(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 041377 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.10.18

(21) Номер заявки
202090311

(22) Дата подачи заявки
2020.02.17

(51) Int. Cl. ***F02D 41/14*** (2006.01)
F02D 41/38 (2006.01)
F02D 41/40 (2006.01)

(54) СПОСОБ И СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВПРЫСКОМ ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЕ С ОБЩЕЙ РАМПОЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

(31) **16/281,761**
(32) **2019.02.21**
(33) **US**
(43) **2020.08.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ТРАНСПОРТЕЙШН АйПи ХОЛДИНГС, ЛЛС (US)

(72) Изобретатель:
Мангус Майкл, Додис Линдси, Лойте Пизей, Генри Люк, Мишлер Джеймс (US)

(74) Представитель:
Поликарпов А.В., Соколова М.В., Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В. (RU)

(56) US-A1-20140330504
US-A1-20090254262
JP-A-2010048214

(57) Предложены различные способы и системы для индексирования инжекторной карты и последующего управления впрыском топлива в двигатель. В одном варианте выполнения способ для двигателя включает впрыскивание топлива путем запуска инжектора в определенное время, которое определяют на основании командно-задаваемого топливного значения и функции модифицированной разности давлений в сопловом отверстии инжектора, причем модифицированная разность давлений получена на основании разности между давлением в рампе и пиковым давлением в цилиндре, которое преобразовано с помощью функции от скорости двигателя и от режима впрыска, при этом разность давлений скорректирована с помощью поправочного коэффициента.

041377 B1

041377 B1

Уровень техники

Область техники

Варианты выполнения описанного в данном документе изобретения относятся к способам и системам для управления топливной системой с общей рампой высокого давления в двигателе.

Описание уровня техники

Транспортные средства, например рельсовые транспортные средства, содержат источники энергии, такие как дизельные двигатели или двухтопливные двигатели, в которых используется как дизельное топливо, так и топливо другого типа, например природный газ. В некоторых транспортных средствах дизельное топливо подают в дизельный или двухтопливный двигатель с помощью системы с общей топливной рампой. В такой системе топливные инжекторы выполнены с возможностью впрыска топлива (например, дизельного топлива) из общей топливной рампы в цилиндры двигателя для сгорания. В некоторых двигательных системах может использоваться инжекторная карта, хранящаяся в памяти контроллера, для определения выходного значения для запуска топливных инжекторов. В одном примере выходное значение для запуска топливных инжекторов может содержать время запуска инжектора и/или количество времени, в течение которого инжекторы впрыскивают топливо в цилиндры двигателя. Инжекторная карта может содержать таблицу данных о запуске инжекторов, в которой каждое значение времени запуска инжектора соответствует значению давления в топливной рампе и топливному значению или количеству топлива, впрыскиваемого за один ход топливного инжектора. Таким образом, используя инжекторную карту, контроллер двигателя выводит время запуска инжектора для заданного топливного значения и измеренного давления в топливной рампе. Далее впрыск топлива может быть отрегулирован на основании определенного времени запуска инжектора для подачи необходимого количества топлива в цилиндры двигателя.

Сущность изобретения

В одном варианте выполнения машиночитаемый носитель информации с памятью содержит: данные о запуске топливного инжектора, проиндексированные в памяти согласно двум входным параметрам, инструкции для определения модифицированной разности давлений в сопловом отверстии топливного инжектора на основании определенных значений давления выше и ниже по потоку от указанного соплового отверстия, скорости двигателя, режима впрыска и функции модифицированной разности давлений, а также инструкции для генерирования выходного значения для запуска топливных инжекторов путем интерполяции индексированных данных о запуске топливного инжектора, используя значение модифицированной разности давлений в качестве первого из указанных двух входных параметров.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 изображает схему системы с общей топливной рампой согласно одному варианту выполнения данного изобретения.

Фиг. 2 изображает схему примера выполнения цилиндра многотопливного двигателя согласно одному варианту выполнения данного изобретения.

Фиг. 3 изображает таблицы для топливных инжекторов согласно одному варианту выполнения данного изобретения.

Фиг. 4-9 изображают графики зависимостей между значениями давления выше и ниже по потоку от соплового отверстия топливного инжектора и временем или углом поворота коленвала за цикл цилиндра для разных условий работы двигателя согласно одному варианту выполнения данного изобретения.

Фиг. 10 иллюстрирует способ регулирования впрыска топлива в двигатель на основании времени запуска инжекторов согласно одному варианту выполнения данного изобретения.

Подробное описание

Следующее описание относится к различным вариантам выполнения для индексирования инжекторной карты и соответственно управления впрыском топлива в двигатель. Количество топлива, впрыскиваемого в цилиндр двигателя посредством топливного инжектора, может быть выбрано на основании давления в топливной рампе и времени запуска инжектора (например, на величине времени, в течение которого инжектор впрыскивает топливо). Кроме того, данные о впрыске топлива для управления впрыском топлива могут быть сохранены в памяти контроллера двигателя. Например, данные о впрыске топлива могут содержать значения времени запуска впрыска топлива для различных топливных значений и значений давления в топливной рампе. Другими словами, данные о запуске впрыска топлива могут быть проиндексированы по давлению в топливной рампе и по топливному значению. Затем с помощью контроллера двигателя может быть определено время запуска впрыска топлива путем интерполяции данных инжекторной таблицы на основании определенного давления в топливной рампе (например, измеренного давления) и требуемого топливного значения. Таким образом, топливные инжекторы могут быть активированы исходя из полученного времени запуска для подачи требуемого количества топлива при заданном давлении в топливной рампе.

Однако индексирование инжекторной таблицы таким путем может приводить к неточностям линейной интерполяции вследствие нелинейной зависимости между данными об инжекторах, что приводит к большей погрешности при определении времени запуска топливного инжектора. В свою очередь, это снижает эффективность потребления топлива и приводит к большей неравномерности выбросов.

Если сделать зависимость между данными о запуске инжекторов более линейной, можно уменьшить погрешность интерполяции и, тем самым, повысить точность времени запуска топливных инжекторов. Например, инжекторная таблица может быть проиндексирована с помощью модифицированного давления, а не только по давлению в топливной рампе. Модифицированное давление может быть основано на функции модифицированного давления и на определенном или измеренном давлении в топливной рампе. В этом случае с помощью функции модифицированного давления можно преобразовывать данные о запуске топливного инжектора, хранящиеся в инжекторной таблице, чтобы зависимость между данными в ячейках указанной инжекторной таблицы стала более линейной. При интерполяции таких преобразованных данных можно уменьшить погрешность интерполяции по сравнению с непреобразованными данными и в результате получить более точное время запуска топливных инжекторов и обеспечить более точное управлению впрыском топлива в двигатель.

Изобретатели настоящего изобретения также признают, что модель топливного потока, представленная в вышеуказанных инжекторных таблицах, может привести к ошибкам при разных условиях работы двигателя. В частности, изобретатели установили, что при установке инжектора на двигателе (например, во время работы двигателя) значения давления вокруг соплового отверстия инжектора изменяются более динамично и обычно не совпадают со значениями давления вокруг того же соплового отверстия при установке инжектора на испытательном стенде, с помощью которого составляют типовые инжекторные карты. Таким образом, вышеописанная функция модифицированного давления может быть дополнительно преобразована для учета физических изменений при работе двигателя, которые приводят к погрешности в модели топливного потока. Например, в функции модифицированного давления (далее - функция модифицированной разности давлений) могут быть учтены изменения давления подачи в топливной рампе, а также давление в цилиндре двигателя в зависимости от режима впрыска, скорости двигателя, продолжительности впрыска, количества топлива и газа в цилиндре (например, когда двигатель представляет собой двухтопливный двигатель для сжигания как дизельного топлива, так и вторичного топлива, например, природного газа) и т.п.

Фиг. 1 изображает пример топливной системы с общей рампой в двигателе, таком как двигатель на фиг. 2. Указанная система может содержать инжекторы для впрыска топлива, такого как дизельное топливо. Как показано на фиг. 2, двигатель может представлять собой двигатель, работающий только на дизельном топливе (например, с впрыском только жидкого, дизельного топлива), или двухтопливный двигатель, в котором через топливную систему с общей рампой обеспечен впрыск как жидкого топлива, так и вторичного, газообразного топлива, такого как природный газ. Данные о запуске для указанных инжекторов могут храниться в памяти контроллера двигателя в виде карты, такой как карты, показанные на фиг. 3. Для учета погрешностей в модели топливного потока в инжекторе, установленном на двигателе, во время работы двигателя данные о запуске инжектора могут быть проиндексированы в инжекторной карте с помощью функции модифицированной разности давлений, которая основана на разности давлений в сопловом отверстии инжектора, на функции от режима впрыска и скорости двигателя, и на поправочном коэффициенте, с помощью которого учитывают разницу между давлением в инжекторе, установленном на двигателе, и давлением в инжекторе на испытательном стенде (например, во время испытания инжектора вне двигателя). Графики на фиг. 4-9 иллюстрируют изменения в давлении выше и ниже по потоку от соплового отверстия инжектора при обеспечении разных параметров впрыска, в том числе для одиночных и многократных впрысков, для разных режимов впрыска, при разных долях замещения газообразным топливом и т.п. На фиг. 10 представлен способ индексирования сохраненных данных о запуске топливного инжектора с помощью функции модифицированной разности давлений и последующего регулирования впрыска топлива на основании времени запуска инжектора, определяемого по инжекторной карте, содержащей проиндексированные данные о запуске топливного инжектора.

С помощью описанных в данном документе функций модифицированной разности давлений в отверстии инжектора может быть обеспечена более точная работа двухтопливного двигателя с высокой долей замещения топлива (например, при большой доле природного газа к общему количеству топлива, которое содержит природный газ и дизельное топливо), а также точное и эффективное выполнение последующих впрысков в двигателе, работающем на дизельном топливе, для снижения выбросов и количества потребляемого топлива.

Описанный в данном документе подход может быть применен в двигателях различных типов и в различных системах, приводимых в действие двигателями. Некоторые из этих систем могут быть стационарными, а другие могут быть размещены на полуподвижных или подвижных платформах. В промежутках между рабочими периодами полуподвижные платформы, например, установленные на прицеп-площадки, можно перемещать. Подвижные платформы содержат самоходные транспортные средства. Такие транспортные средства могут включать: дорожные транспортные средства, горное оборудование, морские суда, рельсовые транспортные средства и другие вездеходные транспортные средства. Для ясности иллюстрации в качестве примера подвижной платформы, поддерживающей систему согласно варианту выполнения данного изобретения, взят локомотив.

Перед тем, как перейти к подробному описанию предлагаемого подхода для индексирования инжекторной карты и последующего управления впрыском топлива в двигатель, сначала описан пример

топливной системы для двигателя. Например, на фиг. 1 изображена блок-схема топливной системы (CRS) 100 с общей рампой для двигателя транспортного средства, например, рельсового транспортного средства. Жидкое топливо, например, дизельное топливо, поступает или хранится в топливном баке 102. Топливный бак 102 проточно сообщается с топливным насосом 104 низкого давления. В варианте выполнения, показанном на фиг. 1, топливный насос 104 размещен внутри топливного бака 102 и может быть погружен ниже уровня жидкого топлива. В альтернативных вариантах выполнения топливный насос низкого давления может быть прикреплен снаружи топливного бака с возможностью перекачивания топлива с помощью всасывающего устройства. Регулирование работы топливного насоса 104 низкого давления обеспечено с помощью контроллера 106.

С помощью топливного насоса 104 низкого давления жидкое топливо перекачивают из топливного бака 102 в топливный насос 108 высокого давления по трубопроводу 110. В трубопроводе 110 выполнен клапан 112, с помощью которого регулируют поток топлива в трубопроводе 110. Например, клапан 112 представляет собой впускной дозирующий клапан (IMV). Клапан IMV 112 расположен выше по потоку от топливного насоса 108 высокого давления для регулирования расхода топлива, поступающего в топливный насос 108 высокого давления и далее в общую топливную рампу 114 для распределения топлива между топливными инжекторами 118 и выполнения впрыска топлива. Например, клапан IMV 112 может представлять собой электромагнитный клапан, открыванием и закрыванием которого управляют с помощью контроллера 106. Другими словами, контроллер 106 отправляет команду клапану IMV для его полного закрытия, полного открытия или нахождения в положении между полным закрытием и полным открытием, чтобы обеспечить управление топливным потоком, поступающим в топливный насос 108 высокого давления, с заданным расходом топлива. Во время работы транспортного средства клапаном IMV 112 управляют для обеспечения дозирования топлива на основании условий работы, причем при по меньшей мере некоторых условиях данный клапан может быть по меньшей мере частично открыт. Следует понимать, что данный клапан является лишь одним примером устройства управления для дозирования топлива, при этом можно использовать любой подходящий элемент управления в рамках объема данного изобретения. Например, может быть обеспечено электрическое управление положением или состоянием клапана IMV путем управления электрическим током в этом клапане. В другом примере может быть обеспечено механическое управление положением или состоянием указанного клапана путем управления серводвигателем для регулирования работы указанного клапана.

Посредством топливного насоса 108 высокого давления повышают давление топлива от более низкого к более высокому значению. Топливный насос 108 проточно сообщается с общей топливной рампой 114. С помощью топливного насоса 108 обеспечивается поступление топлива в общую топливную рампу 114 по трубопроводу 116. С общей топливной рампой 114 проточно сообщаются топливные инжекторы 118. Каждый из указанных топливных инжекторов 118 обеспечивает подачу топлива в один из цилиндров 120 двигателя, содержащихся в двигателе 122. В цилиндрах 120 двигателя топливо сгорает, обеспечивая транспортное средство энергией, например, посредством генератора переменного тока и тяговых двигателей. Управление работой топливных инжекторов 118 обеспечено с помощью контроллера 106. Во варианте выполнения на фиг. 1 двигатель 122 содержит четыре топливных инжектора и четыре цилиндра. В альтернативных вариантах выполнения двигатель может содержать большее или меньшее количество топливных инжекторов и цилиндров.

