

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ТОКСИЧНОСТИ

Юрий Герасимчук

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Yuriy Gerasimchuk

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Для получения более полной и достоверной информации о рабочем процессе при исследовании двигателей внутреннего сгорания разработана и изготовлена система автоматического отбора проб газа непосредственно из цилиндра двигателя. Система газоотбора полностью автоматизирована с возможностью одновременного определения 24-х параметров в бензиновых и дизельных поршневых ДВС, включая роторно-поршневые, которая может обеспечить одноразовый, многократный и непрерывный отбор проб газа с возможностью последующего химического анализа.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания (ДВС), отработавшие газы, электромагнитный газоотборный клапан, частей на миллион (млн^{-1}), экологические показатели.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последние десятилетия на транспортные средства устанавливаются поршневые бензиновые двигатели и дизели, которые составляют более 90% (из них 70% бензиновые ДВС) от общего количества тепловых двигателей. Поэтому в ближайшее время существенное уменьшение загрязнения воздуха возможно достичь путем проектирования менее токсичных автотракторных двигателей, производство которых настроено и полностью отработано [5, 19].

Рациональное решение для снижения токсичности автотракторных двигателей невозможно выбрать без ясного представления о механизме образования токсических веществ в цилиндре двигателя.

В применении к ДВС анализ газов используют при исследовании состава отработавших газов с целью оценки полноты сго-

рания топлива, токсичности двигателей и определения величины коэффициента избытка воздуха по продуктам сгорания. Поэтому современные лаборатории анализа газов оснащают разнообразной аналитической аппаратурой. Не утратила своего значения и методика анализа по разовым пробам газа, которая нуждается в постоянной модернизации и усовершенствованию [8, 9, 15, 21].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно большое количество схем газоотборных клапанов, которые позволяют получить пробы газа из цилиндра двигателя: механические, с гидроприводом, пневмоэлектрические, пиротехнические, на основании движущихся дисков и др.

Недостатком указанных схем есть то, что они не обеспечивают дозированный отбор пробы газа высокооборотистых ДВС, более инерционны, относительно дорогие в производстве, не обеспечивают отбор газа в автоматическом режиме, что затрудняет делать отбор проб газа в автотракторных ДВС.

Газоотборный клапан с механическим или гидравлическим приводом, учитывая сложную систему рычагов, тяг и трубопроводов высокого давления очень громоздки, конструктивно сложны, что есть большой преградой при монтаже их непосредственно на двигатель.

Это дало огромный толчок для проектирования и исследования новых систем газоотбора и непосредственно газоотборных клапанов таких конструкций, которые исключали выше перечисленные недостатки [2, 12, 16, 22].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В данной работе поставлена задача по расширению функциональных возможностей газоотборного комплекса (ГК) который дает возможность проводить полное исследование токсичности с одновременным определением 24-х параметров в бензиновых и дизельных поршневых ДВС, включая роторно-поршневые. Цель достигается путем полной автоматизации ГК при сборе данных работы двигателя и установкой электромагнитного газоотборного клапана (ЭМГК) для получения проб газа из цилиндра двигателя с дальнейшим определением в ней токсических компонентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании двигателей проектируемый ГК позволяет провести более точное измерение и регистрацию параметров работы двигателя при исследовании, а также его токсичность. При этом определяется расход топлива и воздуха, атмосферное давление, высокое и низкое давление в топливной системе, положение дроссельной заслонки и топливной рейки, давление и температуру во впускном трубопроводе и выпускном коллекторе, крутящий момент, частоту вращения коленчатого вала и ее неравномерность, фиксирует процесс детонации, температуру охлаждающей жидкости, давление и температуру масла в системе смазки. По заранее установленной программе задаются параметры срабатывания ЭМГК (начало и конец срабатывания клапана и длительность в открытом состоянии), и проводится запись перемещения ЭМГК с одновременной регистрацией давления в цилиндре (индексирование). Программные возможности ГК позволяют регистрировать, записывать и обрабатывать в зависимости от угла поворота коленчатого вала (КВ) поточные значения давления в цилиндре P_z , температуры T_z , удельного объема v , части прореагировавшего топлива x , скорости сгорания ω , отношения теплоемкостей K , действительного коэффициента молекулярного изменения μ . Определяются также индикаторные и эффективные показатели рабочих циклов двигателя

($P_i, \eta_i, g_i, N_i, P_e, \eta_m, \eta_e, N_e$ и g_e) [1, 2, 13, 22].

