

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПРОЦЕССОМ УПРАВЛЯЕМОГО САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ГОМОГЕННОЙ ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В СОСТАВЕ МОБИЛЬНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Хрипач Н.А.¹, Петриченко Д.А.¹, Папкин Б.А.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», Университет машиностроения, Москва (Россия), borispapkin@yandex.ru

Процесс быстрого сгорания гомогенной разбавленной смеси с управляемым самовоспламенением в двигателях внутреннего сгорания является перспективной технологией, которая позволяет достичь высокой топливной экономичности и низких выбросов вредных веществ с отработавшими газами. В статье описывается подход к управлению тепловым двигателем с процессом управляемого самовоспламенения гомогенной топливовоздушной смеси в составе мобильных и стационарных энергоустановок. Описаны основные подсистемы блока управления, а также ключевые состояния и алгоритмы системы управления в соответствии с разработанным конечным автоматом. Рассмотрены условия работы теплового двигателя при ожидании, запуске, прогреве и переходных режимах с принудительного зажигания на режим управляемого самовоспламенения. В качестве прототипа теплового двигателя внутреннего сгорания (ДВС) рассматривался двигатель с непосредственным впрыском бензина. В качестве электрической машины рассматривался асинхронный двигатель с сопутствующей силовой управляющей электроникой.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, гомогенное самовоспламенение, внутренняя рециркуляция, алгоритмы управления.

ALGORITHMS CONTROL THE HEAT ENGINE PROCESS CONTROLLED AUTO-IGNITION HOMOGENEOUS FUEL MIXTURE INTO MOBILE AND STATIONARY POWER PLANTS

Khripach N.A.¹, Petrichenko D.A.¹, Papkin B.A.¹

¹Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow state university of mechanical engineering (MAMI)" (107023, Moscow, st.BolshayaSemenovskaya, 38), e-mail: borispapkin@yandex.ru

The process of the fast burning of the diluted mixture with the controlled self ignition in combustion engines is a perspective technology that leads to high fuel economy and low polutions. This paper describes an approach to control of the heat engine implementing the process of the controlled autoignition of the homogeneous fuel mixture and working as a part of mobile and stationary power units. The paper presents basic subsystems of the control block, along with the main states and algorithms of the control system in accordance with the developed state machine. The work highlights the functioning of the heat engine in the modes of waiting, startup, preheating and transition from the forced ignition to the controlled autoignition. We considered a direct injection engine as a prototype of the heat internal combustion engine. An asynchronous motor drive was used as an electrical machine in our system.

Keywords: the internal combustion engine, HCCI, internal EGR, algorithms control.

Процесс быстрого сгорания гомогенной разбавленной смеси с управляемым самовоспламенением (HCCI) в двигателях внутреннего сгорания является перспективной технологией, которая позволяет достичь высокой топливной экономичности и низких выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Процесс HCCI заключается в самовоспламенении смеси топлива, воздуха и отработавших газов, находящейся в цилиндрах двигателя, при достижении определенной температуры, при этом процесс сгорания, в отличие от аналогичного процесса в бензиновом двигателе при воспламенении от искры,

характеризуется большей скоростью и меньшей температурой [1,5]. В данной работе описываются алгоритмы системы управления тепловым двигателем с процессом управляемого самовоспламенения гомогенной топливоздушной смеси в составе мобильных и стационарных энергоустановок.

Современные бензиновые двигатели с непосредственным впрыском топлива в цилиндр, гибким регулированием клапанов, рециркуляцией отработавших газов и трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором позволяют обеспечить низкий уровень расхода топлива и количество вредных выбросов соответствующее требованиям современных экологических классов [3,4].

В качестве прототипа теплового двигателя внутреннего сгорания (ДВС) рассматривался двигатель с непосредственным впрыском бензина. В качестве электрической машины рассматривался асинхронный двигатель с сопутствующей силовой управляющей электроникой.