Топливо, перекачиваемое топливным насосом 104 низкого давления из топливного бака 102 к впуску клапана IMV 112, может использоваться при более низком давлении топлива или давлении топлива в двигателе. Таким образом, те компоненты системы CRS 100, которые находятся выше по потоку от топливного насоса 108 высокого давления, работают в области более низкого давления топлива или давления топлива в двигателе. С другой стороны, топливный насос 108 выполнен с возможностью перекачивания топлива с более низким давлением с обеспечением более высокого давления топлива или давления топлива в рампе. Таким образом, те компоненты системы 100, которые находятся ниже по потоку от насоса 108, находятся в области системы 100, в которой обеспечено более высокое давление топлива или давление топлива в рампе.

Давление топлива в области более низкого давления измеряют с помощью датчика 126 давления, размещенного в трубопроводе 110. Датчик 126 выполнен с возможностью отправки сигнала о давлении контроллеру 106. В альтернативном варианте применения датчик 126 давления проточно сообщается с выпуском топливного насоса 104 низкого давления. Температуру топлива в области более низкого давления топлива измеряют с помощью датчика 128 температуры, размещенного в трубопроводе 110. Датчик 128 температуры выполнен с возможностью отправки сигнала о температуре в контроллер 106.

Давление топлива в области более высокого давления измеряют с помощью датчика 130 давления, размещенного в трубопроводе 116. Датчик 130 давления выполнен с возможностью отправки сигнала о давлении контроллеру 106. В контроллере 106 данный сигнал о давлении используется для определения давления топлива (например, FRP) в общей топливной рампе. По сути, данные о давлении топлива в рампе (FRP) поступают в контроллер 106 с помощью датчика 130 давления. В альтернативном варианте применения датчик 130 проточно сообщается с выпуском топливного насоса 108 высокого давления. Следует отметить, что в некоторых вариантах применения различные рабочие параметры могут в целом

быть определены или получены косвенным путем в дополнение к непосредственным измерениям или вместо таких измерений.

Кроме вышеуказанных датчиков, контроллер 106 выполнен с возможностью приема различных сигналов от датчиков 134 двигателя, прикрепленных к двигателю 122, которые могут использоваться для оценки управляемого состояния топлива и соответствующей работы двигателя. Например, контроллер 106 выполнен с возможностью приема сигналов от датчиков, указывающих на соотношение воздуха и топлива, скорость двигателя, нагрузку на двигатель, температуру двигателя, температуру окружающей среды, топливное значение, число цилиндров, в которых происходит сгорание топлива, и т.п. В проиллюстрированном варианте выполнения контроллер 106 представляет собой вычислительное устройство, например, микрокомпьютер, содержащий процессорный блок 136, машиночитаемый носитель 138 информации, входные/выходные порты, память и шину данных. Машиночитаемый носитель 138, содержащийся в контроллере 106, выполнен с возможностью программирования с помощью машиночитаемых данных, представляющих собой инструкции, исполняемые указанным процессором для осуществления процедур и способов управления, описанных далее, а также других вариантов, которые прямо не указаны в данном документе.

Контроллер 106 выполнен с возможностью управления различными исполнительными средствами в CRS системе 100 на основании разных рабочих параметров, полученных или выведенных из разных сигналов, полученных от различных датчиков, для динамической оценки работоспособности указанной системы и управления работой двигателя на основании такой оценки. Например, в одном варианте выполнения контроллер 106 выполнен с возможностью регулирования впрыска топлива в двигатель. В частности, контроллер выполнен с возможностью регулирования режима впрыска топлива одного или более топливных инжекторов на основании определенного времени запуска инжекторов, что может включать управление сигналом широтно-импульсной модуляции для задания команды для указанных топливных инжекторов для впрыска топлива с некоторой продолжительность.

Контроллер 106 также выполнен с возможностью генерирования выходного сигнала для запуска топливных инжекторов, например, времени запуска топливных инжекторов, на основании рабочих условий системы CRS и сохраненных данных о запуске топливного инжектора. Данные о запуске топливного инжектора могут быть сохранены в памяти машиночитаемого носителя указанного контроллера. В одном примере данные о запуске топливного инжектора могут быть сохранены в инжекторной таблице или карте, например, в первой инжекторной таблице 300 или во второй инжекторной таблице 302, которые показаны на фиг. 3.

Фиг. 2 изображает вариант выполнения камеры сгорания или цилиндра 200 многоцилиндрового двигателя 202 внутреннего сгорания, такого как двигатель, содержащий топливную систему с общей рампой, описанную выше со ссылкой на фиг. 1. В качестве цилиндра можно рассматривать цилиндровую головку 201, вмещающую впускные и выпускные клапаны и инжектор для жидкого топлива, описанные далее, и цилиндровый блок 203.

Двигатель выполнен с возможностью управления по меньшей мере частично с помощью системы управления, содержащей контроллер 106, который, в свою очередь, может быть соединен с системой транспортного средства. Как описано выше, контроллер выполнен с возможностью получения сигналов от различных датчиков двигателя, включая, но без ограничения этим, сигналы о скорости двигателя, нагрузке на двигатель, давлении нагнетания, давлении выхлопа, скорости турбонагнетателя, давлении в окружающей среде, уровнях CO2, температуре выхлопа, выбросах NOx, температуре хладагента двигателя (ECT) от датчика 230 температуры, прикрепленного к охлаждающему кожуху 228, и т.д. Таким образом, указанный контроллер выполнен с возможностью управления устройством двигателя путем отправки команд для различных компонентов, таких как генератор переменного тока, клапаны цилиндров, дроссель, топливные инжекторы и т.д.

Цилиндр (например, камера сгорания) может содержать гильзу 204 с размещенным в ней поршнем 206. Поршень может быть прикреплен к коленвалу 208 с обеспечением преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленвала. Коленчатый вал может содержать датчик скорости для вывода данных о скорости (например, мгновенной скорости) коленвала. В некоторых вариантах выполнения двигатель может представлять собой четырехтактный двигатель, в котором зажигание каждого цилиндра происходит в порядке зажигания за два оборота коленчатого вала. В других вариантах выполнения двигатель может представлять собой двухтактный двигатель, в котором зажигание каждого цилиндра происходит в порядке зажигания за один оборот коленчатого вала.

Цилиндр выполнен с возможностью приема всасываемого воздуха для сгорания из всасывающего устройства, содержащего впускной канал 210. В указанный впускной канал по впускному патрубку поступает всасываемый воздух. К примеру, кроме указанного цилиндра, впускной канал может сообщаться с другими цилиндрами двигателя, или впускной канал может сообщаться только с указанным цилиндром.

Выхлопной газ, образующийся в результате сгорания топлива в двигателе, поступает на выпуск, в котором выполнен выпускной канал 212. Выхлопной газ протекает по выхлопному каналу, в некоторых вариантах выполнения в турбонагнетатель (не показан на фиг. 2) и во внешнюю среду через выпускной

патрубок. Например, выпускной канал может быть также выполнен с возможностью приема выхлопных газов из других цилиндров двигателя, помимо указанного цилиндра.

Каждый цилиндр двигателя может содержать один или более впускных клапанов и один или более выпускных клапанов. Например, изображенный цилиндр содержит по меньшей мере один впускной тарельчатый клапан 214 и по меньшей мере один выпускной тарельчатый клапан 216, расположенные в верхней части цилиндра. В некоторых вариантах выполнения каждый цилиндр двигателя, в том числе указанный цилиндр, может содержать по меньшей мере два впускных тарельчатых клапана и по меньшей мере два выпускных тарельчатых клапана, расположенных на цилиндровой головке.

Впускной клапан выполнен с возможностью управления контроллером с помощью исполнительного элемента 218. Аналогично выпускной клапан выполнен с возможностью управления контроллером с помощью исполнительного элемента 220. При некоторых условиях с помощью контроллера обеспечена возможность изменять сигналы, отправляемые на исполнительные элементы, для управления открыванием и закрыванием соответствующих впускных и выпускных клапанов. Положения впускного и выпускного клапанов могут быть определены соответствующими датчиками 222 и 224 положения клапанов, соответственно, и/или датчиками положения кулачков. К примеру, исполнительные элементы клапанов могут быть выполнены по типу электрического срабатывания, или по типу кулачкового срабатывания, или в виде комбинации этих типов.

Может быть обеспечено совместное управление режимом работы впускных и выпускных клапанов, или может использоваться любой из следующих вариантов: переменный режим для кулачка впускного клапана, переменный режим для кулачка выпускного клапана, независимый переменный режим для обоих кулачков или фиксированный режим для кулачков. В других вариантах выполнения управление впускными и выпускными клапанами может быть обеспечено с помощью системы общего клапанного привода или приводного устройства, или привода или приводного устройства для переменного режима работы клапанов. Кроме того, управление впускными и выпускными клапанами может быть обеспечено так, чтобы посредством контроллера получить регулируемый подъем на основании условий работы.

В других вариантах выполнения для открывания и закрывания впускных и выпускных клапанов может использоваться выступ механического кулачка. Дополнительно, несмотря на то, что выше описан четырехтактный двигатель, в некоторых вариантах выполнения может использоваться двухтактный двигатель, в котором впускные клапаны не применяются, а в стенке цилиндра имеются порты, обеспечивающие поступление в цилиндр впускного воздуха по мере перемещения поршня для открывания указанных портов. Это же касается и выпуска, несмотря на то, что в некоторых примерах могут использоваться выпускные клапаны.

В некоторых вариантах выполнения каждый цилиндр двигателя может содержать один или более топливных инжекторов для подачи топлива в указанный цилиндр. В качестве неограничительного примера фиг. 2 изображает цилиндр, содержащий топливный инжектор 226. Как показано на чертеже, топливный инжектор прикреплен непосредственно к цилиндру для впрыска топлива непосредственно в указанный цилиндр. Таким образом, топливный инжектор обеспечивает так называемый прямой впрыск топлива в цилиндр сгорания. Топливо может поступать в топливный инжектор из первой системы 232 жидкого топлива, которая может содержать топливный бак, топливные насосы и топливную рампу, как описано выше со ссылкой на фиг. 1. В одном примере топливо представляет собой дизельное топливо, которое сгорает в двигателе в результате воспламенения сжатием. В других, неограничительных вариантах выполнения топливо может представлять собой бензин, керосин, биодизельное топливо или другие нефтяные дистилляты с примерно такой же плотностью, которые сгорают в результате воспламенения сжатием (и/или искрового воспламенения). В одном примере контроллер может быть выполнен с возможностью управления количеством, продолжительностью, режимом и схемой распыления топлива, подаваемого в цилиндр через топливный инжектор. Как описано далее, управление подачей топлива в цилиндр обеспечено с помощью контроллера, выполненного с возможностью приведения в действие топливного инжектора на основании условий работы двигателя и сохраненной инжекторной таблицы.

Кроме того, каждый цилиндр двигателя может быть выполнен с возможностью приема газообразного топлива (например, природного газа), используемого вместо дизельного топлива или в дополнение к нему. Подача газообразного топлива в цилиндр может быть обеспечена по впускному патрубку. Как показано на фиг. 2, во впускной канал может поступать газообразное топливо, подаваемое из второй системы 234 газообразного топлива по одной или более линиям для газообразного топлива, с помощью насосов, регуляторов давления и других компонентов, расположенных выше по потоку от указанного цилиндра. В некоторых вариантах выполнения система газообразного топлива может быть расположена на удалении от двигателя, например, на другом транспортном средстве (например, на топливозаправочной машине), и подача газообразного топлива в двигатель может быть обеспечена по одной или более топливным линиям, проходящим между отдельными транспортными средствами. Однако в других вариантах выполнения система газообразного топлива может быть расположена на том же транспортном средстве, что и двигатель.

Газовпускные клапаны, такие как газовпускной клапан 236, могут быть выполнены с возможностью подачи газообразного топлива из системы газообразного топлива в каждый соответствующий цилиндр

по соответствующим впускным каналам. Например, обеспечена возможность регулирования степени и/или продолжительности открывания газовпускного клапана для регулирования количества газообразного топлива, подаваемого в цилиндр. В этом случае в каждый соответствующий цилиндр может быть обеспечена подача газообразного топлива из отдельного газовпускного клапана, благодаря чему обеспечивается индивидуальное управление количеством газообразного топлива, подаваемого в цилиндры. Однако в некоторых вариантах выполнения может быть использована система одноточечной газации, в которой газообразное топливо смешивают с впускным воздухом в одной точке выше по потоку от цилиндров. В такой конструкции может быть обеспечена подача по существу одинакового количества газообразного топлива в каждый цилиндр. Для регулирования количества газообразного топлива, обеспечиваемого системой одноточечной газации, в некоторых примерах клапан управления газообразным топливом может быть расположен у места соединения линии подачи газообразного топлива и линии подачи впускного воздуха в двигатель или впускного трубопровода. Степень и/или продолжительность открывания клапана управления газообразным топливом могут регулироваться для управления количеством газообразного топлива, поступающего в цилиндры. В других примерах в системе одноточечной газации обеспечена возможность регулирования количества газообразного топлива, поступающего в цилиндры, при помощи другого механизма, такого как управление регулятором газообразного топлива путем управления насосом для газообразного топлива и т.п.

Как указано выше, топливные инжекторы выполнены с возможностью запуска в соответствии с выходным значением для запуска топливных инжекторов, например, в соответствии с временем запуска топливных инжекторов (например, продолжительностью открытия), на основании расчетных и/или измеренных рабочих условий двигателя и сохраненных данных о запуске топливного инжектора. В одном примере данные о запуске топливного инжектора могут быть сохранены в памяти машиночитаемого носителя в контроллере, в инжекторной таблице или карте.