На рис.1 представлен газоотборный комплекс в состав которого входят:

- топливный бак 1, электробензо насос 2, регулятор давления топлива 3, катушка зажигания 6, электромагнитная форсунка 7, автомобильный контролер 8, дроссельная заслонка 23, датчик положения дроссельной заслонки или рейки топливного насоса (дизели) 22;

- система отбора проб газа из цилиндра ДВС, которая состоит из электронного блока управления (ЭБУ) клапаном 13, управляемым кнопкой отбора пробы 14, клавиатура 15, кнопки количества отобранных проб 16, длительностью открытия клапана 17, началом открытия клапана 18, индикатор 19, кнопка включения питания 20, кнопка установки режим газоотбора 21, ЭМГК 28, датчика перемещения ЭМГК 27;

- приборов и датчиков для определения параметров работы двигателя (датчика давления в топливной магистрали 4, расходомера топлива 5, расходомера воздуха 24, датчика разрежения во впускном трубопроводе 25, датчика температуры воздуха на впуске 26, датчика частоты вращения КВ 29, датчика положения КВ 30, датчик определения крутящего момента ДВЗ 31, датчика неравномерности вращения КВ 32, барометра атмосферного давления 34, датчика детонации 35, датчика температуры охлаждающей жидкости 36, датчика давления в цилиндре 37, датчика температуры отработавших газов (ОГ) 38);

- системы регистрации, автоматического вычисления и печати (аналого-цифровой преобразователь 12, электронно-вычислительная машина 10, записывающий прибор 11, принтер 9);

- зубчатый венец маховика 33 [17, 18].

Газоотборный комплекс функционирует следующим образом. С помощью контроллера 8 устанавливается программа управления режимом работы ДВС (цикловая подача топлива, момент зажигания или подачи топлива угол открытия дроссельной заслонки или положение рейки и др.). От контроллера управления двигателем 8 подается сигнал на электронный блок управления 13 ЭМГКом. К блоку 13 также поступает импульс от дат-

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ТОКСИЧНОСТИ

чика частоты вращения КВ 29. В электронном блоке управления 13 устанавливается момент и длительность срабатывания ЭМГК 28. Импульс на ЭМГК подается через 280^0 - 480^0 после переднего фронта сигнала с контроллера и может регулироваться с помощью кнопки 18 и клавиатуры 15, а длительность импульса находится в пределах 5...10 мс и может изменяться с помощью соответственно кнопок 12 и 15. Переключателем 21 электронный блок обеспечивает три режима работы: одноразовый, многократный и ручной. При выборе одноразового отбора и нажатии на кнопку 14 на ЭМГК подается один импульс.

При многократном отборе количество импульсов задается с помощью кнопки 16. Ручной режим отбора проб газа устанавливается с помощью переключателя 21 и происходит при удержании кнопки 14 в нажатом состоянии. Режимы и параметры работы ЭМГК (начало и длительность отбора, режим работы, количество срабатываний ЭМГК при многократном отборе), которые устанавливаются с помощью ЭБУ газотборным клапаном 13, фиксируется на инди-

каторе 19. Информация с контроллера 8, ЭБУ 13, расходомера топлива 5, расходомера воздуха 24, барометра атмосферного давления 34, датчиков работы систем ДВЗ (давления топлива 4, положения дроссельной заслонки 22, разрежения у впускном трубопроводе 25, температуры воздуха на впуске 26, перемещения ЭМГКа 27, частоты вращения КВ 29, положения КВ 30, величины крутящего момента ДВС 31, неравномерности вращения КВ 32, детонации ДВС 35, температуры охлаждающей жидкости 36, давления в цилиндре двигателя 37, температуры ОГ 38) при срабатывании ЭМГК результаты обрабатывается с помощью АЦП и передается на ЭВМ, записываются на жесткий диск, а результаты распечатываются на принтере (Патент № 72969).

