

Конструкция системы управления двигателем внутреннего сгорания

А.А. Токарев, А.В. Буланин, И.В. Бондаренко

ФГУП «Ростовский научно-исследовательский институт радиосвязи»

Аннотация: Создана конструкция системы управления двигателем внутреннего сгорания (ДВС) беспилотного воздушного судна (БВС), обеспечивающая пониженный расход топлива и устойчивую работу ДВС на высоте более 5000 м над уровнем моря. Разработана и изготовлена система удаленной настройки параметров ДВС в режиме реального времени в ходе полета БВС.

Ключевые слова: беспилотный, воздушное судно, система управления, двигатель внутреннего сгорания, удаленная настройка, радиоканал.

В связи с растущим интересом к БВС актуальным становится вопрос оснащения различных типов БВС ДВС-системой управления, позволяющей снизить расход топлива, повысить продолжительность и высотность работы ДВС, увеличить межсервисный интервал обслуживания, повысить стабильность работы в сложных погодных условиях, облегчить холодный пуск двигателя при отрицательной температуре окружающей среды.

Анализ рынка систем управления подобного типа отечественного и зарубежного производства показал, что количество производителей невелико, а существующие аналоги имеют высокую цену, не обеспечивают устойчивую работу на высоте 5000 м, не имеют возможности установки на различные типы ДВС, поставляются в комплекте с определенным ДВС [1].

Цель работы – обеспечить запуск двигателя внутреннего сгорания (далее ДВС) при температуре окружающей среды от минус 30 до плюс 50°C, повысить его топливную эффективность, обеспечить устойчивую работу на высоте 5000 м и дистанционную коррекцию параметров системы управления ДВС во время полета БВС малого класса.

Решаемые задачи:

1. Разработка конструкции системы управления различными типами ДВС для оснащения беспилотных воздушных судов (далее БВС) малого класса.

2. Разработка системы удаленной настройки параметров ДВС в режиме реального времени во время полета БВС.

3. Изготовление системы управления ДВС.

4. Проведение испытаний изготовленного устройства.

Анализ конструкций систем управления ДВС

Проанализируем системы управления ДВС, представленные на рынке.

1. Электронный блок управления (ЭБУ) Ecotrons (рисунок 1) для двигателей БВС разработан в США [2. 3].

Заявленные технические характеристики:

- предназначен для двигателей с рабочим объемом от 20 до 200 см³;
- обеспечивает устойчивую работу в широком диапазоне климатических условий;
- обеспечивает коррекцию топливной смеси в зависимости от атмосферного давления;
- осуществляет управление впрыском топлива и углом опережения зажигания;
- масса - 120 г;
- габариты - 78x64x20 мм.



Рис. 1. Блок управления Ecotrons

В процессе тестирования ЭБУ Ecotrons были выявлены следующие недостатки:

- неустойчивая работа ДВС;
- ДВС не реагирует на изменение базовых параметров подачи топлива и угла опережения зажигания ЭБУ;
- отсутствие необходимых параметров, описанных в документации.

2. Электронный блок управления Fiala (рисунок 2) для ДВС Fiala FM 120-B2-FS разработан в Чехии [4].

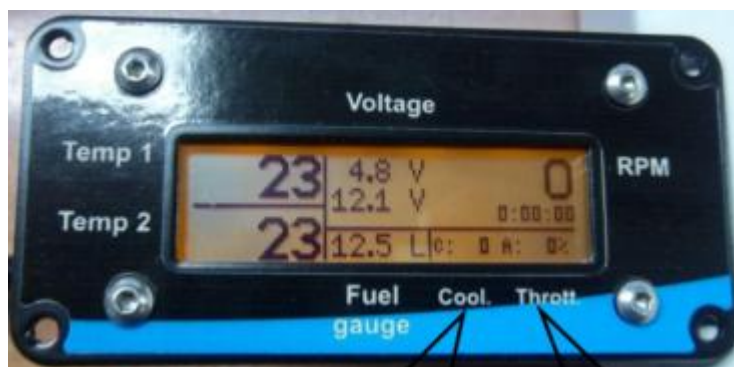


Рис. 2. Блок управления Fiala

Поставляется в комплекте с «инжекторной» версией ДВС Fiala FM 120-B2-FS.