На фиг. 3 приведено два примера инжекторных таблиц. Первая инжекторная таблица 300 содержит данные о запуске топливного инжектора, индексированные в памяти по значению давления, например, давления в топливной рампе (FRP). Вторая инжекторная таблица 302 содержит данные о запуске инжекторов, индексированные в памяти по значению модифицированного давления, которое может представлять собой модифицированную разность давлений в сопловом отверстии инжектора. Как подробно описано далее, модифицированная разность давлений может представлять собой функцию в виде квадратного корня из разности между давлением в рампе и пиковым давлением в цилиндре, причем пиковое давление умножено на функцию от скорости двигателя и от режима впрыска, при этом разность давлений скорректирована с помощью поправочного коэффициента. Во второй инжекторной таблице 302 представлен пример другого способа индексирования инжекторной таблицы, который подробно описан далее. В первой инжекторной таблице 300 представлен пример стандартного способа индексирования инжекторной таблицы.

Как показано на фиг. 3, первая инжекторная табл. 300 содержит набор значений давления в топливной рампе (FRP) по оси x (например, горизонтальной оси) или первая строка 304 указанной таблицы. В одном примере набор значений давления в топливной рампе может находиться в диапазоне от 600 до 2200 бар. В другом примере набор значений давления в топливной рампе может находиться в диапазоне от 400 до 2800 бар. Кроме того, инжекторная таблица 300 содержит набор топливных значений по оси y (например, вертикальной оси) или первый столбец 306 таблицы. В одном примере набор топливных значений может находиться в диапазоне от 0 до 3000 мм^3/ход. В другом примере набор топливных значений может находиться в диапазоне от 0 до значения, превышающего 3000 мм^3/ход. Вышеперечисленные диапазоны значений давления в топливной рампе и топливных значений могут изменяться (например, быть больше или меньше) в зависимости от применения двигателя и/или типа инжектора. Инжекторная таблица 300 также содержит набор ячеек 308, содержащих данные о запуске топливного инжектора. В одном примере данные о запуске топливного инжектора могут представлять собой значения времени запуска топливных инжекторов (например, время открывания инжекторов или количество времени, требуемое для запуска инжекторов и впрыскивания топлива в цилиндры двигателя). В данном примере каждая ячейка содержит время запуска топливного инжектора, которое соответствует одному значению давления в топливной рампе и одному топливному значению. В другом примере данные о запуске топливного инжектора могут быть другим параметром впрыска топлива.

Первая инжекторная табл. 300 может содержать первое число столбцов и второе число строк, причем оба числа больше 1. Первое число и второе число могут быть максимальным числом строк и максимальным числом столбцов. В одном примере максимальное число строк и максимальное число столбцов могут быть разными. В другом примере максимальное число строк и максимальное число столбцов может быть меньше 50. Таким образом, данная таблица может содержать конечное число отдельных значений данных. Например, если максимальное число строк равно 10, а максимальное число столбцов равно 8, может быть 10 строк и 8 столбцов с данными о запуске топливного инжектора. В частности, в первой строке 304 может быть 8 значений давления в топливной рампе, а в первом столбце 306 - 10 топливных значений. Таким образом, в данном примере имеется 80 отдельных значений данных о запуске топливного инжектора или значений времени запуска топливных инжекторов. В одном примере максимальное

число столбцов и строк может выбрано на основании доступного объема памяти или пространства на машиночитаемом носителе в указанном контроллере. Например, по мере увеличения числа отдельных значений данных или столбцов и строк возрастает объем используемой памяти. Таким образом, число отдельных значений данных в инжекторной таблице может быть ограничено требованиями по использованию памяти.

Контроллер 106 выполнен с возможностью генерирования выходного значения для запуска топливных инжекторов, например, времени запуска топливных инжекторов, на основании таблицы для топливных инжекторов, сохраненной в памяти контроллера, определенного давления и топливного значения. В одном примере определенное давление может представлять собой измеренное давление в топливной рампе, измеренное при помощи датчика давления в системе CRS (например, при помощи датчика 130 давления, показанного на фиг. 1). В другом примере определенное давление может представлять собой давление в топливной рампе, рассчитанное на основании данных датчика давления и/или дополнительных условий работы двигателя. Топливное значение может представлять собой количество топлива, впрыскиваемого за один ход топливного инжектора (также называемое топливным зарядом). В одном примере значение топлива может представлять собой заданное значение для двигателя. По сути, значение топлива может быть сохранено в контроллере. В другом примере топливное значение может быть выбрано на основании условий работы двигателя, таких как требуемый крутящий момент. Контроллер выполнен с возможностью впрыска требуемого количества топлива при заданном (например, определенном) давлении в топливной рампе путем запуска топливных инжекторов на определенный промежуток времени. Такой промежуток времени или время запуска инжектора могут быть определены по данным из таблицы запуска инжекторов.

В частности, контроллер выполнен с возможностью нахождения определенного или измеренного значения давления в топливной рампе и значения требуемого топливного значения в инжекторной таблице. Как описано выше, таблица запуска инжекторов может иметь конечное число отдельных значений данных. Поскольку инжекторная таблица может иметь максимальное число строк и столбцов, точное значение определенного давления в топливной рампе и требуемое топливное значение могут не содержаться в инжекторной таблице. В результате, для определения времени запуска инжектора с помощью контроллера двигателя обеспечена возможность интерполяции отдельных значений данных, приближенно к требуемым значениям.

В другом варианте выполнения, если определенное значение давления в топливной рампе и требуемое топливное значение находятся за пределами диапазонов значений, указанных в инжекторной таблице, в контроллере обеспечена возможность экстраполяции данных с использованием самых ближних значений данных в инжекторной таблице. Таким образом, способы, подобные представленным далее для интерполяции инжекторной карты, могут использоваться для экстраполяции, чтобы определить время запуска инжектора в требуемых режимах работы.

Интерполяция инжекторной карты может включать многоступенчатую (например, двухмерную) линейную интерполяцию. Для заданных топливных значений и значений давления в топливной рампе в инжекторной таблице может быть выбрано четыре отдельных значения данных. В одном примере заданные (например, определенные) значения для давления в топливной рампе и топливного значения могут составлять соответственно 1100 бар и 75 $мм^3$/ход. Согласно первой инжекторной таблице 300 оба указанных значения находятся между двумя топливными значениями и двумя значениями давления в топливной рампе, указанными в первой инжекторной таблице 300. В результате, посредством контроллера выполняется многоступенчатая линейная интерполяция между четырьмя самыми близкими значениями данных (в ячейках 314, 316, 318 и 320 в указанной таблице), каждая из которых соответствует значению давления в топливной рампе и топливному значению, которое больше или меньше заданных значений.

В другом примере заданное или требуемое топливное значение может быть указано в инжекторной таблице, а определенное значение давления в топливной рампе может отсутствовать. В таком примере с помощью контроллера может быть выполнена односторонняя линейная интерполяция между двумя самыми близкими значениями данных, которые соответствуют значениям давления в топливной рампе, которые больше и меньше измеренного давления в топливной рампе при заданном топливном значении. В частности, такая интерполяция может включать интерполяцию между значением первого времени запуска впрыска топлива, которому соответствует первое значение давления в топливной рампе и заданное топливное значение, и вторым значением времени запуска впрыска топлива, которому соответствует второе значение давления в топливной рампе и заданное топливное значение. Первое значение давления в топливной рампе может быть больше определенного значения давления в топливной рампе, при этом второе значение давления в топливной рампе может быть меньше определенного давления в топливной рампе.

Однако линейная интерполяция между имеющимися значениями давления в топливной рампе и топливными значениями в инжекторной карте может привести к погрешности интерполяции. В частности, индексирование инжекторной карты по давлению в топливной рампе, как показано в первой инжекторной табл. 300, может привести к нелинейной зависимости между данными о запуске топливного инжектора. Таким образом, линейная интерполяция нелинейных данных может привести к неточностям, кото-

рые увеличивают погрешность при определении времени запуска топливных инжекторов. Это, в свою очередь, приводит к снижению эффективности потребления топлива и повышению неравномерности выбросов.

Как вариант, если массовый расход представить как квадратный корень из значения давления в топливной рампе, результирующая кривая массового расхода станет более линейной. Таким образом, в поисковой таблице, в которой данные о запуске инжектора проиндексированы по модифицированной разности давлений в сопловом отверстии инжектора, для которого применяется функция в виде квадратного корня, может быть использовано меньше отдельных значений данных, при этом получая аналогичный уровень точности. Хранение меньшего количества значений данных в поисковой таблице позволяет уменьшить объем используемой памяти на машиночитаемом носителе в указанном контроллере.

По мере того как зависимость между выбранными переменными становится более линейной, точность линейной интерполяции возрастает. Таким образом, линейная интерполяция массового расхода в сопоставлении с квадратным корнем из модифицированной разности давлений в отверстии инжектора способствует уменьшению интерполяционной погрешности по сравнению с линейной интерполяцией массового расхода в сопоставлении с давлением в топливной рампе. По этим причинам индексирование инжекторной карты по квадратному корню из модифицированной разности давлений вместо индексирования только по давлению в топливной рампе позволяет повысить точность при определении выходной переменной для запуска топливного инжектора (например, времени запуска топливного инжектора). Это, в свою очередь, снижает погрешность времени запуска топливного инжектора, тем самым, повышая эффективность потребления топлива и снижая неравномерность выбросов.

Кроме того, как описано выше, индексирование данных о запуске топливного инжектора только по давлению в рампе (как показано в таблице 200 для топливных инжекторов) или только по разнице давлений в сопловом отверстии инжектора (например, по давлению в топливной рампе с учетом пикового давления в цилиндре) может привести к ошибкам при разных рабочих условиях, испытываемых двигателем во время его работы. Поскольку условия давления вокруг соплового отверстия инжектора на двигателе (например, во время работы двигателя) являются более динамичными и обычно отличаются от условий давления вокруг того же соплового отверстия на испытательном стенде, по которым создаются типовые инжекторные карты (например, карта 300), время запуска инжекторов, определяемое по обычной таблице, проиндексированной только по давлению в рампе, может привести к неточному времени запуска инжектора при текущих рабочих условиях двигателя. В результате качество работы двигателя может снизиться. Таким образом, вместо этого данные о топливных инжекторах могут быть проиндексированы по модифицированной разности давлений в отверстии инжектора, при этом модифицированная разность давлений представляет собой функцию в виде квадратного корня из разности между давлением в рампе и пиковым давлением в цилиндре, причем пиковое давление в цилиндре преобразовано (например, путем умножения) с помощью функции от скорости двигателя и режима впрыска, при этом разность давлений скорректирована с помощью поправочного коэффициента. Рассматриваемая функция модифицированной разности давлений позволяет учитывать изменения давления подачи в топливной рампе, а также давления в цилиндре двигателя в зависимости от режима впрыска, скорости двигателя, продолжительности впрыска, количества совместно используемых топлива и газа в цилиндре (например, когда двигатель представляет собой двухтопливный двигатель, в котором сжигается дизельное топливо и вторичное топливо, такое как природный газ) и т.п.

Если точнее, во время работы двигателя изменения разных параметров впрыска, такие как изменения в режиме впрыска, давлении в цилиндре, в многократных впрысках (например, в основном и последующих впрысках), в продолжительности впрыска и/или интервалах между многократными впрысками, в доле замещения (например, в количестве впрыскиваемого природного газа от общего количества впрыскиваемого газа, включая природный газ и дизельное топливо) и в количестве дизельного топлива приводят к изменениям давления выше по потоку от сопла инжектора (например, в одном примере рассчитывается/определяется по давлению в инжекторном накопителе или давлению в рампе) и давления ниже по потоку от сопла инжектора (например, рассчитывается/определяется по давлению в цилиндре). Таким образом, разность давлений в сопловом отверстии инжектора (например, разница между давлением в сопле инжектора выше по потоку и давлением ниже по потоку), в результате которой топливный поток проходит через сопло, заменяется на указанные изменяемые параметры впрыска.

На фиг. 4-9 проиллюстрированы изменения в давлении выше по потоку от сопла инжектора (в одном примере - давление в инжекторном накопителе, которое может быть рассчитано по давлению в рампе и/или представляет собой давление в рампе) и в давлении ниже по потоку от сопла инжектора (давление в цилиндре) по сравнению с данными для инжектора на испытательном стенде (которые используются в обычных инжекторных картах, таких как карта 300) и для разных параметров впрыска. В частности, на каждой из фиг. 4-9 есть первый график, на котором по оси y показано давление в инжекторном накопителе (например, давление в рампе), а по оси x - угол поворота коленвала в градусах (CAD), и второй график, на котором по оси y показано давление в цилиндре (которое представляет собой давление на выпуске сопла инжектора), а по оси x - угол CAD. На каждой из осей x показан режим прохождения верхней мертвой точки (TDC) в цикле цилиндра и дополнительные режимы, которые могут представлять

собой время, когда впрыскивание топлива через инжектор начинается, останавливается и т.п. Сначала следует обратиться к фиг. 4, на которой показано графическое отображение 400 с первым графиком 402 давления в инжекторном накопителе во время впрыска в инжекторе на испытательном стенде (например, во время испытаний перед установкой для использования в двигателе), вторым графиком 404 давления в инжекторном накопителе во время впрыска при условии установки в двигателе (например, во время работы двигателя в условиях эксплуатации), третий график 406 давления на выпуске сопла во время впрыска в инжекторе на испытательном стенде и четвертый график 408 давления на выпуске сопла (представленного как давление в цилиндре двигателя) во время впрыска в случае установки в двигателе. На четвертом графике 408 показано общее давление в цилиндре на протяжении всего цикла сгорания, а на пятом графике 410 показано давление в цилиндре только при сжатии во время впрыска на протяжении цикла сгорания. На пятом графике 410 давление в цилиндре только с учетом сжатия показано без учета влияния сгорания на давление в цилиндре, поскольку сгорание может происходить спустя некоторое время после впрыска топлива. Как показано на графиках 402 и 404, действительное давление в инжекторном накопителе во время впрыска в инжекторе, установленном в двигателе, снижается на большую величину, чем давление в инжекторном накопителе во время впрыска в инжекторе, установленном на испытательном стенде. Кроме того, как показано на графиках 406, 408 и 410, давление на выпуске сопла (например, давление в цилиндре) остается сравнительно постоянным на испытательном стенде (см. график 406), но в случае установки в двигателе (см. графики 408 и 410) возрастает на большую величину, достигая пикового значения (пиковое давление в цилиндре), и затем снова снижается во время впрыска в инжекторе. Пиковое давление в цилиндре (PCP) на графике 408 обозначено как 412, а давление PCP на графике 410 показано как 414. Показанные значения давления PCP 412 и 414 являются значительно более высокими по сравнению с установившимся давлением на выпуске сопла, наблюдаемом на испытательном стенде. Продолжительность впрыска (например, количество времени, в течение которого сопло инжектора открыто, обеспечивая впрыскивание топлива) для впрыскивания показана между временем t1 и временем t2 и обозначена как продолжительностью 416 впрыска. Таким образом, фиг. 4 иллюстрирует разницу между давлением в инжекторном накопителе и давлением на выпуске сопла в случае установки в двигателе и на испытательном стенде. Как описано в данном документе, данные о запуске инжектора, сохраненные в инжекторной таблице, составленной по данным, полученным на испытательном стенде, могут давать неточное представление об условиях работы, наблюдаемых в случае установки инжектора в двигателе. Таким образом, использование данных о запуске инжекторов, полученных на испытательном стенде, чтобы задать команду для режимов запуска топливных инжекторов, установленных в двигателе, во время работы двигателя может привести к впрыску такого количества топлива, которое отличается от количества, требуемого для текущих условий работы двигателя, тем самым, снижая эффективность работы двигателя и контроль выбросов из него.