При проектировании и испытании ЭМГК, а также системы газотбора в целом были выдвинуты ряд требований согласно их работы [4, 8, 15, 17]:

Обеспечить отбор пробы такого объема из цилиндра двигателя, необходимого для получения достоверной информации о наличие токсических составляющих в ОГ.

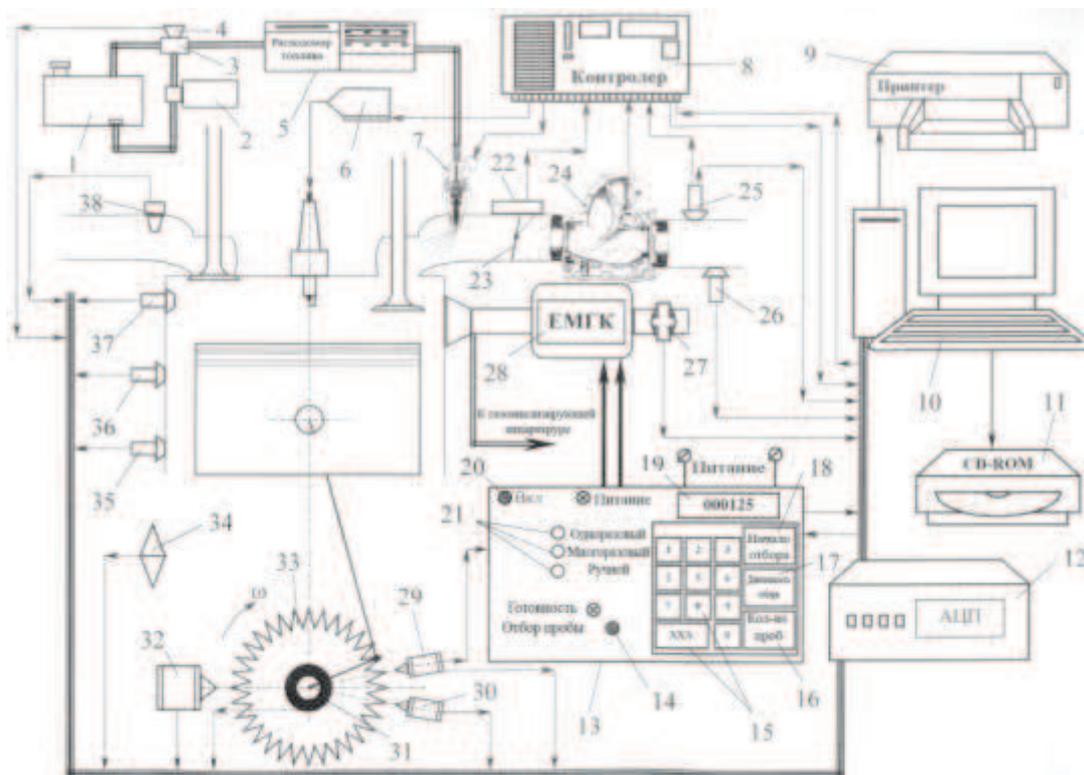


Рис. 1. Схема газотборного комплекса для исследования ДВС

Fig. 1. Chart of gas complex for research of ICE

- Обеспечить регулирование и контроль длительности фаз отбора проб газа при срабатывании газоотборного клапана на работающем двигателе на такте сжатия и расширения.

- Четко отслеживать моменты открытия-закрытия ЭМГК до заданных условий программы исследований (частоты вращения КВ).