Для реализации основных алгоритмов управления тепловым двигателем и энергоустановкой в целом используется блок управления системой (УС), который в том числе обеспечивает графическое отображение и изменение параметров работы с помощью интерфейса оператора [2]. Блок УС реализован в программной среде LabView под управлением системы реального времени для контроллера cRIO-9074 RT.

В состав блока УС входят следующие основные подсистемы:

- подсистема обмена информацией с программируемой пользователем вентильной матрицей (ППВМ - низкоуровневая часть системы, реализующая быстрые алгоритмы (опрос датчиков, управление исполнительными механизмами, коммуникация по CAN), которая реализована с использованием LabVIEW (библиотеки обмена данными и открытых переменных). Она реализуется в отдельном цикле и обеспечивает синхронизацию переменных модуля реального времени с соответствующими переменными модуля ППВМ.
- подсистема отслеживания корректности данных и работы системы в целом.
- подсистема управления тепловым двигателем и энергоустановкой в целом, являющаяся основным алгоритмом.

Разработанный конечный автомат, в виде которого выполнен основной алгоритм работы системы, представлен на рисунке 1.



Рис.1. Конечный автомат системы

При конфигурировании системы используется конфигурационный файл, предназначенный для сохранения настроенных параметров системы. Сохраняемые параметры системы записываются при изменении в графическом интерфейсе оператора и считываются при инициализации системы.

При инициализации системы инициализируется канал связи с модулем ППВМ, запускаются все алгоритмы модуля ППВМ, считывается конфигурация ПОМЗУ из конфигурационного файла. Также выдаются сигналы инициализации исполнительным устройствам. Далее в соответствии с конечным автоматом система переводится в состояние «Ожидание».

В состоянии «Ожидание» система выполняет отслеживание критериев запуска, алгоритм работы системы в этом состоянии представлен на рисунке 2.

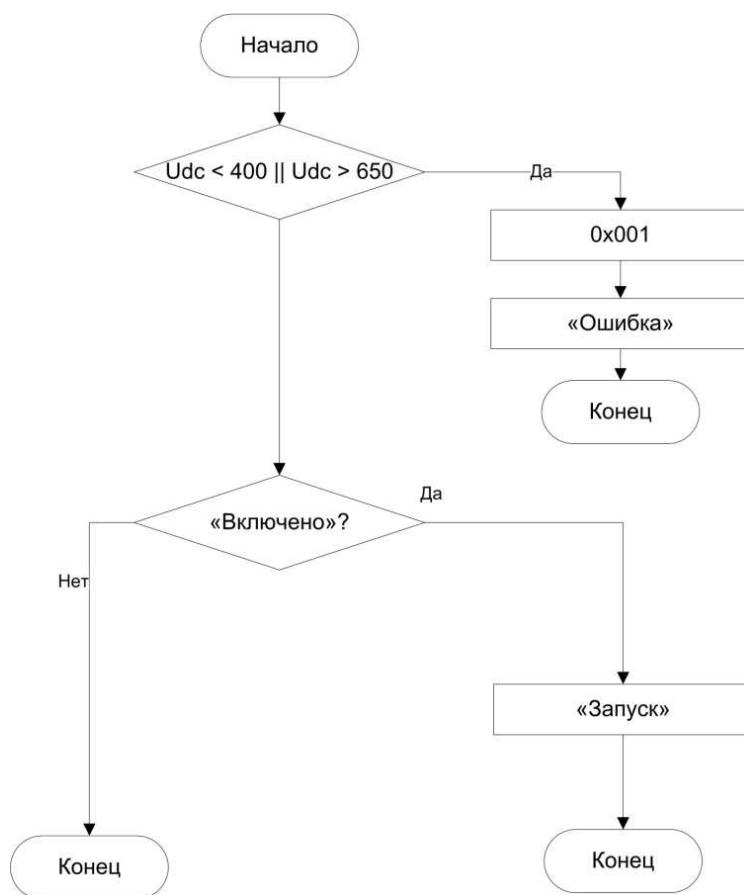


Рис. 2. Алгоритм работы системы в состоянии "Ожидание"

В состоянии "Ожидание" в системе проверяется диапазон напряжений. Если напряжение шины постоянного тока выходит за диапазон допустимых значений, т.е. меньше 400В или больше 650В, то система переводится в состояние ошибки с соответствующим кодом. Параметры работы инвертора принимаются от инвертора по шине CAN.