На фиг. 5 изображено графическое отображение 500, включающее первый график 502 давления в инжекторном накопителе во время первого впрыска во время работы двигателя, когда время впрыска является более ранним, второй график 504 давления в инжекторном накопителе во время второго впрыска во время работы двигателя, когда режим впрыска является более поздним (например, более поздним по сравнению с режимом первого впрыска и/или по сравнению со стандартным режимом впрыска), третий график 506 давления в цилиндре во время первого впрыска при более раннем режиме, четвертый график 508 второго впрыска при более позднем режиме и пятый график 510 давления в цилиндре только с учетом сжатия во время первого впрыска.

Продолжительность впрыска во время первого впрыска при более раннем режиме обозначена как 512 (между временем t1 и временем t3), а продолжительность впрыска во время второго впрыска при более позднем режиме обозначена как 514 (между временем t2 и временем t4). Формы (например, амплитуда) графиков 502 и 504 давления в инжекторном накопителе являются подобными, но на первом графике 502 давление в инжекторном накопителе начинает уменьшаться раньше, чем на втором графике 504, вследствие более раннего режима первого впрыска. Кроме того, пиковое давление PCP для давления в цилиндре во время первого впрыска (график 506), которое наблюдается сразу после верхней мертвой точки TDC, превышает и наступает до пикового давления PCP в цилиндре во время второго впрыска (график 508), которое наблюдается между верхней мертвой точкой TDC и временем t3. Таким образом, изменения в режиме впрыска инжектора влияют на давление выше и ниже по потоку от сопла инжектора, тем самым, оказывая влияние на разницу давлений в сопловом отверстии инжектора (и, следовательно, на поток топлива через сопло). Таким образом, как описано далее, функция модифицированной разности давлений, используемая в инжекторной таблице, может быть основана по меньшей мере частично на режиме впрыска.

На фиг. 6 изображено графическое отображение 600, включающее первый график 602 давления в инжекторном накопителе во время впрыска при работе двигателя, второй график 604 давления в цилиндре во время впрыска для более высокого давления в цилиндре (например, более высокого пикового давления в цилиндре), третий график 606 соответствующего давления в цилиндре только с учетом сжатия для более высокого давления в цилиндре, четвертый график 608 давления в цилиндре во время впрыска для более низкого давления в цилиндре (например, более низкого пикового давления в цилиндре) и пя-

тый график 610 соответствующего давления в цилиндре только с учетом сжатия для более низкого давления в цилиндре. Продолжительность впрыска обозначена как 612, между временем tl и временем t2. На графиках 604 и 608 пиковое давление PCP в обоих условиях давления в цилиндре наблюдается сразу после точки TDC, но имеют разные величины. Разные давления в цилиндрах могут влиять на общую разницу давлений в сопловом отверстии инжектора и, следовательно, на поток топлива через сопло. В результате, при одном и том же времени запуска инжектора (см., например, продолжительность 612) топлива может впрыскиваться в цилиндр в разных количествах из-за разных разниц в давлении в сопле (вследствие разного давления в цилиндрах).

Фиг. 7 изображает графическое отображение 700, на котором показана разница в давлении в инжекторном накопителе и давлении в цилиндре при единичном впрыске (например, только при основном впрыске) и многократных впрысках (т.е. при наличии основного впрыска с последующим впрыском). В частности, графическое отображение 700 включает первый график 702 давления в инжекторном накопителе во время первого впрыска, включающего только единичный впрыск, второй график 704 давления в инжекторном накопителе во время второго впрыска, включающего два впрыска (основной впрыск и последующий впрыск), третий график 706 давления в цилиндре во время первого впрыска с единичным впрыском, четвертый график 708 давления в цилиндре во время второго впрыска, включающего два впрыска, и пятый график 710 давления в цилиндре только с учетом сжатия для первого впрыска. Продолжительность впрыска при единичном впрыске для первого впрыска обозначена как 712. Продолжительность основного впрыска (например, продолжительность основного впрыска) для второго впрыска обозначена как 714, а продолжительность последующего впрыска (например, продолжительность последующего впрыска) для второго впрыска обозначена как 716. Время между окончанием продолжительности 714 основного впрыска и началом продолжительности 716 последующего впрыска далее названо временем (или продолжительностью) последующей задержки, которое обозначено как 718. Кроме того, основной режим основного впрыска приходится на время t1, а последующий режим последующего впрыска приходится на время t3. Как показано на графиках 702 и 704, давление в инжекторном накопителе является аналогичным для основных впрысков в случае обоих впрысков; однако, как показано на графике 704, последующий впрыск приводит к дополнительному провалу давления до достижения уровня осевой линии (вследствие последующего впрыска). Во время работы двигателя давление в цилиндре при одном впрыске (график 706) и при двух впрысках (график 708) подобны друг другу (например, имеют одинаковое пиковое давление PCP); однако последующий впрыск приводит к более медленному снижению давления в цилиндре после пикового давления PCP и к более высокому общему давлению после основного впрыска. Таким образом, разные перепады давления в сопловом отверстии инжектора также являются следствием количества впрысков во время впрыскового события (например, во время цикла сгорания в цилиндре). В результате поток топлива через сопло инжектора может изменяться в зависимости от количества впрысков.

Как показано на фиг. 8, на поток топлива в сопле и общее количество впрыскиваемого топлива также может влиять продолжительность основного впрыска и последующего впрыска для события основного/последующего впрыска. В частности, фиг. 8 изображает графическое отображение 800, включающее первый график 802 давления в инжекторном накопителе и третий график 806 давления в цилиндре для первого впрыскового события, имеющего более короткий основной впрыск 812 и более длительное время 816 задержки (по сравнению со вторым впрысковым событием, описанным далее). Графическое построение 800 также включает второй график 804 давления в инжекторном накопителе и четвертый график 808 давления в цилиндре для второго впрыскового события с более длительным основным впрыском 818 и более коротким временем 822 задержки. Как последующий впрыск для первого впрыскового события (обозначен как 814), так и последующий впрыск для второго впрыскового события (обозначен как 820) происходят между временем t4 и временем t5, по окончанию соответствующего времени задержки. Графическое отображение 800 также включает пятый график 812 давления только с учетом сжатия для второго впрыскового события. Как показано на фиг. 8, давление в инжекторном накопителе остается более низким и медленнее растает до осевой линии после основного впрыска для второго впрыскового события, имеющего более длительный основной впрыск 818 (график 804) по сравнению с первым впрысковым событием (график 802). Кроме того, давление в цилиндре немного больше при втором впрысковом событии (график 808), чем при первом впрысковом событии (график 806), после завершения основного впрыска 808 для второго впрыскового события. Таким образом, продолжительность основного впрыска и последующего впрыска, а также режимы этих впрысков, включая время задержки, влияют на разницу давлений в сопловом отверстии инжектора. В результате, данные параметры впрыска также могут влиять на поток топлива через сопло во время впрыска при работе двигателя. Как указано выше, в некоторых вариантах выполнения двигатель может представлять собой двухтопливный двигатель, выполненный с возможностью впрыска через топливную систему, содержащую инжектор, как жидкого топлива (например, дизельного топлива), так и газообразного топлива (например, природного газа). Доля замещения газообразным топливом к общему объему топлива (например, отношение количества впрыскиваемого природного газа к общему количеству впрыскиваемого газа, включая природный газ и дизельное топливо) может регулироваться во время работы двигателя, исходя из условий работы двигателя.

Однако, как показано на фиг. 9, доля замещения может влиять на поток топлива через сопло инжектора и общее количество топлива (например, дизельного топлива), впрыскиваемого в цилиндр. В частности, на фиг. 9 изображено графическое отображение 900, включающее первый график 902 давления в инжекторном накопителе, второй график 906 давления в цилиндре и третий график 908 давления в цилиндре только с учетом сжатия для впрыскового события (например, события впрыска дизельного топлива) во время работы двигателя с первой, меньшей долей замещения (например, при наличии только дизельного топлива и/или с большим количеством дизельного топлива по сравнению с газообразным топливом). Графическое отображение 900 также включает четвертый график 904 давления в инжекторном накопителе, пятый график 910 давления в цилиндре и шестой график 912 давления в цилиндре только с учетом сжатия для впрыскового события (например, события впрыска дизельного топлива) во время работы двигателя со второй, большей долей замещения (например, при меньшем количестве дизельного топлива по сравнению с газообразным топливом). Продолжительность 914 впрыскового события с меньшей долей замещения является более длительной, чем продолжительность 916 впрыскового события с большей долей замещения, поскольку количество дизельного топлива является большим для впрыскового события с меньшей долей замещения (и, следовательно, для впрыска большего количества топлива потребуется большее время запуска впрыска). Вследствие большей продолжительности 914 впрыска и большего количества дизельного топлива, впрыскиваемого при впрысковом событии с первой, меньшей долей замещения, давление в инжекторном накопителе снижается на большую величину и в течение более длительного периода (время t3 прохождения, как показано на графике 902), причем давление в цилиндре имеет более высокое пиковое давление PCP (график 906), чем для впрыскового события со второй, большей долей замещения. Таким образом, доля замещения может влиять на разницу давлений в сопловом отверстии инжектора и, следовательно, на поток топлива, поступающий в цилиндр двигателя.

Разница давлений в сопловом отверстии инжектора может быть модифицирована на основании зависимостей, описанных выше со ссылками на фиг. 4-9, для учета параметров впрыска при различных условиях работы двигателя. В результате обеспечена возможность уменьшить погрешности в модели топливного потока, при этом для текущих рабочих условий может быть определено более точное время запуска впрыска, используемое для запуска топливных инжекторов. В результате, в цилиндры двигателя может быть впрыснуто требуемое количество топлива, и эффективность работы двигателя может быть повышена.

Если вернуться к фиг. 3, на ней изображен пример второй инжекторной таблицы 302, которая содержит данные о запуске инжектора, проиндексированные в памяти контроллера по модифицированной разности давлений в отверстии инжектора. В одном примере модифицированная разность давлений представляет собой функцию, содержащую квадратный корень из разности давлений в сопловом отверстии инжектора, причем давление на выпуске отверстия преобразовано коэффициентом, содержащим функцию от скорости двигателя и режима впрыска, при этом из указанной разности давлений вычтен поправочной коэффициент (например, коррекция). Как описано далее, разность давлений в отверстии может быть рассчитана на основании разности между давлением в рампе (например, давлением на впуске отверстия) и пиковым давлением в цилиндре (PCP) (например, давлением на выпуске отверстия). В одном примере давление PCP может представлять собой давление во время впрыска топлива. В некоторых примерах впрыск топлива происходит в пределах 20° от верхней мертвой точки в цикле двигателя. По сути, давление зажигания в цилиндре при впрыске топлива в цилиндр двигателя может представлять собой пиковое давление зажигания в цилиндре. В другом примере пиковое давление в цилиндре может представлять собой пиковое давление, наблюдаемое только при сжатии. Модифицированная разность давлений может представлять собой определенное значение, которое непрерывно обновляется, исходя из условий работы двигателя. Например, модифицированная разность давлений может быть определена на основании текущих измеренных или рассчитанных рабочих параметров двигателя, как подробно описано далее.