- Обеспечить надежную работу газоотборного клапана в камере сгорания при температуре 1900...2700К, учитывая также, что давление в цилиндре изменяется на тактах сжатие-расширение в пределах 7...0,1 МПа.

- Обеспечить полную герметичность системы газоотбора и исключить проникновение газов и воздуха из атмосферы.

- Система газоотбора и ее составляющие должны быть простыми в изготовлении и обслуживании при условии надежной и безотказной работы.

На основе этих критериев была разработана и изготовлена конструкция системы газоотбора с электромагнитным управлением газоотборного клапана (ЭМГК), которая позволяет удовлетворить выше перечисленные требования и взять пробу газа в период

такта расширения из цилиндра ДВС рабочего цикла. Схема размещения ЭМГК непосредственно в цилиндре ДВС представлена на рис. 2 а., а его устройство и внешний вид соответственно на рис. 2. б, в (Патент № 51494).

Основные составляющие электрической схемы ЭБУ представлено на рис. 3. Схема выполнена на однокристальном микроконтроллере PIC16F84A. Микроконтроллеры серии PIC представляют собой недорогие, высокопродуктивные, полностью статичные, 8-розрядные КМОП с RISC архитектурой, которые устанавливают промышленный стандарт 5MISP (миллионов операций в секунду). Микроконтроллер PIC16F84A с тактовой частотой 20 МГц, а все команды, которых всего 35, исполняются за 1 цикл ~ 400 нс. Уникальная возможность микроконтроллера PIC – это многократное перепрограммирование памяти (число циклов перезаписи 1000000) с помощью программатора. Это позволяет очень легко вносить необходимые коррективы в работу программы на любом этапе проектирования и производстве изделия.

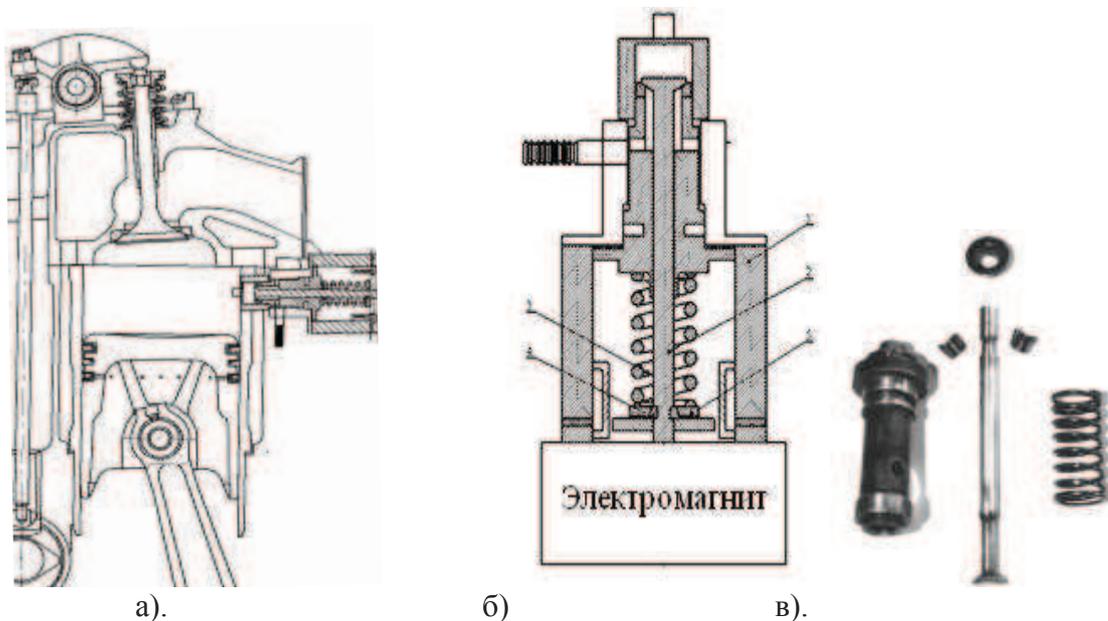


Рис. 2. Схема электромагнитного газоотборного клапана
Fig. 2. Chart of the of electromagnetic valve for taking of gases

- а. размещение газоотборного клапана в цилиндре ДВС;
 б, в. устройство газоотборного клапана и его внешний вид:
 1 - корпус; 2 - клапан; 3 - пружина; 4 - сухарик; 5 - упорная шайба.

