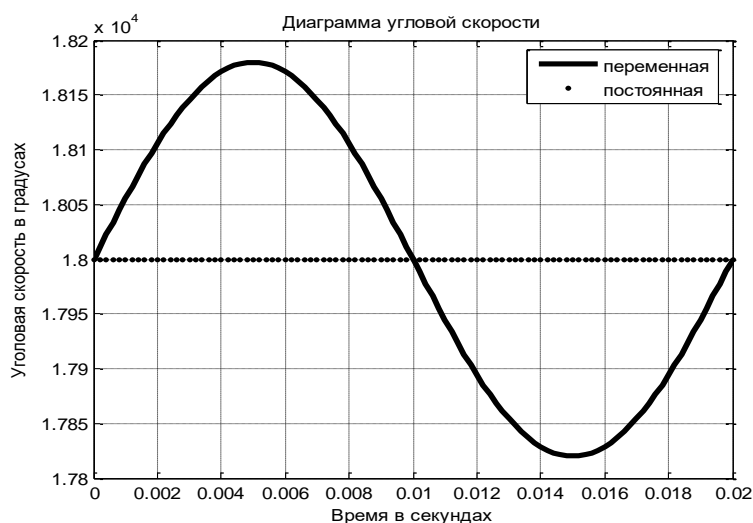


Рис. 8. График угловой скорости

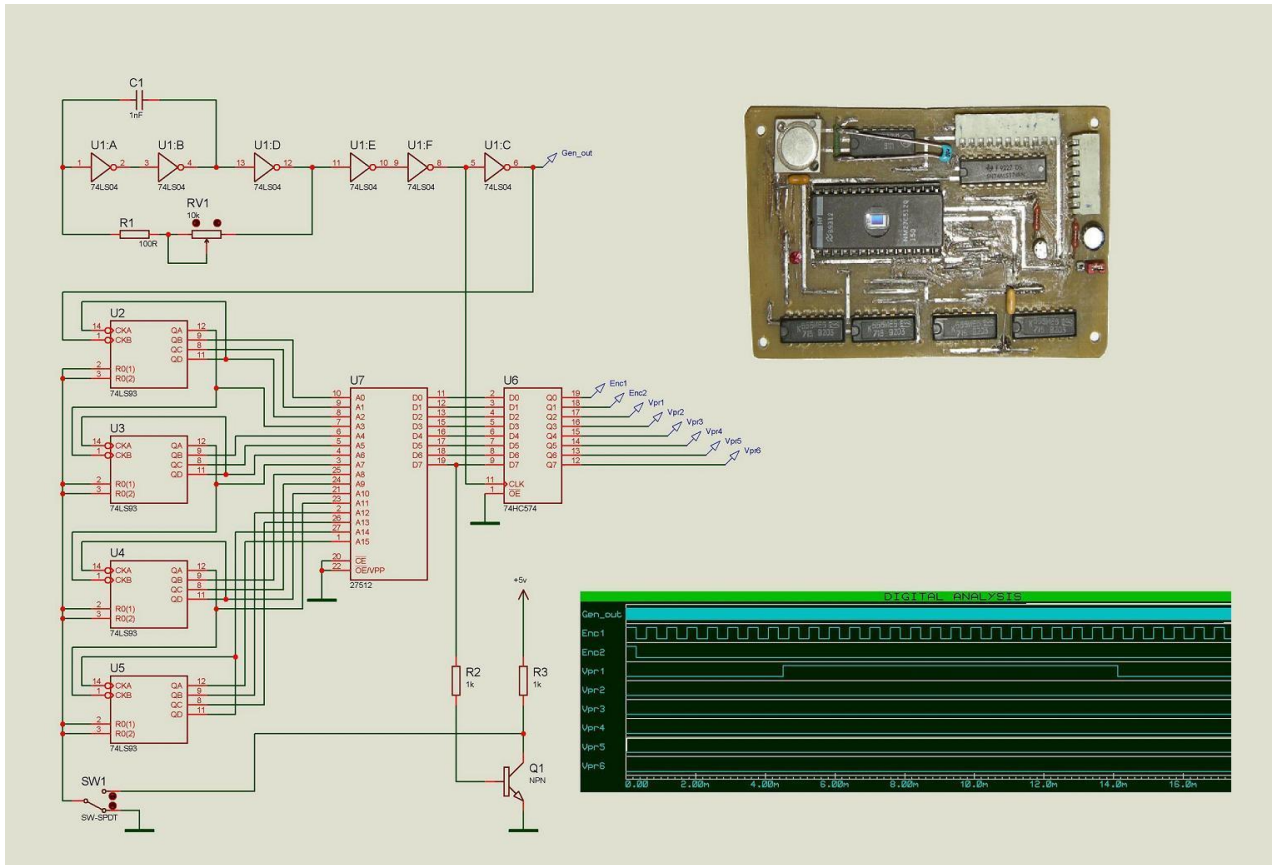


Рис. 9. Генератор испытательных сигналов

Данное устройство состоит из: генератора прямоугольных импульсов; четырех счетчиков, формирующих адрес выбора; ППЗУ (27C512 – 512 Кбит) микросхема памяти, где по заданному адресу записан выходной код нолик или единица; выходной буфер, где фиксируется выбранный код из заданной ячейки памяти. Память микросхемы по каждому адресу хранит 8 Бит (один Байт), таким образом адресное пространство для формирования выходного кода составляет 64 КБайта, (65536 адресов ячеек памяти). При записи одного периода оборота вала 360 град. по всему адресному пространству микросхемы, в каждой ячейке памяти можно записать состояние датчика с дискретностью угла 0,0055 град. Для передачи всей информации за 0,02сек для случая 3000 об/мин, скорость чтения составит 3276,8 КГц, что реализуемо.

Таблица 1.

| Угол | Теор. | Мет. 1 | Мет. 2 | Мет. 3 | Мет. 4 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Начало 1 | 3.86 | 3.50 | 3.75 | 3.85 | 3.86 |
| Конец 1 | 12.11 | 12.00 | 12.00 | 12.10 | 12.11 |
| Начало 2 | 63.84 | 63.50 | 63.75 | 63.52 | 63.84 |
| Конец 2 | 77.92 | 77.50 | 77.75 | 77.47 | 77.92 |
| Начало 3 | 120.79 | 120.50 | 120.75 | 119.92 | 120.78 |
| Конец 3 | 139.43 | 139.00 | 139.25 | 138.42 | 139.43 |
| Начало 4 | 180.67 | 180.50 | 180.50 | 179.52 | 180.67 |
| Конец 4 | 197.53 | 197.50 | 197.50 | 196.40 | 197.53 |
| Начало 5 | 240.64 | 240.50 | 240.50 | 239.77 | 240.64 |
| Конец 5 | 256.81 | 256.50 | 256.75 | 256.10 | 256.81 |
| Начало 6 | 300.23 | 300.00 | 300.00 | 299.93 | 300.22 |
| Конец 6 | 319.49 | 319.00 | 319.25 | 319.35 | 319.47 |

График отклонений полученных результатов от теоретических значений приведен на рис 10.

Для определения угла впрыска применялись следующие методики:

- метод 1 – подсчет угломерных импульсов энкодера по формулам 1, 2;