Вторая инжекторная табл. 302 может быть сгенерирована и/или сохранена в памяти контроллера путем преобразования первой инжекторной таблицы 300 по функции модифицированной разности давлений. В одном примере функция модифицированной разности давлений содержит аппроксимацию квадратным корнем из разности давления в рампе и пикового давления в цилиндре, функции от скорости двигателя и режима впрыска и поправочного коэффициента. В частности, в одном примере функция модифицированной разности давлений может быть определена по следующей формуле:

$$MP = \sqrt{RP - PCP * f1(eng\ speed, inj\ timing) - f2(x)}, \quad \text{(Уравнение 1),}$$

где RP - давление в топливной рампе, измеренное и/или рассчитанное на основании выходного сигнала датчика давления, расположенного в топливной рампе топливной системы (например, датчика 130, показанного на фиг. 1). Как описано выше, указанное давление RP может быть таким же или подобным давлению в инжекторном накопителе, показанном на фиг. 4-9. RP представляет собой давление на впуске соплового отверстия топливного инжектора с любыми дополнительными падениями давления между сопловым отверстием и подающим средством инжектора (например, в топливной рампе), учитываемыми в значениях в инжекторной таблице. Второй член уравнения 1, который содержит коэффициент или f1,

преобразован пиковым давлением в цилиндре (PCP), которое может быть смоделировано в одном примере при допущении, что топливо обычно впрыскивают приблизительно тогда же (например, при схожем угле поворота коленчатого вала), когда наблюдается давление PCP на двигателе (как показано на фиг. 4-9). Давление PCP может быть смоделировано на основании дополнительных рабочих параметров двигателя, включая одно или более из перечисленного: давление во впускном патрубке, скорость двигателя, относительное содержание поступающего кислорода, режим основного впрыска, температура во впускном патрубке, массовая доля газа в цилиндре (для двухтопливного двигателя) и/или давление в топливной рампе. В одном примере давление PCP может быть смоделировано на основании измеренного давления во впускном патрубке, скорости двигателя, относительного содержания поступающего кислорода, режима основного впрыска и давления в топливной рампе. Во втором примере, относящемся к многотопливному двигателю, давление PCP может быть смоделировано на основании давления во впускном патрубке, скорости двигателя, температуры во впускном патрубке, массовой доли газа в цилиндре (мг/ход), режима основного впрыска и давления в топливной рампе. Давление PCP может представлять собой давление на выпуске соплового отверстия инжектора. PCP в уравнении 1 дополнительно скорректировано коэффициентом f1, который зависит от скорости двигателя и режима впрыска дизельного топлива, поскольку эти рабочие параметры двигателя можно дополнительно уточнять, когда на кривой давления в цилиндре (на основании угла поворота коленвала) наблюдается впрыск топлива. Член f1 предназначен для корректировки давления ниже по потоку от соплового отверстия. Член f2 может представлять собой постоянную величину или функцию от одного или более других параметров (как подробно описано далее) и предназначен для корректировки перепадов давления в цилиндре (для корректировки давления ниже по потоку от указанного отверстия) и фактической разницы в рампавом накопителе на стенде (например, данных испытаний) в сопоставлении с установкой на двигателе (для корректировки давления выше по потоку от указанного отверстия).

В одном варианте выполнения двигатель выполнен с возможностью работы с по меньшей мере одним основным впрыском за цикл цилиндра (например, за цикл сгорания в цилиндре). Двигатель также выполнен с возможностью работы при обеспечении многократных впрысков в одном и том же цилиндре, например, основного впрыска и последующего впрыска (как показано в примерах на фиг. 7 и 8). В данном варианте выполнения уравнение модифицированного давления согласно уравнению 1 может быть преобразовано в виде уравнения 2 (для основного впрыска) и уравнения 3 (для последующего впрыска и любых дополнительных впрысков, выполняемых после первого, основного впрыска):

$$MP_{main} = \sqrt{RP - PCP * f1(eng\ speed, main\ timing) - f2()}\ ,$$

(Уравнение 2),

$$MP_{post} = \sqrt{\{RP + MD * C1 + PD * C2\} - PCP * f1(eng\ speed, pos\ timing) - f2()}\ ,$$

(Уравнение 3).

В уравнении 2 для основного впрыска жидкого (например, дизельного) топлива давление PCP представляет собой давление PCP для полного цикла цилиндра (не только во время сжатия), при этом множитель во втором члене (член PCP) является функцией (f1) от скорости двигателя и командно-задаваемого режима основного впрыска дизельного топлива. Командно-задаваемый режим основного впрыска дизельного топлива может представлять собой время или угол поворота коленвала в цикле цилиндра, соответствующие началу основного впрыска дизельного топлива (например, угол поворота коленвала перед верхней мертвой точкой, при котором происходит запуск инжектора для его открывания и впрыскивания дизельного топлива в цилиндр). В одном варианте выполнения множитель f1 (скорость двигателя, основной режим) может быть определен на основании поисковой таблицы, сохраненной в памяти контроллера двигателя. Например, поисковая таблица может содержать значение текущей скорости двигателя и режим основного впрыска для впрыска дизельного топлива в виде вводных данных и множитель f1 в виде выходных данных. Коррекционное значение f2 представляет собой постоянное значение, которое может использоваться для корректировки перепадов давления в цилиндре и фактической разницы давлений в рампавом накопителе на стенде в сопоставлении с вариантом установки на двигателе. Таким образом, коррекционное значение f2 может быть предварительно определено и сохранено в памяти контроллера.

В уравнении 3, относящемся к последующему впрыску жидкого (например, дизельного) топлива, множитель во втором члене представляет собой функцию f1 от скорости двигателя и командно-задаваемого начала режима последующего впрыска дизельного топлива. Командно-задаваемое начало режима последующего впрыска дизельного топлива может представлять собой время или угол поворота коленвала в цикле цилиндра, которым соответствует начало указанного последующего впрыска (например, угол поворота коленвала перед верхней мертвой точкой, при котором происходит запуск инжектора для его открывания и впрыскивания дизельного топлива в цилиндр для последующего впрыска). В одном варианте выполнения множитель f1 (скорость двигателя, последующий режим) может быть определен по поисковой таблице, сохраненной в памяти контроллера двигателя. Например, поисковая таблица может содержать значения текущей скорости двигателя и режима последующего впрыска для впрыска дизель-

ного топлива в качестве входных данных и множитель fl в качестве выходных данных. Коррекционное значение f2 может быть таким же, как и коррекционное значение в уравнении 2, как описано выше. Кроме того, в уравнении 3 модифицированная разность давлений для последующего впрыска преобразовывает действительное давление RP в рампе для учета наблюдаемого уменьшения давления в топливной рампе (например, давление подачи) на основании того, как долго длится последний основной впрыск (называемый в данном описании как спад давления), и как долго задавалась команда для начала последующего впрыска после основного впрыска (называемая в данном документе как восстановление давления или время задержки перед последующим впрыском). Таким образом, в первом члене рассчитывается, каким является фактическое давление в рампе в начале последующего впрыска, поскольку начальные условия последующих впрысков зависят от того, как много топлива израсходовано накопителем во время предыдущего основного впрыска. Таким образом, в уравнении 3 в первом члене этого уравнения к давлению RP в рампе прибавлена продолжительность основного впрыска, обозначенная как MD, которая умножена на первую константу C1, и прибавлено время задержки перед последующим впрыском (например, время между окончанием продолжительности основного впрыска и началом последующего впрыска), умноженное на вторую константу C2. Первая константа C1 предназначена для расчета того, насколько упало давление на впуске во время основного впрыска, а вторая константа C2 предназначена для расчета того, насколько восстановилось давление на впуске во время задержки между основным и последующим впрысками.

Если двигатель выполняет более двух впрысков за один цикл цилиндра, уравнение 3 можно использовать для всех последующих впрысков, учитывая время последующего режима для текущего последующего впрыска.

В другом варианте выполнения двигатель может представлять собой многотопливный двигатель, выполненный с возможностью сжигания по меньшей мере двух видов топлива, в том числе жидкого топлива (например, дизельного топлива) и газообразного топлива (например, природного газа). Дизельное топливо может впрыскиваться через инжектор, для чего используют уравнения и инжекторные карты, описанные в данном документе, а газообразное топливо может впрыскиваться через другой инжектор или газовпускной клапан. Как описано выше, во время работы двигателя доля замещения (SR) газообразным топливом к общему количеству топлива (жидкое + газообразное топливо) может регулироваться на основании условий работы двигателя. В некоторых вариантах выполнения может использоваться максимально возможное количество газообразного топлива, при этом обеспечивая эффективную работу двигателя. При других условиях работы двигателя может впрыскиваться только дизельное топливо (без использования газообразного топлива). В данном варианте выполнения многотопливного (например, двухтопливного) двигателя уравнение модифицированного давления, основанное на уравнении 1, может быть преобразовано в уравнение 4 (для основного впрыска, который может представлять собой впрыск только жидкого топлива в цикле цилиндра):

$$MP_{main,DF} = \sqrt{RP - PCP_{CO} * f1(eng\ speed, diesel\ timing) - f2(CGQ, CDQ)}, \quad \text{(Уравнение 4)}.$$

В вышеприведенном уравнении PCPco представляет собой дополнение вышеуказанного смоделированного давления PCP только при сжатии. В одном варианте выполнения модель PCP может содержать член с учетом только сжатия в дополнение к суммирующему члену для случая, когда сгорание приводит к увеличению давления PCP больше члена с учетом только сжатия (например, давление в цилиндре только при сжатии может быть смоделировано отдельно на основании дополнительного давления сгорания в цилиндре). Таким образом, давление PCPco может быть получено из члена с учетом только сжатия смоделированного давления PCP. Как описано выше со ссылкой на Уравнение 2, член PCP корректируют с помощью функции f1 от скорости двигателя и режима (основного) впрыска дизельного топлива. Как объясняется выше, член f1 может быть определен по поисковой таблице, сохраненной в памяти контроллера, используя скорость двигателя и командно-задаваемый режим впрыска дизельного топлива (например, угол поворота коленвала в градусах до точки TDC) в качестве входных данных. Поправочное значение f2 не является постоянным значением в Уравнении 4 и является функцией командно-задаваемого количества газообразного топлива, CGQ, (например, в мг/ход) и командно-задаваемого количества дизельного топлива, CDQ, (например, в $мм^3$/ход). В одном варианте выполнения во время работы двигателя коррекционный член f2 может быть найден посредством контроллера в поисковой таблице, хранящейся в памяти контроллера, используя значения CGQ и CDQ в качестве входных данных. Член f2 предназначен для корректировки разницы значений выше и ниже по потоку по потоку от соплового отверстия для стенда и для варианта установки на двигателе. Выше по потоку влияние заключается в том, что высокая доля замещения приводит к снижению количества дизельного топлива и, как следствие, к меньшим спадам давления, вызываемым накопителем, по сравнению с данными для инжекторов на испытательном стенде. Ниже по потоку влияние заключается в том, что разные доли замещения газом (например, при комбинации разного количества газа и/или дизельного топлива) оказывают влияние на параметры сгорания и скорость отвода тепла при определенном угле поворота коленвала. Например, параметры давления в цилиндре при двухтопливном сгорании могут отличаться от параметров давления в

цилиндре при сгорании только дизельного топлива. Таким образом, давление ниже по потоку от отверстия должно быть скомпенсировано соответствующим образом, как показано в уравнении 4. В некоторых вариантах выполнения член f2 в уравнениях 2 и 3 может быть не постоянным значением, а функцией от количества дизельного топлива.

Если вернуться к фиг. 3, на ней значения давления в топливной рампе, указанные в первой строке 304 первой инжекторной табл. 300, могут быть введены в функцию модифицированной разности давлений (например, в одно из уравнений 1-4, представленных выше) для определения набора значений модифицированной разности давлений. Указанные значения, которые могут представлять собой выходные значения одного из уравнений 1-4, указаны в первой строке 310 второй инжекторной табл. 302. По сути, первая строка 310 содержит набор значений модифицированной разности давлений, соответствующий набору значений давления в топливной рампе. В первой строке 310 F обозначает остальные члены уравнения модифицированной разности давлений (например, в дополнение к давлению RP). Как описано выше, в одном примере диапазон значений давления в топливной рампе может варьироваться от 600 до 2200 бар. Во второй инжекторной таблице 302 указаны такие же данные о запуске инжектора при таких же топливных значениях, что и в первой инжекторной таблице 300. Например, в первом столбце 312 второй инжекторной таблицы 312 указан тот же набор топливных значений, что описан выше. Однако во второй инжекторной таблице 302 данные о запуске инжектора проиндексированы с помощью модифицированной разности давлений, а не только по давлению в топливной рампе.

Как объяснено выше, регулирование данных в таблице для топливных инжекторов по членам функции (функций) модифицированной разности давлений, описанных в данном документе, позволяет корректировать разницу между предварительно определенными данными о запуске инжектора и фактическими условиями работы двигателя. Например, инжекторная таблица (такая как первая инжекторная табл. 300) может быть составлена во время стендовых испытаний с использованием испытательного стенда вместо реального двигателя, в котором используют инжекторную таблицу. По сути, на испытательном стенде может отсутствовать такой же режим с падением давления в сопловом отверстии топливного инжектора, как в работающем двигателе. Кроме того, в испытательном стенде может не быть такого же противодавления или давления в цилиндре (например, пикового давления в цилиндре), как в работающем двигателе. Таким образом, члены уравнения модифицированной разности давлений (описанные выше со ссылкой на уравнения 1-4) могут компенсировать все связанные с давлением отклонения в значениях для работающего двигателя и для оборудования, используемого для создания инжекторной таблицы. Такая корректировка с учетом работы двигателя позволяет использовать одну и ту же инжекторную карту для множества разных двигателей. Кроме того, поправочный коэффициент может быть изменен на основании текущих условий работы двигателя, тем самым, повышая точность инжекторной таблицы в заданном двигателе по мере изменения переменных значений двигательной системы.

Благодаря преобразованию в инжекторной таблице путем индексирования с помощью функции с квадратным корнем данные о запуске топливного инжектора, хранящиеся во второй инжекторной табл. 302, получаются более линейными, чем данные о запуске топливного инжектора, сохраненные в первой инжекторной таблице 300. Таким образом, линейная интерполяция данных во второй инжекторной табл. 302 может привести к меньшей погрешности в получаемых выходных данных о запуске топливного инжектора (например, в значении времени запуска топливных инжекторов). Поскольку точность линейной интерполяции может быть повышена путем индексирования данных о запуске топливного инжектора с помощью модифицированной разности давлений, может быть получено меньшее количество значений данных с той же степенью точности. По сути, размеры инжекторной таблицы, сохраненной в памяти контроллера, могут быть уменьшены, тем самым, снижая объем используемой памяти.

При индексировании инжекторной таблицы по модифицированной разности давлений вводные данные для инжекторной таблицы также должны быть преобразованы с помощью функции модифицированной разности давлений. Таким образом, в вышеприведенных уравнениях 1-4 давление RP может быть определенным давлением в топливной рампе. В одном примере определенное давление в топливной рампе может быть измерено датчиком давления, например, датчиком 130 давления, показанным на фиг. 1, который установлен выше по потоку от топливных инжекторов. По сути, модифицированную разность давлений определяют путем ввода в функцию модифицированного давления определенного значения давления в топливной рампе и дополнительно требуемых параметров работы двигателя. Затем определенное модифицированное давление и дополнительные рабочие параметры двигателя (например, скорость двигателя, режим впрыска и т.п.) могут быть использованы в качестве входных данных для индексированной инжекторной таблицы для интерполяции по ближайшим индексированным данным о запуске топливного инжектора для определения выходного значения для запуска топливного инжектора, такого как время запуска топливного инжектора.