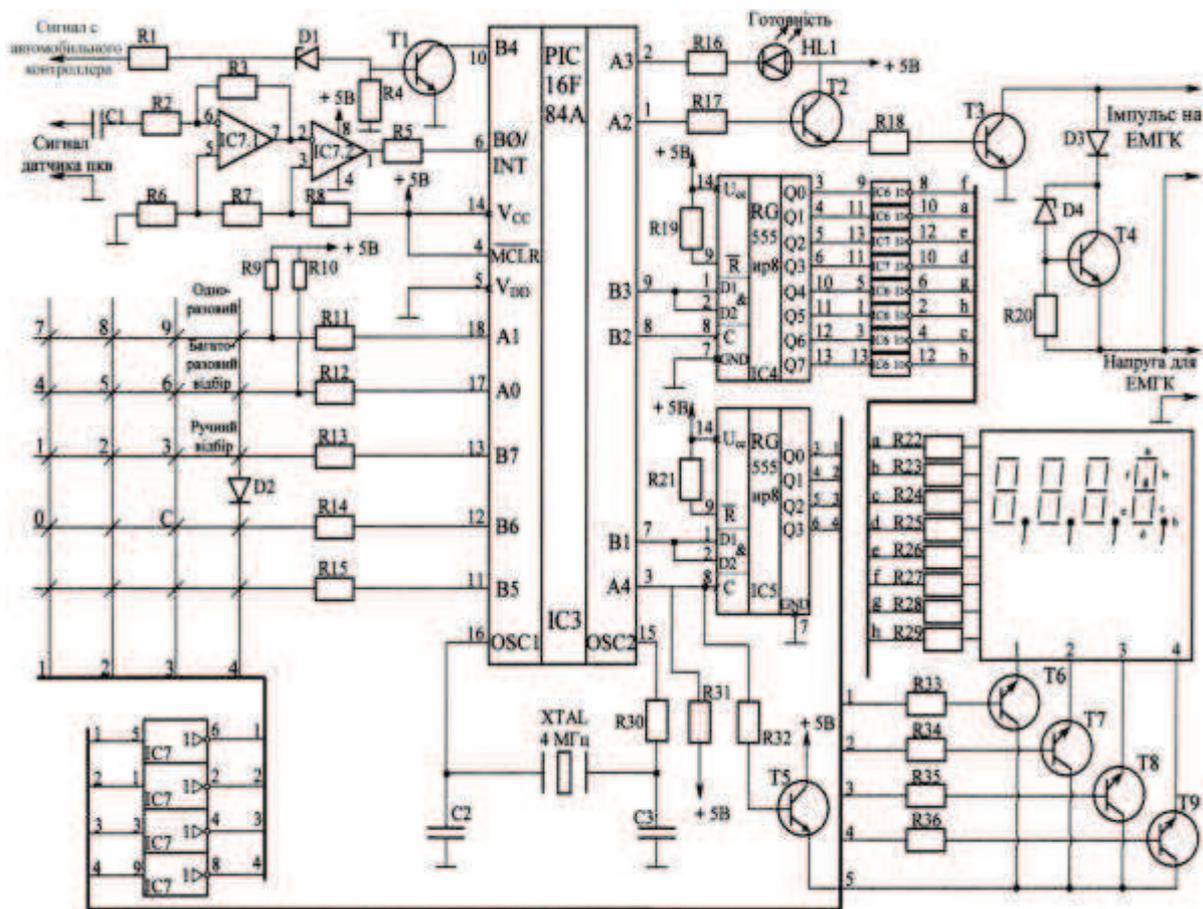


Рис. 3. Схема электронного блока управления ЭМГК
Fig. 3. Chart of electronic CU of EVTG

Рассмотрим подробно работу электрической схемы блока управления ЭМГК, которая представлена на рис. 3:

- Микросхема PIC16F84A, в которой хранится программа работы прибора, а также параметры, которые задаются клавиатурой – количество зубьев датчика КВ, угол поворота в момент подачи импульса на ЭМГК (в град), длительность импульса (в мс), и количество импульсов.