Коды ошибок представлены в таблице 1.

Таблица 1

Коды ошибок системы

Код	Описание
0x001	Напряжение шины ПТ находится вне допустимых пределов, т.е. ниже 400В или выше 650В.
0x002	Не удалось достичь указанных оборотов ДВС при пуске за отведенное время.
0x003	Не удалось запустить ДВС за отведенное время либо ДВС остановился во время работы. Появляется при невыполнении условия, при котором сила тока на шине ПТ должна быть меньше или равна 0 за отведенное время.
0x004	ДВС не запущен или остановился во время работы. Появляется при падении частоты вращения ниже 550 об/мин.
0x005	Не удалось достичь указанных оборотов ДВС при работе за отведенное время.
0xFFFF	Неизвестная ошибка.

Для запуска системы, пользователь активирует кнопку «Включено», что приводит к установке соответствующего флага в программе. При этом система переходит в режим «Запуск».

В состоянии "Запуск" система управления по построенному алгоритму осуществляет запуск двигателя внутреннего сгорания с классическим процессом принудительного зажигания топливоздушнoй смеси. При этом осуществляется контроль процесса запуска и анализ работы двигателя. После осуществления процесса запуска и при стабильной работе ДВС система переходит в режим "Прогрев". Алгоритм работы системы в состоянии "Запуск" представлен на рисунке 3.