Как описано выше, выходное значение для запуска топливного инжектора может быть использовано для управления впрыском топлива в двигательной системе. Таким образом, технический результат описанного выше (и подробно изложенного далее со ссылкой на фиг. 5) способа индексирования и интерполяции заключается в повышении точности управления топливными инжекторами. В частности, путем индексирования таблицы запуска инжектора с помощью модифицированной разности давлений

посредством контроллера обеспечена возможность определения более точного времени запуска впрыска топлива для определенного давления в топливной рампе и требуемого топливного значения. По сути, режим впрыска может быть отрегулирован на основании определенного времени запуска топливных инжекторов для подачи требуемого количества топлива. Подача точного количества топлива позволяет повысить эффективность потребления топлива двигателем, при этом снижая неравномерность выбросов двигателя. Кроме того, для многотопливных двигателей при использовании уравнения модифицированной разности давлений (уравнение 4) для управления инжекторами обеспечена возможность использования больших долей замещения природным газом, при этом поддерживая эффективную и надежную работу двигателя. Таким образом, подход, описанный выше и более подробно далее, позволяет уменьшить время на проектирование и увеличить экономию затрат.

В некоторых вариантах реализации машиночитаемый носитель 138 имеет память с одним или более наборами сохраненных в ней инструкций и/или данных, причем при получении доступа к ним и исполнении электронным устройством (например, процессорным блоком 136) электронное устройство выполняет различные действия. В частности, машиночитаемый носитель с памятью может содержать данные о запуске топливного инжектора, индексированные в памяти с помощью входного параметра, инструкции для определения значения модифицированной разности давлений на основании определенного давления, текущих условий работы двигателя, функцию модифицированной разности давлений, а также инструкции для генерирования выходного значения для запуска топливных инжекторов путем интерполяции индексированных данных о запуске топливного инжектора с использованием значения модифицированной разности давлений в качестве входного параметра. В одном примере определенное давление представляет собой измеренное давление в топливной рампе, которое измеряют выше по потоку от топливного инжектора, при этом функция модифицированной разности включает аппроксимацию квадратным корнем.

В одном варианте выполнения данные о запуске топливного инжектора могут храниться в инжекторной таблице, причем инжекторная таблица имеет первое число столбцов и второе число строк, причем указанные первое и второе числа больше единицы. Первая строка из второго числа строк содержит набор значений модифицированной разности давлений, который соответствует набору значений давления в топливной рампе, а первый столбец из первого числа столбцов содержит набор топливных значений, который включает набор значений количества топлива, впрыскиваемого одним топливным инжектором. Кроме того, каждая ячейка в инжекторной таблице содержит значение времени запуска топливного инжектора, соответствующее одному из значений модифицированного давления в соответствующем наборе и одному из топливных значений в соответствующем наборе.

Значения модифицированной разности давлений могут быть определены на основании одного или более уравнений или одной или более таблиц, сохраненных в памяти контроллера. Например, значения модифицированной разности давлений могут быть вычислены контроллером согласно сохраненной функции модифицированной разности давлений (например, по одному из уравнений 1-4) и измеренным и/или рассчитанным условиям работы двигателя. В другом примере значения модифицированной разности давлений могут быть найдены в памяти контроллера с помощью одной или более сохраненных поисковых таблиц, в которых содержатся рабочие параметры, используемые в уравнении модифицированной разности давлений в качестве входных данных.

С помощью функции модифицированного давления обеспечена возможность преобразования данных о запуске топливного инжектора, сохраненных в инжекторной таблице, чтобы сделать эти данные в ячейках указанной инжекторной таблицы более линейными. Машиночитаемый носитель также содержит инструкции по выполнению многоступенчатой линейной интерполяции индексированных данных о запуске топливного инжектора, содержащихся в инжекторной таблице, для определения времени запуска топливного инжектора при определенной разности давлений и топливном значении. Кроме того, машиночитаемый носитель для хранения содержит инструкции по выводу определенного времени запуска топливного инжектора и регулированию впрыска топлива на основании определенного времени запуска топливного инжектора. В одном примере регулирование впрыска топлива включает регулирование времени открывания инжектора.

Кроме того, система, показанная на фиг. 1, содержит систему топливной рампы, содержащую общую топливную рампу, топливные инжекторы, выполненные с возможностью впрыскивания топлива из общей топливной рампы в цилиндры двигателя, инжекторную таблицу, сохраненную в памяти компьютера, и контроллер, выполненный с возможностью регулирования впрыска топлива в цилиндры на основании времени запуска топливных инжекторов, которое определяют путем индексирования данных об инжекторах, хранящихся в инжекторной таблице, с помощью функции модифицированной разности давлений, которая содержит квадратный корень из давления в рампе с учетом пикового давления в цилиндрах, умноженного на функцию от скорости двигателя и режима впрыска, и с учетом поправочного члена, который обеспечивает корректировку разницы значений давления между данными об инжекторе на двигателе и на стенде, как выше, так и ниже по потоку от соплового отверстия инжектора, а также путем интерполяции индексированных данных об инжекторах на основании определенного давления в топливной рампе, количества топлива, впрыскиваемого за один ход топливного инжектора, и дополнительных

условий работы двигателя. В одном примере определенное давление в топливной рампе измеряют на основании одного или более сигналов о давлении, отправляемых в контроллер по меньшей мере одним датчиком давления, установленным выше по потоку от общей топливной рампы.

В другом варианте выполнения данного изобретения система на фиг. 1 содержит систему топливной рампы, содержащую общую топливную рампу, топливные инжекторы, выполненные с возможностью впрыска топлива из общей топливной рампы в цилиндры двигателя, машиночитаемый носитель информации с памятью, причем в памяти сохранена инжекторная таблица, содержащая данные об инжекторах, индексированные с помощью функции модифицированной разности давлений, и контроллер, выполненный с возможностью управления топливными инжекторами на основании времени запуска топливных инжекторов, причем контроллер выполнен с возможностью определения времени запуска топливных инжекторов путем интерполяции индексированных данных об инжекторах на основании определенного давления в топливной рампе и количества топлива, впрыскиваемого за один ход топливного инжектора. Функция модифицированного давления включает квадратный корень из давления в топливной рампе с учетом пикового давления в цилиндрах и дополнительный поправочный член, содержащий постоянное значение или функцию от количества жидкого и газообразного топлива, впрыскиваемых в двигатель. Кроме того, определенное давление в топливной рампе может быть измерено на основании одного или более сигналов о давлении, отправляемых в контроллер по меньшей мере одним датчиком давления, установленным выше по потоку от общей топливной рампы.

В одном варианте выполнения линия двигателей может содержать разные двигатели и/или двигатели разных типов. Все двигатели в указанной линии могут содержать одинаковые топливные инжекторы. Кроме того, в каждом двигателе, в таблице для топливных инжекторов в памяти машиночитаемого носителя могут быть сохранены одни и те же данные о запуске топливного инжектора. По сути, в каждом из указанных двигателей может использоваться общая таблица для топливных инжекторов. Однако двигатели в указанной линии могут иметь разное пиковое давление в цилиндрах, разные режимы впрыска и/или доли замещения газообразным топливом. Как описано выше, данные, хранящиеся в общей таблице для топливных инжекторов, могут быть проиндексированы с помощью функции модифицированной разности давлений, которая содержит квадратный корень из давления в рампе с учетом пикового давления в цилиндре, преобразованного с помощью функции от скорости двигателя и режима впрыска, а также с учетом поправочного коэффициента для давления выше и ниже по потоку от соплового отверстия инжектора. Пиковое давление в цилиндре для каждого двигателя может быть по отдельности сохранено в памяти соответствующего двигателя и/или определено на основании модели пикового давления в цилиндре, характерного для конкретного двигателя. По сути, после индексирования данных в общей таблице для топливных инжекторов с помощью контроллера двигателя обеспечена возможность ввода сохраненного или смоделированного значения пикового давления в цилиндре, а также дополнительных рабочих условий двигателя в функцию модифицированного давления для последующего индексирования сохраненных данные о запуске топливного инжектора. Таким образом, одна и та же таблица запуска топливных инжекторов может быть сохранена во множестве двигателей и/или двигателях разных типов и может использоваться для определения времени запуска топливных инжекторов с обеспечением повышенной точности. В некоторых вариантах выполнения функции модифицированной разности давлений могут использоваться в разных функциях, при этом используя одну и ту же таблицу запуска топливных инжекторов. Например, уравнение модифицированной разности давлений согласно вышеприведенному уравнению 4 может использоваться в многотопливном двигателе, а уравнения модифицированной разности давлений согласно уравнениям 2 и 3 могут использоваться в двигателе, который работает только на жидком топливе и в котором обеспечено по несколько впрысков в каждом цикле цилиндра.

В одном примере указанная линия двигателей может содержать первый двигатель и второй двигатель, причем оба двигателя содержат одинаковые топливные инжекторы. Первый двигатель может содержать первую инжекторную таблицу, сохраненную в первой компьютерной памяти, а второй двигатель может содержать вторую таблицу для топливных инжекторов, сохраненную во второй компьютерной памяти, причем первая и вторая инжекторные таблицы являются одинаковыми. Кроме того, первый двигатель может иметь первое пиковое давление в цилиндре, а второй двигатель может иметь второе пиковое давление в цилиндре, причем указанное первое давление отличается от указанного второго давления. Затем с помощью первого контроллера в первом двигателе может быть выполнено индексирование данных об инжекторах, сохраненных в первой инжекторной таблице, с помощью функции модифицированной разности давлений, которая содержит квадратный корень из давления в топливной рампе с учетом первого пикового давление в цилиндре, преобразованного с помощью множителя, который является функцией от скорости двигателя и режима впрыска, и содержит поправочный коэффициент. Аналогично, второй контроллер во втором двигателе выполнен с возможностью индексирования данных об инжекторах, сохраненных во второй инжекторной таблице, с помощью той же самой функции модифицированной разности давлений, но с учетом второго пикового давления в цилиндре, преобразованного с помощью множителя, который является функцией от скорости двигателя и режима впрыска, а также с учетом поправочного коэффициента.

Далее рассмотрим фиг. 10, на которой показан вариант осуществления способа 1000 определения

выходного значения для запуска топливных инжекторов, например, времени запуска топливных инжекторов, и регулирования впрыска топлива в двигатель на основании определенного выходного значения для запуска топливных инжекторов. В одном примере способ 1000 осуществляют с помощью контроллера 106, показанного на фиг. 1, согласно инструкциям, сохраненным в памяти контроллера. В частности, контроллер 106 выполнен с возможностью многократного осуществления способа 1000 во время работы двигателя для определения времени запуска инжекторов.

Способ 1000 начинается с этапа 1002, включающего расчет и/или измерение параметров работы двигателя. Параметры работы двигателя могут включать скорость двигателя и нагрузку, давление в системе топливной рампы, давление в цилиндрах двигателя, требуемый крутящий момент, давление нагнетания, режим впрыска для инжектора (инжекторов), долю замещения газообразным топливом к общему количеству топлива, командно-задаваемое количество жидкого топлива, командно-задаваемое количество газообразного топлива или т.п. В частности, расчет и/или измерение параметров работы двигателя на этапе 1002 могут включать определение давления в топливной рампе. Как описано выше, в одном примере давление в топливной рампе может быть определено на основании выходного значения датчика давления (например, датчика 130 давления на фиг. 1), установленного в системе топливной рампы выше по потоку от топливного инжектора и/или общей топливной рампы. Расчет и/или измерение параметров работы двигателя на этапе 1002 могут включать определение командно-задаваемого режима впрыска, скорости двигателя и командно-задаваемого количества дизельного и/или газообразного топлива. Например, способ на этапе 1002 может включать определение условий работы двигателя (например, параметров) при помощи функции модифицированной разности давлений согласно одному или более уравнениям 1-4, приведенным выше.

На этапе 1004 указанный способ включает получение топливного значения. В одном примере топливное значение для всех рабочих точек двигателя может храниться в памяти контроллера. В другом примере топливное значение может быть рассчитано на основании условий работы двигателя, например, требуемого крутящего момента. На этапе 1006 указанный способ включает определение требуемой функции модифицированной разности давлений для индексирования данных о запуске топливного инжектора. В одном примере требуемая функция модифицированной разности давлений может быть заранее определена и сохранена в контроллере на основании типа двигателя (например, многотопливного или однотопливного типа) и/или на основании наличий или отсутствия нескольких впрысков (например, основного и последующего впрысков) во время одного цикла цилиндра. Например, одно или более уравнений 1-4, приведенных выше, может быть сохранено в памяти контроллера, который выполнен с возможностью выбора требуемого уравнения или комбинации уравнений для использования в качестве функции модифицированной разности давлений на основании типа двигателя и/или типов впрысков или видов топлива, используемого в двигателе.

Далее в указанном способе следует этап 1008, на котором определенное давление в топливной рампе и дополнительные условия работы двигателя подставляют в выбранную (или заранее определенную) функцию модифицированной разности давлений для определения значения модифицированной разности давлений. В частности, на этапе 1008 с помощью контроллера обеспечивается ввод в функцию модифицированной разности давлений определенного давления в топливной рампе и дополнительных условий работы двигателя (например, скорости двигателя, режима впрыска, времени между несколькими впрысками и/или командно-задаваемого количества жидкого и/или газообразного топлива). В одном примере функция модифицированной разности давлений представляет собой одну или более функций, представленных в виде уравнений 1-4. Как объяснено выше, функция модифицированной разности давлений может представлять собой аппроксимацию квадратным корнем. В альтернативных примерах функция модифицированного давления может представлять собой другую функцию, близкую к указанной функции с использованием квадратного корня. Например, в функции модифицированной разности давлений давление в топливной рампе за вычетом давления PCP и члена f2 может быть возведено в степень 0,45, а не 0,5.