- Силовой каскад для подачи напряжения на клапан: резисторы R17, R18, R20, транзисторы T2, T3, T4, диод и стабилитрон D4. При подаче логической единицы (+5 В) на разряде A2 микросхемы PIC16F84A, выходной транзистор T3 подает напряжение 60 В на электромагнит клапана 17, при этом сила тока ~1,5 А. Транзистор T4 защищает выходной транзистор (T3) в момент закрытия от перенагрузки электродвижущейся силы (ЭДС) индукции катушки клапана. Стабилитрон D4 создает остаточное напря-

жение, которое способствует быстрому погашению индуктивной силы тока. Преобразователь уровня напряжения на входе сигнала с форсунки 5 (контролера 7): резисторы R1, R4, стабилитрон D1, транзистор T1, а также резистор на +5 В в середине микросхемы PIC16F84A. На входе: подается напряжение +12 В (когда форсунка закрыта) и приблизительно +2 В (когда форсунка открыта). На выходе схемы формируется напряжение логического нуля и единицы (ноль и +5 В) в зависимости от того на сколько напряжение превышает на входе границу +5,6В.

- Усилитель сигнала с датчика угла поворота: конденсатор C1, резисторы R2, R3, R5, R6, R7, R8, и микросхема операционного усилителя КР1446УД1. Зубья 2 ферромагнитного диска наводят индуктивное напряжение в катушке датчика 1, которое потом проходит через конденсатор C1 (разделяя сигнал по постоянной силе тока), усиливается первым каскадом микросхемы IC1.1, а

второй каскад IC1.2 работает как компаратор, формируя логичный ноль (0 В) и единицу (+5 В).

- Генератор тактовой частоты: конденсаторы С2, С3, кварцевый резонатор на 4 МГц, резистор R30 и усилитель внутри микросхемы PIC16F84А, который дает старт для выполнения рабочей программы, а также является началом отсчета и длительности импульса в мс.

- Интерфейс клавиатуры и индикации: две микросхемы (IC4, IC5) регистра смещения КР555ИР8, две микросхемы (IC6, IC7) инверторов с открытым коллектором КР155ЛА3, транзисторы Т5-Т9, диод D2, резисторы R9-R15, R19, R21-R29, R31-R36, четыре 7-сегментные индикаторы (АЛС324Б1) 10 с общим анодом, клавиатура 14 и кнопки 8, 11, 12, 13.

- Схема управления ЭМГК работает следующим образом: процессор записывает «бегущую» единицу в регистр IC5, эта единица выбирается нулевым уровнем одну колонку матрицы клавиш, и одновременно подает напряжение на анод одной из цифр. Сегменты выбранной цифры светятся относительно единиц, которые предварительно записаны в регистр IC4. Процессор отрабатывает задержку времени 512 мкс, а потом анализирует клавиши выбранной колонки и считывает информацию на входах А1, А0, В7, В6, В5. Входы А1 и А2 соединены с резисторами R9, R10, а входы В7, В6, В5 - резисторами внутри микросхемы на +5 В. Когда кнопка 15 (отбор пробы) отпущена, то промежуток считается как логическая единица, а когда кнопка 15 нажата, то логический ноль с открытого коллектора микросхемы IC7 проходит на относительный разряд процессора PIC16F84А. Потом процессор гасит все индикаторы транзистором Т5, записывая значения сегментов следующей цифры в регистр IC4, и снова происходит свечение индикатора, сместив «бегущую» единицу на один разряд – цикл повторяется со следующей цифрой и следующей колонкой кнопок.