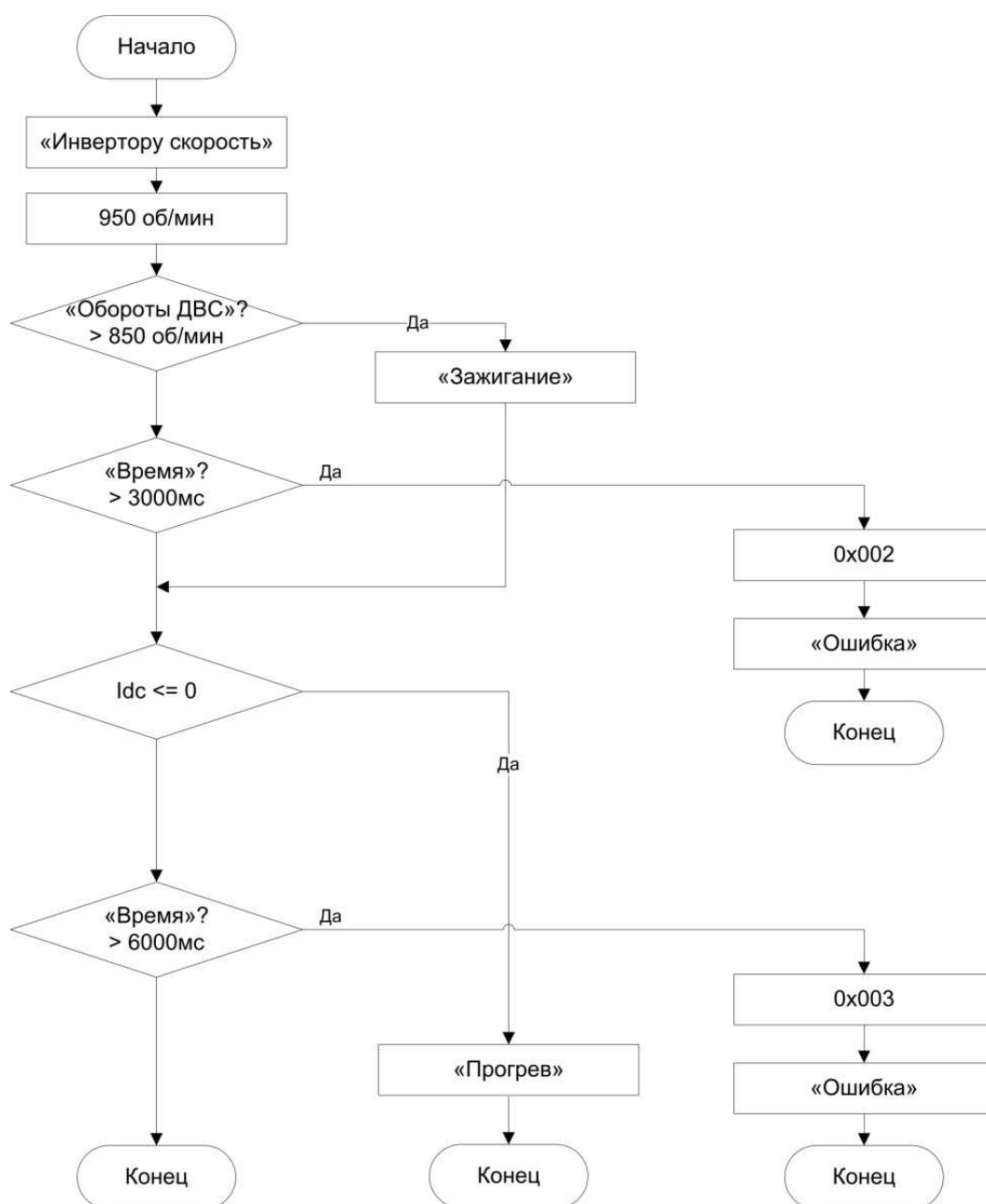


Рис. 3. Алгоритм работы системы в состоянии "Запуск"

При работе системы в состоянии "Запуск" инвертор, входящий в состав управляющей силовой электроники асинхронного двигателя, переходит в режим поддержания постоянной

скорости с частотой вращения 950 об/мин. При достижении частоты вращения 850 об/мин выполняется команда "Зажигание" для создания тока высокого напряжения и распределения его по свечам зажигания цилиндров ДВС. Если частота вращения не достигла значения 850 об/мин за 3500мс, то выдается ошибка с соответствующим кодом, и система переводится в состояние «Ошибка». При работе системы в состоянии "Запуск" осуществляется контроль за током цепи (постоянный ток) энергоустановки. При условии падения тока цепи ниже нулевой отметки запуск ДВС считается успешным, и система переводится в состояние "Прогрев". Если ток цепи не упал ниже нулевой отметки в течении 7000мс, ДВС считается не запущенным, выдается ошибка с соответствующим кодом, и система переводится в состояние «Ошибка».

При переходе системы в состояние "Прогрев" двигатель работает на режиме холостого хода до достижения температуры охлаждающей жидкости системы охлаждения 50°C. Алгоритм работы системы в состоянии "Прогрев" представлен на рисунке 4.