В результате тестирования блока управления выявлены следующие недостатки:

- ЭБУ предназначен для работы только с Fiala FM 120-B2-FS;
 - нет возможности произвести настройку ДВС собственного производства, либо ДВС другого производителя;
 - повышенный расход топлива по сравнению с карбюраторной версией ДВС Fiala FM 120 B2-FS на 15%;
-

- не обеспечивает запуск ДВС при температурах ниже минус 10°C.

Проведённый анализ показал, что ни одна из существующих систем управления ДВС не удовлетворяет современным требованиям по надёжности, возможности настройки параметров для ДВС различных типов.

Технические решения

Собственная разработка системы по схеме моновпрыска позволит, предварительно оборудовав ДВС датчиком положения коленчатого вала, заменить штатный карбюратор ДВС на дроссельный узел (рисунок 3), включающий в себя датчик положения дроссельной заслонки (далее - ДПДЗ), форсунку впрыска топлива, фильтрующий элемент и датчик атмосферного давления.

Такое решение обеспечит применимость системы управления на ДВС как зарубежного, так и собственного производства без значительной доработки конструкции самого ДВС. С целью повышения помехозащищённости в системе управления используется датчик положения коленчатого вала на эффекте Холла.

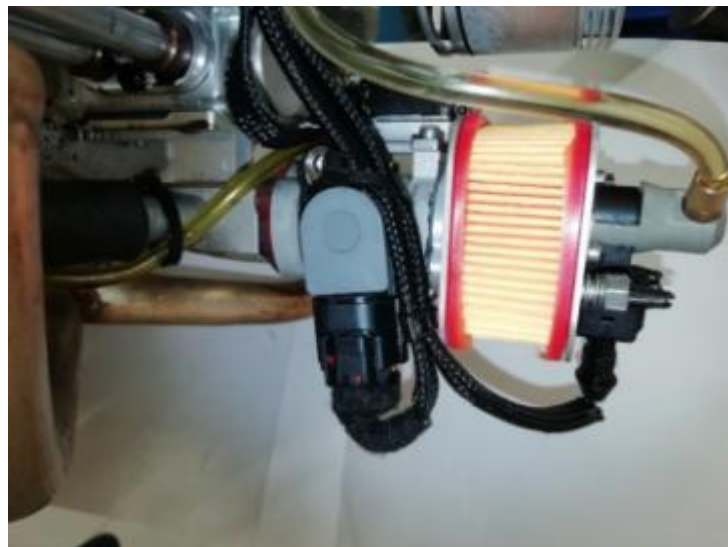


Рис. 3. Дроссельный узел

Структурная схема системы управления двигателем представлена на рисунке 4.