- метод 2 – подсчет угломерных импульсов энкодера с дискретной коррекцией по формулам 5, 6;
- метод 3 – вычислительный по временным параметрам по формулам 3, 4;
- метод 4 – подсчет угломерных импульсов с пропорциональной коррекцией по формулам 7,8.

Выбор методов измерения угла впрыска осуществлялся нажатием на левую кнопку, а угол поворота вала для: начала впрыска, конца впрыска и длительности впрыска, осуществлялся нажатием правой кнопки. Полученные результаты для различных методик вычисления приведены в таблице 1.



Рис. 10. График отклонений измерений от теоретических значений

По полученным результатам видно, что ошибка измерения угла поворота вала с использованием энкодера, не превышает, допустимого значения, а применение коррекции уменьшает эту ошибку. Применение вычислительного метода по временным интервалам, при неравномерной скорости вращения вала дает ошибки, а так как неравномерность вращения вала заранее неизвестна, то и ошибка может оказаться значительной.

Литература

1. Бобрышев Г. П. и др. Модернизация стендов для испытания и регулировки топливных насосов. Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2005г., № 12 с. 36–38).
2. Датчики начала впрыскивания топлива форсункой, <http://dipr.ru/stati/nauka-i-razrabotki/datchiki-nachala-vpryskivaniya-topliva-forsunkoj>.
3. Исаков С.С. Методы определения угла впрыска топливной аппаратуры дизельного двигателя / Джаманбаев М.Дж., Дюйшеналиев Т.Б., Курманалиев К. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова №15 – Бишкек 2009. с. 75 – 78.
4. Моделирование сигналов оптического датчика перемещений для пакета MICROCAP // Проблемы управления и информатики: доклады II международной конференции, Бишкек 2007 г. с. 241–246.
5. Пахомов П.И., Исаков С.С. Универсальный отладочный комплекс TTL уровня для ремонта цифровой аппаратуры / Нифадыев В.И., Исаков К.И., Лелевкин В.М. // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета том 7, №12, 2007. с.79–82.