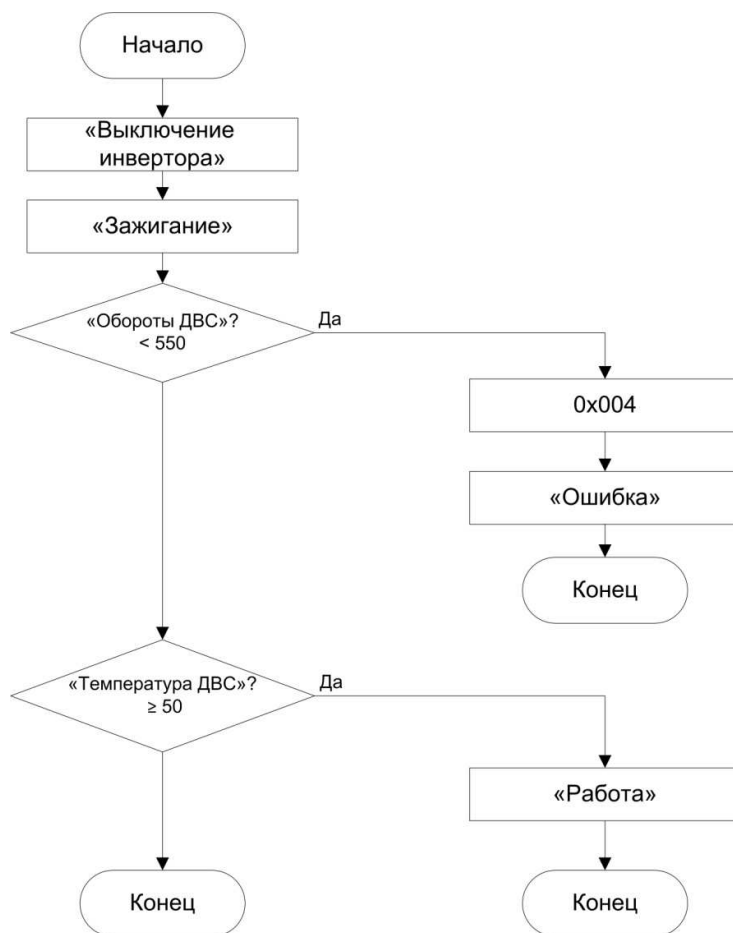


Рис.4.Алгоритм работы системы в состоянии "Прогрев"

При работе системы в состоянии "Прогрев" инвертор асинхронного двигателя отключается. Двигатель внутреннего сгорания получает команду на активацию системы зажигания. Далее осуществляется анализ и контроль работы двигателя внутреннего сгорания по параметру - частота вращения (об/мин). При условии изменения частоты вращения

двигателя ниже уровня 550 об/мин выдается ошибка с соответствующим кодом, и система переводится в состояние «Ошибка». При условии достижения уровня температуры охлаждающей жидкости системы охлаждения ДВС 50°C система переводится в состояние «Работа».

При функционировании системы в состоянии "Работа" двигатель внутреннего сгорания переводится в режим управляемого самовоспламенения и осуществляется генерация энергии для нужд внешних источников в зависимости от типа энергоустановки, мобильной или стационарной. Алгоритм работы системы в состоянии "Работа" представлен на рисунке 5.