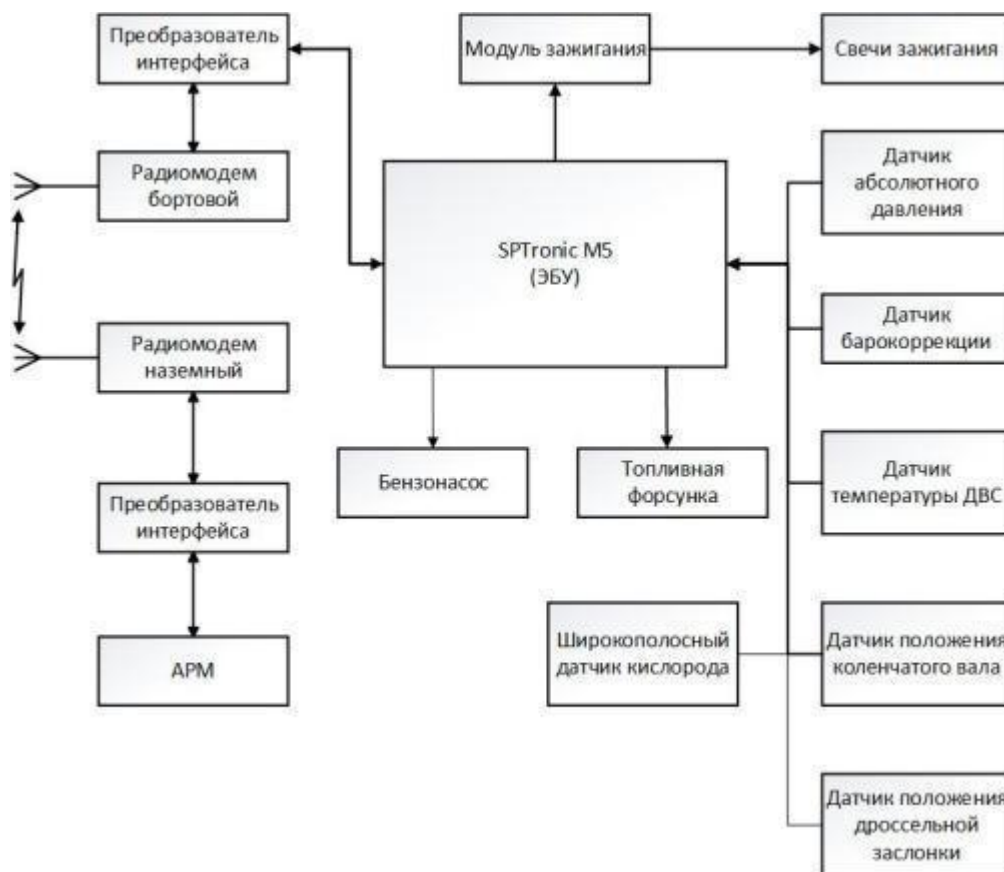


Рис. 4. Структурная схема системы управления двигателем

Назначение составных частей системы управления ДВС.

Электронный блок управления SPTronic M5 (ЭБУ) – обеспечивает электронное управление двигателем, обрабатывая данные со всех датчиков, производит расчет базовых карт и на основе карт коррекции управляет временем впрыска топливной форсунки и углом опережения зажигания.

Датчик абсолютного давления (ДАД) – является составной частью системы контроля и управления ДВС, обеспечивая его нормальное функционирование в зависимости от текущего режима и нагрузки. Посредством ДАД измеряется давление и температура во впускном коллекторе двигателя. На основе этой информации ЭБУ выполняет расчет количества воздуха, поступающего в цилиндры во время такта впуска, и в соответствии с алгоритмами, изменяет пропорцию воздуха и горючего в топливной смеси в момент впрыска.

Датчик барокоррекции - измеряет атмосферное давление за бортом БВС.

Данные по давлению используются для корректировки топливной смеси и обеспечения устойчивой работы ДВС в диапазоне высот от 0 до 5000 м.

Датчик положения коленвала (ДПКВ) – измеряет положения коленчатого вала в каждый момент времени. Необходим для управления системой впрыска и зажигания, определения момента прохождения верхней мёртвой точки (ВМТ).

Датчик температуры ДВС – определяет фактическую температуру ДВС, используемую для корректировки оптимальной топливоподачи.

Датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ) – определяет степень открытия дроссельной заслонки. Необходим для расчета топливоподачи и расчета карт циклового наполнения.

Топливная форсунка – обеспечивает распыление топлива во впускной коллектор в объёме, заданном ЭБУ.

Модуль зажигания – обеспечивает образование высоковольтного электрического импульса на свече зажигания согласно заданию ЭБУ.

Широкополосный датчик кислорода (ШДК) – определяет количество оставшегося несгоревшего топлива, либо кислорода в выхлопных газах.

Датчик необходим для настройки карт топливной смеси. При правильной настройке ДВС смесь в камере сгорания будет в соотношении 14, 7:1 (воздух/горючее).

Блок преобразования интерфейсов – необходим для преобразования CAN-протокола в Ethernet-протокол на БВС с целью передачи данных по радиоканалу и обратного преобразования Ethernet-протокола в CAN-протокол на земле для отладки работы алгоритмов управления ДВС.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) – персональный компьютер с установленным специальным программным обеспечением, позволяющим выполнять отладку системы управления ДВС.

Разработанная система управления по сигналам с датчиков управляет как топливной смесью, так и углами опережения зажигания ДВС, что позволяет ей обеспечивать устойчивую работу ДВС в различных режимах.

Настройка и испытания системы управления ДВС

При установке системы управления на ДВС необходимо произвести настройку топливных карт и таблиц опережения зажигания, данная процедура делится на несколько этапов:

- а) настройка ДВС, оборудованного системой управления, выполняется при нормальных условиях (НУ). При этом настраивается запуск ДВС и устойчивая работа в диапазоне рабочих оборотов, согласно паспорту ДВС;
- б) настройка запуска и работы двигателя при пониженной и повышенной температуре окружающей среды;
- в) настройка запуска и работы ДВС на высоте.