- Индикатор (светодиод) готовности HL1, и ограничительный резистор R16, загораются относительно программы, одновременно с работой газоотборного клапана.

- Стабилизатор напряжения состоит из микросхемы КР142ЕН5А, конденсаторов С4-С7, индикатора HL2, резистора R37 – он формирует напряжение +5В, необходимую для работы микросхем, с напряжения +9 В от стандартного блока питания.

ВЫВОД

Конструкция клапана предусматривает его безотказную работу в зоне высоких температур и обеспечивает получение такого объема пробы газа для достоверной количественной оценки содержания токсических веществ в отработавших газах.

Электронный блок управления электромагнитным газоотборным клапаном позволяет установить начало открытия и конец закрытия клапана с точностью до 1⁰ поворота коленчатого вала. При этом длительность открытого состояния клапана составляет не более 5 мс.

Газоотборный комплекс дает возможность исследовать рабочий процесс в бензиновых, дизельных, включая роторнопоршневые ДВС, которые оснащены современными электронными системами управления.

В момент отбора проб газа комплекс позволяет проводить регистрацию 24-х параметров работы ДВС с дальнейшей ее обработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vibe I.I. 1962: Novoye o rabochem tsikle dvigateley. / I.I. Vibe – М.: Mashgiz. – 271.
2. Voinov A.N. 1977: Sgoraniye v bystrokhodnykh porshnevykh dvigatelyakh. / A.N.Voinov – М.: Mashinostroyeniye. – 174-175.
3. Gorbunov V.V. 2006: Toksichnost dvigateley vnutrennego sgoraniya / V.V.Gorbunov, N.N. Patrakhaltsev – М.: FGUP «NAMI». – 123.
4. Gordon A.V. 1960: Elektromagnity postoyannogo toka / A.V.Gordon, A.G.Slivinskaya – Moskva -Leningrad: Gosudarstvennoye energeticheskoye izdatelstvo. – 140.
5. Gutarevich Yu.F. 1989: Okhrana okruzhayushchey sredy ot zagryazneniya vybrosami dvigateley [Tekst] / Yu. F. Gutarevich. - К.: Urozhay. - 224.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ТОКСИЧНОСТИ