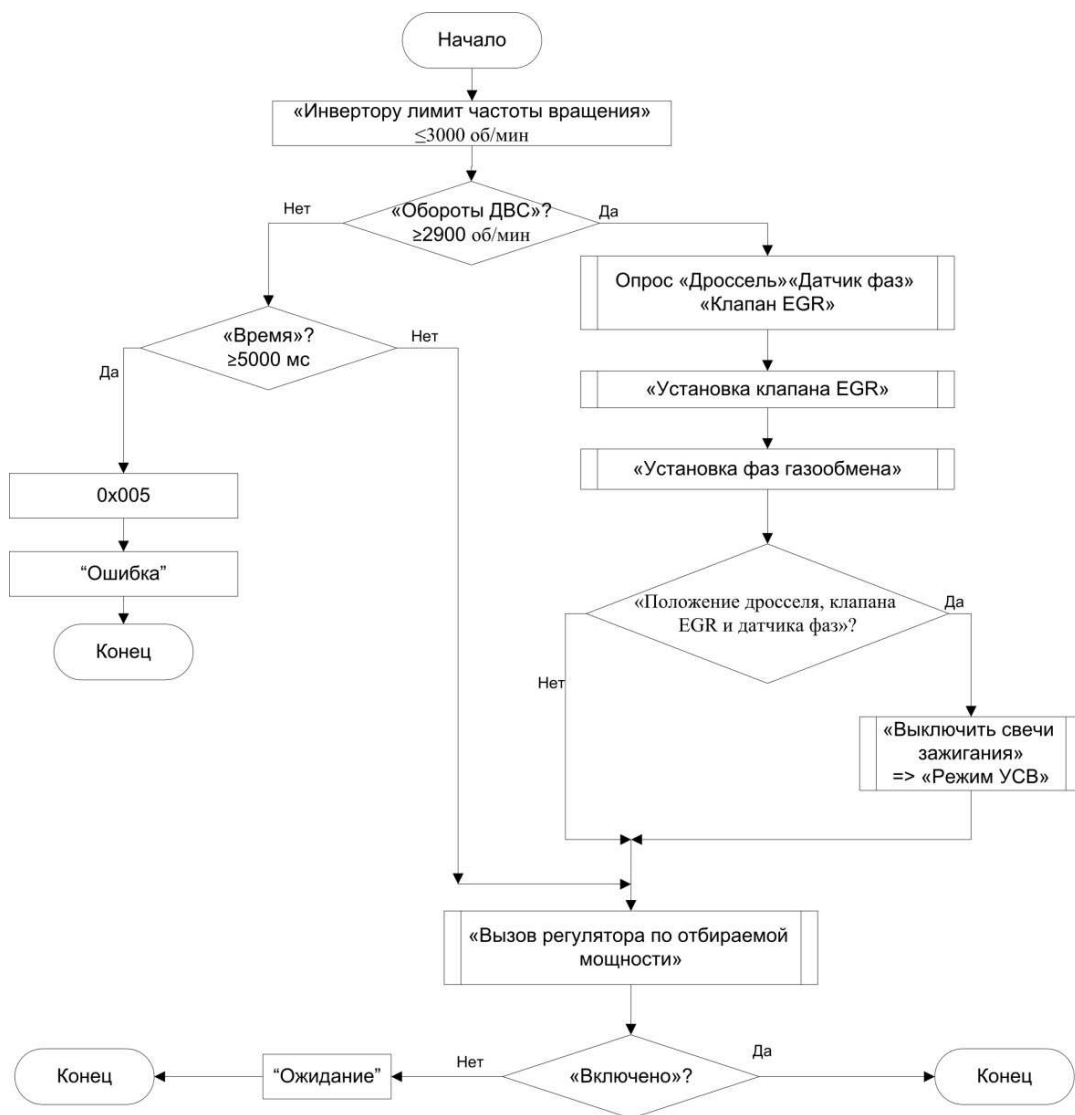


Рис.5. Алгоритм работы системы в состоянии "Работа"

При работе системы в состоянии "Работа" на начальной стадии инвертору асинхронного двигателя подается команда стабилизации частоты вращения, т.е. должно выполняться условие, при котором обороты двигателя внутреннего сгорания не превышаются в соответствии с установленной верхней границей. Далее для инвертора задается верхнее значение частоты вращения равное 3000 об/мин. Если частота вращения не достигла значения 2900 об/мин за 5000 мс, то выдается ошибка с соответствующим кодом, и

система переводится в состояние «Ошибка». При условии соблюдения диапазона значений частоты вращения ДВС 2900-3000 об/мин осуществляется опрос системы с целью получения данных от датчика положения дроссельной заслонки, датчика фаз, и данных о положении клапана рециркуляции отработавших газов (EGR). После опроса выполняется подготовка системы, органов управления ДВС к УСВ-процессу. Осуществляется установка клапана EGR, установка необходимых фаз газообмена, установка необходимого положения дросселя. При соблюдении вышеописанных условий система переводится в режим управляемого самовоспламенения (УСВ-процесс). Далее осуществляется вызов регулятора по отбираемой мощности для управления ДВС, т.е. выполняется при необходимости воздействие на органы управления двигателем в зависимости от силы тока на шине ПТ.