В процессе настройки блока управления пройдены все три этапа:

- при настройке в НУ двигатель работал устойчиво во всех режимах.

Расход топлива, по сравнению с карбюраторной версией двигателя, снизился

на 25% - с 490 до 367 г/кВт·ч. ДВС с оборудованной системой управления представлен на рисунке 5.

- настройка системы управления ДВС в климатических камерах выполнялась на территории ГАНТК Бериева.



Рис. 5. ДВС с оборудованной системой управления

Настройка ДВС в камерах тепла и холода представлена на рисунке 6.

Настройка ДВС в барокамере при пониженном атмосферном давлении приведена на рисунке 7.

В результате настройки системы управления ДВС запускался и устойчиво работал в климатических камерах во всех режимах, но при испытании силовой установки на БВС, была выявлена проблема с несоответствием топливной смеси реальной высоте полета, вследствие чего двигатель неустойчиво работал на высотах более 300 м - глох или не выходил на заданную мощность. Эта проблема связана с несовершенством смоделированной атмосферы в испытательной барокамере. Причиной тому являлась невозможность обеспечить достаточное натекание воздуха в камеру, вследствие чего воздух в камере быстро загазовывался.



Отладка ДВС при отрицательной температуре



Отладка ДВС при повышенной температуре

Рис. 6. Настройка ДВС в камерах тепла и холода



Рис. 7. Настройка ДВС в барокамере

Из изложенного видно, что корректная настройка барокоррекции системы управления ДВС в барокамере невозможна - ее необходимо выполнять в полете, в режиме реального времени, постепенно повышая высоту полета и корректируя коэффициент барокоррекции.

В этой связи для настройки коэффициентов барокоррекции использовался самолет АН-2, на фюзеляже которого крепился БВС с установленной силовой установкой (рисунок 8).

Полет силовой установки на самолете АН-2 позволил качественно отстроить коэффициент барокоррекции топливной смеси до высоты 3000 м - высота ограничена техническими характеристиками самолета АН-2 и потребностью применения кислородных масок для набора большей высоты.

С целью выполнения настройки коэффициента барокоррекции системы управления ДВС в полном объеме (до 5000 м), сокращения сроков настройки и снижения стоимости настройки системы управления, был разработан и изготовлен блок преобразования интерфейса. Схема устройства представлена на рисунке 9, а его внешний вид - на рисунке 10.