После того, как на этапе 1008 с помощью контроллера определено значение модифицированной разности давлений, способ продолжается, переходя к этапу 1010, на котором данные о запуске топливного инжектора индексируют как функцию по функции модифицированной разности давлений. Как описано выше, данные о запуске топливного инжектора могут быть сохранены в инжекторной таблице, например, в инжекторной таблице 300, представленной на фиг. 3. Инжекторная таблица также может быть сохранена на компьютерно-читаемом носителе с памятью, предназначенном для долгосрочного хранения данных. По сути, при определении значений команд для впрыска топлива данные в сохраненной инжекторной таблице могут быть активно проиндексирован с помощью функции модифицированной разности давлений во время работы двигателя. В одном примере функция модифицированной разности давлений для индексирования данных о запуске топливного инжектора является такой же, как и функция модифицированной разности давлений, используемая на этапе 1006 для определения модифицированной разности давлений. Таким образом, итоговое выходное значение, получаемое путем индексирования сохраненных данных о запуске топливного инжектора во время работы двигателя, может представлять собой модифицированную инжекторную таблицу, значения в которой проиндексированы с помощью модифицированной разности давлений (а не только по давлению в топливной рампе или же на основании разно-

сти давлений в сопловом отверстии инжектора). Примером модифицированной инжекторной таблицы является вторая инжекторная таблица 302, представленная на фиг. 3. В одном примере модифицированная инжекторная таблица может быть сохранена в памяти. Затем указанный способ продолжается, переходя к этапу 1012, на котором в модифицированной инжекторной таблице находят топливное значение (полученное на этапе 1004) и модифицированную разность давлений.

На этапе 1014 с помощью контроллера выполняют интерполяцию индексированных данных о запуске инжекторов из модифицированной инжекторной таблицы для определения времени запуска инжектора в соответствии с определенной модифицированной разностью давлений и топливным значением. Способ на этапе 1014 может включать определение по инжекторной таблице отдельных значений о запуске инжектора, которые находятся вблизи заданного значения модифицированной разности давлений и топливного значения. Например, с помощью контроллера может быть найдено первое значения модифицированной разности давлений, которое превышает определенное значение модифицированной разности давлений, и второе значение модифицированной разности давлений, которое меньше определенного значения модифицированной разности давлений. Первое и второе значения модифицированной разности давлений представляют собой два значения модифицированной разности давлений из группы соответствующих значений, указанных в первой строке инжекторной таблицы (например, в первой строке 310 второй таблицы 302). Затем с помощью контроллера может быть найдено первое топливное значение, которое превышает выбранное топливное значение, и второе топливное значение, которое меньше выбранного топливного значения. Первое и второе топливные значения представляют собой два топливных значения из группы топливных значений, указанных в первом столбце инжекторной таблицы (например, в первом столбце 312 второй таблицы 302). Затем в инжекторной таблице (содержащие данные о запуске инжекторов или время их запуска) выбирают ячейки, значения которых соответствуют первому и второму значениям модифицированной разности давлений и первому и второму топливным значениям. Затем с помощью контроллера выполняют интерполяцию выбранных отдельных значений данных для определения времени запуска топливных инжекторов в соответствии с определенной модифицированной разностью давлений и топливным значением.

На этапе 1016 с помощью контроллера на выходе получают определенное время запуска инжекторов. Затем, на этапе 1018 с помощью контроллера регулируют впрыск топлива на основании определенного времени запуска инжекторов. Как описано выше, регулирование впрыска топлива может включать регулирование режима впрыска топлива одного или более топливных инжекторов. В частности, в одном примере с помощью контроллера регулируют сигнал широтно-импульсной модуляции для задания команды для топливных инжекторов на впрыск топлива с определенной продолжительностью. Эта продолжительность может быть выбрана на основании на времени запуска топливных инжекторов. По сути, время запуска топливных инжекторов может представлять собой время, в течение которого топливные инжекторы открыты и впрыскивают топливо в цилиндры двигателя.

Таким образом, с помощью контроллера в двигателе данные о запуске топливного инжектора, имеющиеся в компьютерной памяти, индексируют как функцию с помощью функции модифицированной разности давлений, выполняют линейную интерполяцию индексированных данных о запуске инжекторов для определения времени запуска инжекторов при определенном давлении в топливной рампе на основании функции модифицированной разности давлений и регулируют впрыск топлива в двигателе на основании времени запуска инжекторов. В одном примере регулирование впрыска топлива включает регулирование длительности импульса одного или более топливных инжекторов, причем длительность импульса увеличивается по мере увеличения времени запуска инжектора. Кроме того, контроллер выполнен с возможностью впрыска топлива в диапазоне 20° от верхней мертвой точки при давлении в цилиндре. В одном примере индексирование данных о запуске топливного инжектора включает индексирование сохраненных данных о запуске топливного инжектора путем вычисления квадратного корня из модифицированной разности давлений в сопловом отверстии топливного инжектора, причем сохраненные данные о запуске топливного инжектора сохранены в компьютерной памяти указанных нескольких двигателей, в которых используются одинаковые топливные инжекторы. Функция модифицированной разности давлений позволяет преобразовывать выходное давление на выпуске сопла с помощью функции от скорости двигателя и режима впрыска, при этом разность давлений корректируют с помощью дополнительного поправочного коэффициента, который корректирует разницу между действительными значениями давления при установке на двигателе и значениями давления, наблюдаемыми во время испытаний инжектора на стенде (вне двигателя). В альтернативных вариантах выполнения дополнительный поправочный коэффициент может представлять собой функцию от количества жидкого топлива (например, дизельного топлива) и количества газообразного топлива, впрыскиваемого в двигатель, представляющий собой многотопливный двигатель. Кроме того, контроллер выполнен с возможностью линейной интерполяции первого индексированного времени запуска топливных инжекторов и второго индексированного времени запуска инжекторов на основании топливного значения и модифицированной разности давлений, причем модифицированная разность давлений представляет собой квадратный корень из разности давлений в сопловом отверстии инжектора за вычетом дополнительного поправочного коэффициента и давления на выпуске отверстия, умноженного на функцию от скорости двигателя и режима впры-

ска. Как пояснено выше, индексирование инжекторной таблицы с помощью модифицированной разности давлений (например, на основании функции модифицированной разности давлений) позволяет преобразовать данные о запуске топливного инжектора, сохраненные в инжекторной таблице, чтобы сделать эти данные в ячейках инжекторной таблицы более линейными и учитывать разницу давлений в случае монтажа на двигателе при разных условиях работы двигателя. В результате, погрешность интерполяции может быть уменьшена, тем самым, повышая точность значения времени запуска топливных инжекторов на выходе контроллера. Кроме того, для текущих условий работы двигателя могут быть определены более точные значения времени запуска инжекторов. Таким образом, может быть повышена точность управления топливными инжекторами, тем самым, повышая эффективность потребления топлива в двигателе и при этом уменьшая неравномерность выбросов двигателя.

В одном варианте выполнения предложена система, содержащая двигатель, топливный инжектор и контроллер, содержащий один или более процессоров. Контроллер выполнен с возможностью определения значения модифицированной разности давлений в сопловом отверстии топливного инжектора на основании определенных значений давления выше и ниже по потоку от соплового отверстия, скорости двигателя, режима впрыска и функции модифицированной разности давлений. Контроллер также выполнен с возможностью генерирования выходного значения для запуска топливных инжекторов путем интерполяции индексированных данных о запуске топливного инжектора, используя значение модифицированной разности давлений в качестве первого входного параметра, причем данные о запуске топливного инжектора индексируют в соответствии с первым и вторым входными параметрами. Например, в соответствии с одним аспектом второй входной параметр может представлять собой топливное значение, причем топливное значение представляет собой количество топлива, впрыскиваемого за один ход топливного инжектора.

В одном варианте выполнения предложена система, содержащая двигатель, топливный инжектор и контроллер, содержащий один или более процессоров. Контроллер выполнен с возможностью управления впрыском топлива путем запуска инжектора в определенное время. Контроллер выполнен с возможностью определения времени запуска на основании командно-задаваемого топливного значения и функции модифицированной разности давлений в сопловом отверстии инжектора. Модифицированная разность давлений получена на основании разности между давлением в рампе и пиковым давлением в цилиндре, которое преобразовано с помощью функции от скорости двигателя и режима впрыска, при этом разность давлений скорректирована с помощью поправочного коэффициента.

Следует понимать, что в данном документе указание элемента или этапа в единственном числе должно трактоваться без исключения возможности использования нескольких таких элементов или этапов, если четко не указано иное. Кроме того, ссылки на "один вариант выполнения" данного изобретения не исключают наличия дополнительных вариантов выполнения, которые также содержат указанные признаки. Более того, если однозначно не указано иное, варианты выполнения, "содержащие", "включающие" или "имеющие" элемент или элементы, имеющие определенный признак, могут содержать такие дополнительные элементы, которые не обладают указанным признаком. Слова "включающий" и "в котором" используются в качестве упрощенных эквивалентов соответствующих слов "содержащий" и "в котором". Кроме того, слова "первый", "второй", "третий" и т.д. используются исключительно в качестве ориентиров и не означают численные требования или конкретный порядок расположения таких объектов.

Способы управления и алгоритмы, раскрытые в данном документе, могут быть сохранены в качестве исполнительных инструкций в долгосрочной памяти и могут быть осуществлены с помощью системы управления, содержащей контроллер в комбинации с различными датчиками, исполнительными средствами и другими техническими средствами двигателя. Конкретные алгоритмы, описанные в данном документе, могут представлять по меньшей мере одну из любого числа стратегий обработки, таких как стратегии, вызываемые событиями, прерываниями, многозадачные, многопоточные стратегии и т.п. По сути, различные действия, операции и/или функции, описанные здесь, могут быть выполнены в указанной последовательности, параллельно или в некоторых случаях могут быть опущены. Аналогичным образом, указанный порядок обработки не обязательно должен обеспечивать признаки и преимущества описанных в данном документе примерных вариантов выполнения, поскольку такой порядок приведен для облегчения иллюстрации и описания изобретения. Одно(а) или более описанных действий, операций и/или функций могут быть выполнены многократно в зависимости от использования конкретной стратегии. Кроме того, описанные действия, операции и/или функции могут быть графически выражены в виде кода, встраиваемого в долгосрочную память машиночитаемого носителя, используемого в системе управления двигателем, причем описанные действия выполняются путем исполнения инструкций в системе, содержащей различные технические компоненты двигателя в комбинации с электронным контроллером.

В данном описании использованы примеры для раскрытия данного изобретения, включая предпочтительный вариант, а также для обеспечения возможности для специалиста в соответствующей области техники реализовать данное изобретение, включая его изготовление и использование любых устройств или систем, а также осуществить любые включенные в данное изобретение способы. Патентуемый объем данного изобретения определен формулой изобретения и может содержать другие примеры, которые могут быть осуществлены специалистами в данной области техники. Указанные другие примеры входят

в объем формулы изобретения, если они содержат структурные элементы, которые соответствуют элементам в формуле изобретения согласно ее буквальному толкованию, или если такие примеры содержат эквивалентные структурные элементы с несущественными отличиями от элементов в формуле изобретения согласно ее буквальному толкованию.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Машиночитаемый носитель информации, содержащий:

данные о запуске топливного инжектора, упорядоченные в пространстве машиночитаемого носителя информации в соответствии с двумя входными параметрами,

инструкции для определения значения преобразованной разности давлений в сопловом отверстии топливного инжектора на основании полученных значений давления выше и ниже по потоку от указанного соплового отверстия, скорости двигателя, режима впрыска и функции преобразованной разности давлений, и

инструкции для генерирования выходного значения для запуска топливного инжектора путем интерполяции упорядоченных данных о запуске топливного инжектора с использованием указанного значения преобразованной разности давлений в качестве первого из указанных двух входных параметров.

2. Носитель по п.1, в котором указанные определенные значения давления выше и ниже по потоку от указанного соплового отверстия включают измеренное давление в топливной рампе, измеренное выше по потоку от указанного топливного инжектора, и смоделированное пиковое давление в цилиндре, при этом указанное измеренное давление в топливной рампе предпочтительно представляет собой давление в рампе для жидкого топлива, впрыскиваемого в двигатель через указанный топливный инжектор.

3. Носитель по п.1, в котором указанная функция преобразованной разности давлений представляет собой аппроксимацию квадратным корнем разности между давлением выше по потоку и давлением ниже по потоку от указанного соплового отверстия, скорректированной с помощью поправочного коэффициента, причем давление ниже по потоку от указанного соплового отверстия преобразовано с помощью функции от скорости двигателя и режима впрыска, при этом аппроксимация квадратным корнем линеаризует данные о запуске топливного инжектора, сохраненные в одной инжекторной карте, записанной на машиночитаемый носитель.

4. Способ работы двигателя, в котором с помощью контроллера двигателя

определяют время запуска топливного инжектора двигателя с использованием данных и инструкций, хранимых в пространстве машиночитаемого носителя информации по п.1, причем

указанное время запуска определяют на основании командно-задаваемого топливного значения и функции преобразованной разности давлений в отверстии сопла инжектора, причем указанную преобразованную разность получают на основании разности между давлением в рампе и пиковым давлением в цилиндре, при этом пиковое давление преобразовано с помощью функции от скорости двигателя и режима впрыска, причем указанная разность давлений скорректирована с помощью поправочного коэффициента, и

выполняют впрыск топлива путем запуска топливного инжектора в определенное время запуска.