При функционировании системы в случае, когда флаг «Включено» снимается пользователем, система останавливается и переходит в режим «Ожидание».

Состояние системы "Конфигурирование" предназначено для установки и корректировки параметров работы энергоустановки. Вход в данное состояние осуществляется путем нажатия соответствующей пиктограммы на графическом интерфейсе оператора. При этом открывается диалоговое меню изменения параметров системы. В момент входа в состояние системы "Конфигурирование" выключаются все исполнительные устройства, и работа энергоустановки завершается, если она находилась в режиме "Работа". По окончании ввода измененных параметров, они записываются в конфигурационный файл, а система переводится в режим «Инициализация».

При переходе системы в состояние "Ошибка" выполняется принудительное выключение всех устройств и исполнительных механизмов энергоустановки. Оператор в графическом интерфейсе получает сообщение в соответствии с кодом ошибки. Выход из данного состояния в режим системы «Ожидание» происходит при нажатии пиктограммы «Сброс ошибки» в графическом интерфейсе оператора или при соблюдении заданных в алгоритмах условий возврата к нормальному функционированию системы.

Наряду с вышесказанным следует отметить, что для контроля работы всей системы в целом параллельно работает отдельная подпрограмма мониторинга состояния. В соответствии с конфигурационным файлом проверяется получение сигналов "Готов" или "Не готов" от всех устройств и исполнительных механизмов энергоустановки. Выполняется проверка условий заданных диапазонов токов и напряжения шины постоянного тока (шина ПТ). Выполняется контроль температурного уровня устройств и исполнительных механизмов по заданным диапазонам. При обнаружении каких-либо отклонений от заданных условий немедленно выдается ошибка с соответствующим кодом, и система переводится в состояние «Ошибка». При переходе системы в состояние «Ошибка» на любом этапе работы

осуществляется запись об ошибке с ее кодом в лог-файл. При снятии ошибок выполняется автоматический переход системы в режим "Ожидание".

Описанные алгоритмы позволяют оптимально и эффективно управлять тепловым двигателем в составе мобильных и стационарных энергоустановок, на режимах запуска, прогрева и переходных режимах с принудительного зажигания на режим управляемого самовоспламенения гомогенной топливовоздушной смеси.

Работа проводится при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № 14.124.13.251-МК об условиях использования гранта Президента Российской Федерации с организациями -участниками конкурсов, имеющими трудовые отношения с молодыми учеными, для государственной поддержки молодых российских ученых МК-251.2013.8 от "04" февраля 2013 г.

Список литературы

1. Сонкин В.И., Лежнев Л.Ю.,Хрипач Н.А., Папкин Б.А., Шустров Ф.А. "Применение процесса управляемого самовоспламенения в бензиновом двигателе" Тезисы докладов научно-технической конференции 5-е Луканинские чтения. Решение энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе. — М.: МАДИ, 2011. с. 109-110.
2. Петриченко Д.А. [и др.] Использование многопараметрической нейросетевой модели для управления энергоустановками на базе двигателя внутреннего сгорания // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2012. - Т. 1. - № 1.
3. Фомин В.М., Шустров Ф.А., Проблемы развития систем с непосредственным впрыскиванием бензина для двигателей российского автотранспорта, Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2013. Т. 1. № 2 (16). с. 226-234.
4. H. Xu, A. Williams, H. Fu, S.Wallace, S. Richardson, M. Richardson “Operating Characteristics of a Homogeneous Charge Compression Ignition Engine with Cam Profile Switching – Simulation Study”, SAE Paper № 2003-01-1859, 2003.
5. R. Chen, N. Milovanovic, J. Turner, D. Blundell “The Thermal Effect of Internal Exhaust Gas Recirculation on Controlled Auto Ignition”, SAE Paper № 2003-01-0751, 2003.

Рецензенты:

Скворцов А.А., д.ф.-м.н., профессор, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), г. Москва;

Химич В.Л., д.т.н., профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.