Рис. 8. БВС, закрепленный на фюзеляже самолета АН-2

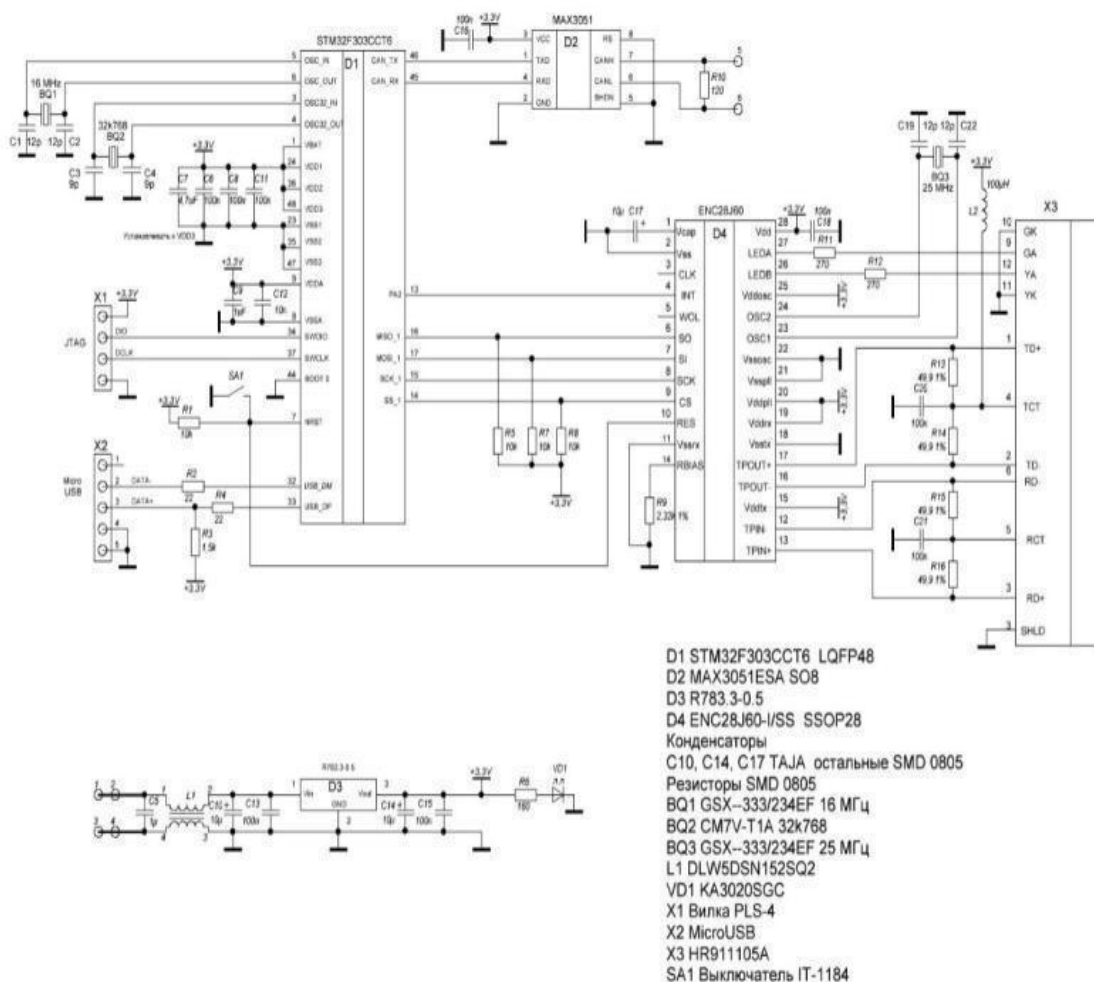


Рис. 9. Блок преобразования интерфейса, схема электрическая принципиальная

Блок преобразования интерфейса позволяет осуществлять удалённую настройку системы управления ДВС (при полете БВС) в режиме реального времени на высотах до 6000 м и при удалении от места старта до 30000 м. Удалённая настройка осуществляется через штатный канал связи БВС, дальность и высота ее действия ограничивается мощностными характеристиками канала связи БВС.



Рис. 10. Блок преобразования интерфейса, конструктивное исполнение

Применение разработанной системы управления ДВС позволило успешно сдать испытания, выполнив требования к работе на высоте 5000 м (рисунок 11).

В результате проведённой работы разработана конструкция системы управления различными типами ДВС для оснащения БВС малого класса, изготовлен опытный образец, проведены испытания.

Выводы

Система обеспечивает:

- запуск ДВС при температуре окружающей среды от минус 30 до 50°С;
- повышенную топливную эффективность (снижение расхода топлива на 25% по сравнению с карбюраторной версией ДВС);
- устойчивую работу ДВС на высоте 5000 м.

Для проведения удалённой настройки коэффициентов барокоррекции (высотной настройки ДВС) разработан и изготовлен блок преобразования интерфейса, позволяющий проводить настройку любых типов ДВС для БВС малого класса в режиме реального времени (в полёте) по радиоканалу.



Рис. 11. Полет БВС на высоте 5000 м

Литература

1. Медведев В.В. Двигатели внутреннего сгорания. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет. 2017. 65 с.
2. SPTronicM5. Описание. URL: sptronic.ru/products/ECU/m5/ (дата обращения: 29.03.2021).
3. Fiala ЭБУ. Описание. URL: vrtule-fiala.cz/en/uav/fm-60-s1-fs-112.html (дата обращения: 29.03.2021).
4. Ecotrons ЭБУ. Описание. URL: ecotrons.com/small_engine_fuel_injection_kit (дата обращения: 29.03.2021).



References

1. Medvedev V.V. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. [Internal combustion engines]. Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. 2017. 65 p.
2. SPTronic M5. Opisanie. [SPTronicM5.Description]. URL:sptronic.ru/products/ECU/m5/ (date assessed 29.03.2021).
3. Fiala EBU. Opisanie. [Fiala EBU. Description]. URL: vrtule-fiala.cz/en/uav/fm-60-s1-fs-112.html (date assessed 29.03.2021).
4. Ecotrons EBU. Opisanie. [Ecotrons EBU. Description]. URL: ecotrons.com/small_engine_fuel_injection_kit (date assessed 29.03.2021).