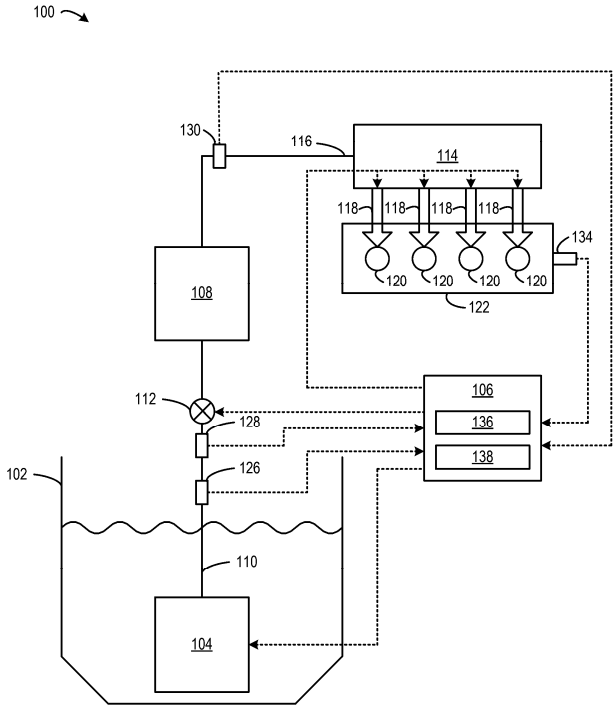
5. Система топливной рампы, содержащая

общую топливную рампу,

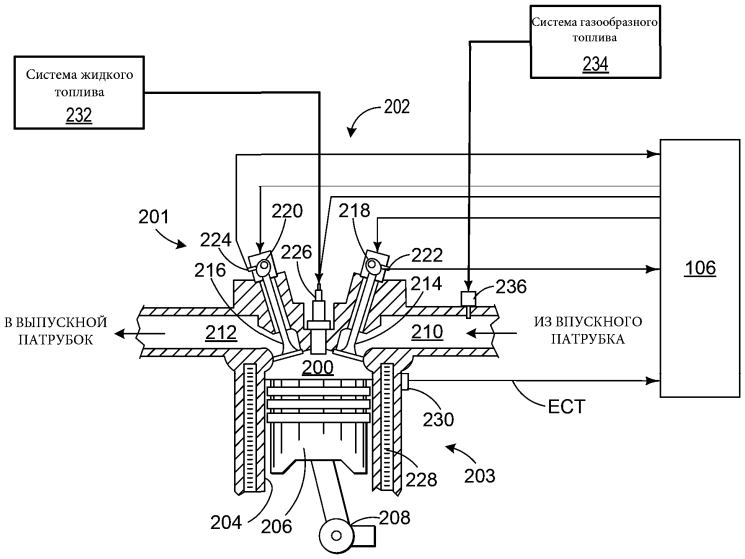
топливные инжекторы, выполненные с возможностью впрыска жидкого топлива из общей топливной рампы в цилиндры двигателя,

машиночитаемый носитель информации по п.1, в пространстве которого сохранена одна инжекторная таблица, которая содержит данные об инжекторах, упорядоченные с помощью функции преобразованной разности давлений, которая обеспечивает более линейную зависимость между данными об инжекторах в указанной одной инжекторной таблице, причем функция преобразованной разности давлений представляет собой функцию от разности давлений в сопловом отверстии для каждого из указанных топливных инжекторов, от скорости двигателя и от режима впрыска, и

контроллер, выполненный с возможностью управления указанными топливными инжекторами на основании времени запуска топливных инжекторов, причем указанный контроллер выполнен с возможностью определения времени запуска топливных инжекторов путем интерполяции упорядоченных данных об инжекторах из указанной одной инжекторной таблицы на основании определенного давления в топливной рампе и количества топлива, впрыскиваемого за один ход топливного инжектора.


100
130
116
114
118
118
118
118
134
120
120
120
120
122
108
106
136
138
112
128
126
102
110
104

Фиг. 1


Система газообразного топлива
234
Система жидкого топлива
232
202
201
220
218
224
226
222
216
214
236
106
В ВЫПУСКНОЙ ПАТРУБОК
212
210
ИЗ ВПУСКНОГО ПАТРУБКА
200
ECT
230
203
228
204
206
208

Фиг. 2

300

Топливное значение (мм3/ход)	Давление в топливной рампе (FRP)			
	600	**1000**	**1200**	**…**
0	0.6	0.5	0.4	…
50	1.0	0.8 314	0.7 316	…
100	1.2	0.9 318	0.8 320	…
150	1.5	1.1	1.0	…
200	1.8	1.2	1.1	…
⋮	…	…	…	…

304

308

306

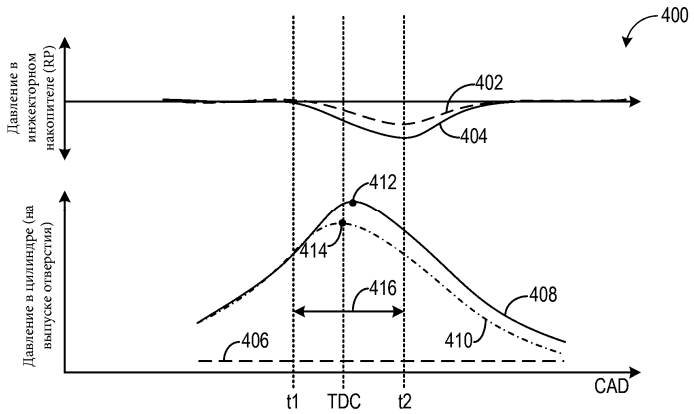
302

Топливный эквивалент (мм3/ход)	SQRT(RP – PCP*f1(x,y)-f2(z))			
	√600-F	**√1000-F**	**√1200-F**	**…**
0	0.6	0.5	0.4	…
50	1.0	0.8	0.7	…
100	1.2	0.9	0.8	…
150	1.5	1.1	1.0	…
200	1.8	1.2	1.1	…
⋮	…	…	…	…

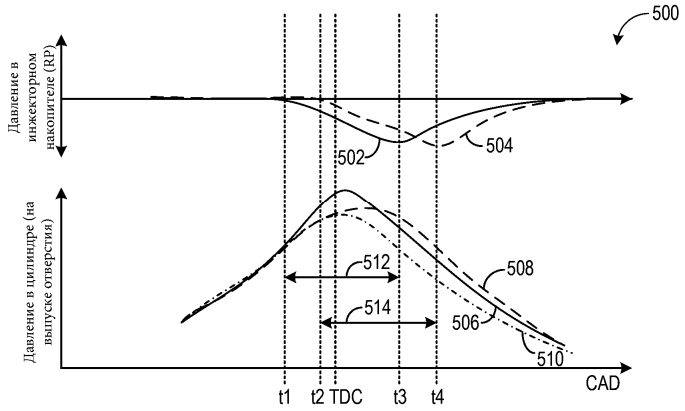
310

312

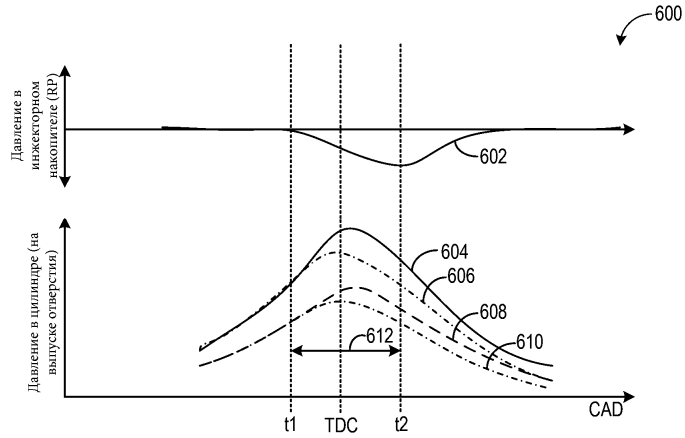
Фиг. 3



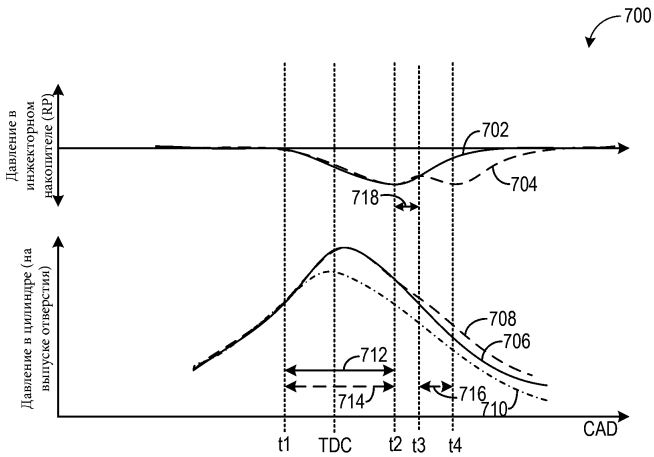
Фиг. 4



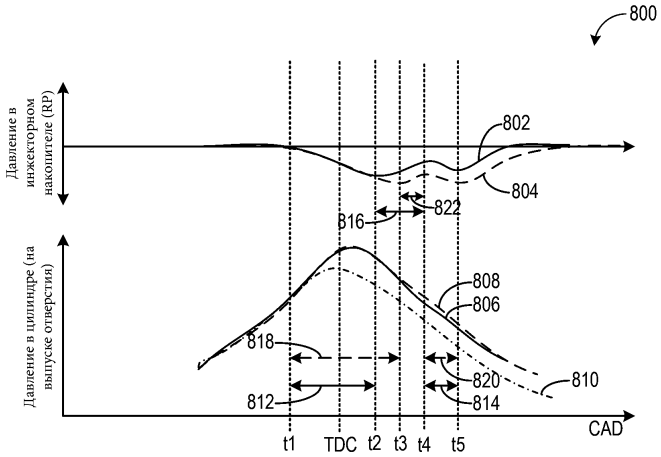
Фиг. 5



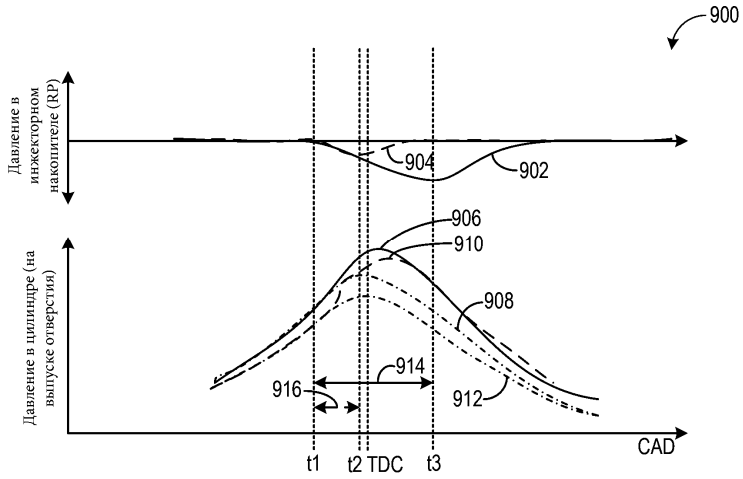
Фиг. 6



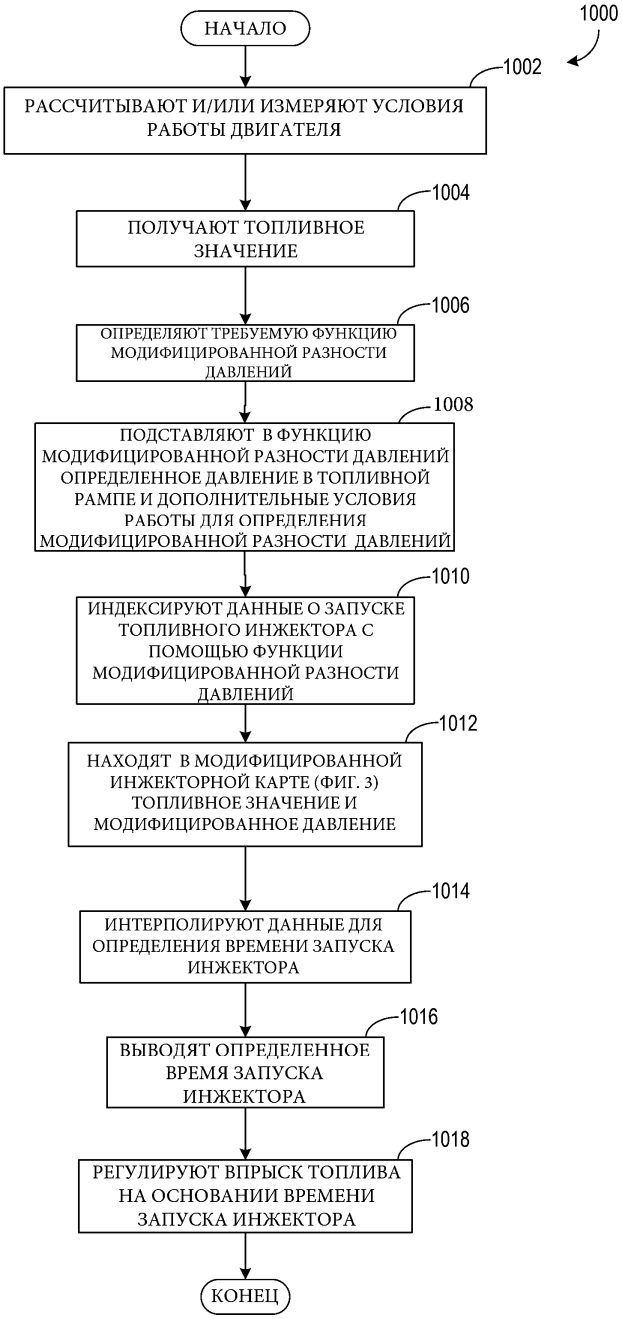
Фиг. 7


800
Давление в инжекторном накопителе (RP)
802
804
822
816
Давление в цилиндре (на выпуске отверстия)
808
806
818
820
810
814
812
CAD
t1
TDC
t2
t3
t4
t5

Фиг. 8


900
Давление в инжекторном накопителе (RP)
904
902
906
910
908
914
916
912
Давление в цилиндре (на выпуске отверстия)
CAD
t1
t2
TDC
t3

Фиг. 9



Фиг. 10

Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2