6. Dyakov A.K. 1989: *Ekologicheskaya bezopasnost transportnykh potokov* / Dyakov A.K., Ignatyev Yu.V., Koshkin Ye.P. – M.: Transport – 128.
7. *Ekologiya 2002: Yekologiya avtomobilnogo transportu: [Navch. posibnik]* / [Gutarevich Yu.F., Zerkalov D.V., Govorun A.G., Korpach A.O., Merzhievskaya L.P.]; Za red. Yu.F. Gutarevich, D.V. Zerkalov ta in. – K.: Osnova. – 311.
8. Zvonov V.A. 1981: *Toksichnost dvigateley vnutrennego sgoraniya* / V.A. Zvonov– [2-e izd., pererab.] – M.: Mashinostroyeniye. - 160.
9. Kovbasenko S.V. 1999: *Pokrashchennaya yekologichnikh ta yekonomichnikh pokaznikov avtomobiliv* / S.V. Kovbasenko // *Visn. Skhidnoukr. derzh. un-tu.* – №1. – 85-88.
10. Kolotilo D.M. 1999: *Yekologiya i yekonomika: [Navchalnyy posibnik]* / D.M.Kolotilo. – K.: KNEU. – 368.
11. Krutov V.I. 1978: *Dvigatel vnutrennego sgoraniya kak reguliruyemyy obyekt* / V.I.Krutov. – M.: Mashinostroyeniye. – 472.
12. Kulchitskiy A.R. 2000: *Toksichnost avtomobilnykh i traktornykh dvigateley.* / A.R. Kulchitskiy - Vladimir: Vladim. gos. un-t. – 256.
13. Lukanin V.M. 1993: *Postanovka optimizatsionnykh zadach v sisteme «Avtotransportnyy kompleks – okruzhayushchaya sreda»* / V.M.Lukanin, Yu.V.Trofimenko, A.V.Efremov // *Transport, nauka i tekhnika, upravleniye.* – № 5 – 5-12.
14. Lukanin V.N. 1993: *Ekologicheskoye vozdeystviye avtomobilnykh dvigateley na okruzhayushchuyu sredu* / V.N.Lukanin, Yu.V.Trofimenko // *Itogi nauki i tekhniki.* – Tom 17. – 128-136.
15. Malakhov V.N. 1974: *Issledovaniye obrazovaniya okislov azota v tsilindre karbyuratornogo dvigatelya: dis. kand. tekhn. nauk: 05.04.02* / V.N.Malakhov. – K. – 122.
16. Pavlova Ye.I. 1998: *Ekologiya transporta [Tekst]* / Ye. I. Pavlova, Yu. V. Buralev. – M.: Transport. – 232.
17. Patent 2004: Patent 51494 Ukraina, MKI4 F 02 V 71/00. *Sistema avtomatichnogo vidboru prob gazu z tsilindra dviguna vnutrishnogo zgoryannya* / A.Z. Filippov, M.C. Atamanenko, Yu.A. Gerasimchuk – №2002042949; Zayav. 12.04.2002; Opubl. 15.09.2004, Byul. № 9.
18. Patent 2005: Patent 72969 Ukraina, MKI4 F 02 V 71/00. *Gazovidbirniy kompleks dlya viznachennya osnovnykh parametriv i toksichnosti dviguniv vnutrishnogo zgoryannya* / A.Z. Filippov, M.C. Atamanenko, Yu.A. Gerasimchuk, V.V. Derev'yanko – №2002118985; Zayav. 12.11.2002; Opubl. 16.05.2005, Byul. № 5.
19. Filippov, A. Z. 1995: *Promislova yekologiya (transport) [Tekst]: [navch. posib.]* / A. Z.Filippov. - K.: Vishcha shkola. - 82 s.
20. Filippov A.Z. 1998: *Toksichnist teplovikh dviguniv. Suchasniy stan ta shlyakhi zmenshennya* / A.Z.Filippov, S.D.Voytyuk, Yu.A.Gerasimchuk // *Mekhanizatsiya silskogospodarskogo virobnitstva: Zb. nauk. prats Natsionalnogo agrarnogo un-tu.–T. IV.* – K.: Vidavnitstvo NAU. – 177-184.
21. Filippov A., Beshun O., Krasowski E. 2001: *Pro mozhlivist reguluvannya potuzhnosti bagatotsilindrovikh dizelnikh dviguniv metodom vidklyuchennya okremikh robochikh tsikliv* // *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, Natsionalniy agrarniy universitet, Kiiiv, Polska Akademia Nauk Oddzial w Lublinie.* – Lublin. – 2001, T. 1. – 33-37.
22. Anatoliy Filippov.2005: *Dinamika dizelnogo DRTs (dvigatelya s regulirovaniyem moshchnosti otklyucheniyem otdelnykh rabochikh tsiklov)* / Anatoliy Filippov, Aleksey Beshun, Yuriy Gerasimchuk, Olga Gluhovska, Ludmila Evchenko // *Lublin: MOTROL [Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa].* – T. 7. – 83-91.

INVESTIGATION OF WORKING PROCESS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES ON TOXICITY PARAMETERS

Summary. The subject of this research is improvement of economic and ecological characteristics of internal combustion engines (ICE) by control of every cycle of engine operation. Our work focuses on more accurate measurement of burnt gases directly in combustion chamber, providing information for deeper understanding of chemical processes going on during burning of fuel in combustion chamber. It will help to devise better algorithms for controlling ICE electronically.

Key words: internal combustion engine, exhaust gas, electromagnetic gas sampling valve, parts per million (ppm), ecological indexes.