

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **046592**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.03.27**

(21) Номер заявки  
**202390245**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.09.28**

(51) Int. Cl. **F02D 23/02** (2023.01)  
**F02D 41/38** (2023.01)  
**F02D 41/40** (2023.01)

**(54) ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**(31) **63/091,212**(32) **2020.10.13**(33) **US**(43) **2023.03.31**(62) **202192384; 2021.09.28**

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

(72) Изобретатель:  
**Харт Мэттью, Лаверту Томас,  
Фелтон Адам (US), Вайдья Прити  
(IN), Лорингер Дэниел, Гупта Вену,**

**Бригден Джесси, Брумберг Джастин,  
Грэй Тэйлор, Гэллэгер Шон (US)**

(74) Представитель:  
**Билык А.В., Поликарпов А.В.,  
Соколова М.В., Дмитриев А.В.,  
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатъев  
А.В., Бучака С.М., Бельтюкова М.В.  
(RU)**

(56) EP-A1-2584178  
US-A1-20020013653  
US-A1-20120143477  
JP-A-2017115579  
US-A1-20100242581  
RU-U1-154739

(57) Предложен двигатель внутреннего сгорания. Двигатель содержит цилиндры, регулятор двигателя с потребляемыми эффективными мощностями двигателя, систему впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом, содержащую топливные форсунки, соединенные с цилиндрами, турбонагнетатель, содержащий сопловое кольцо на турбине турбонагнетателя, распределительный вал, выполненный с возможностью опережающего закрытия впускного клапана, и контроллер, содержащий исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти. В одном варианте выполнения инструкции при их выполнении приводят к тому, что контроллер в ответ на увеличение потребляемой эффективной мощности двигателя, пропорциональной позиции регулятора двигателя, с первого уровня до второго уровня, более высокого, чем первый уровень в первом диапазоне позиций регулятора двигателя, уменьшает величину опережения момента впрыска топлива для указанных топливных форсунок относительно верхней мертвой точки (ВМТ), и в ответ на дополнительное увеличение потребляемой эффективной мощности двигателя, пропорциональной позиции регулятора двигателя, со второго уровня до третьего уровня, более высокого, чем второй уровень во втором диапазоне позиций регулятора двигателя, содержащем более высокие позиции регулятора двигателя, чем первый диапазон, увеличивает величину опережения момента впрыска топлива указанных топливных форсунок относительно ВМТ. В другом варианте выполнения инструкции при их выполнении приводят к тому, что контроллер, в ответ на потребляемую эффективную мощность двигателя, пропорциональную позиции регулятора двигателя, регулирует величину опережения момента впрыска топлива для указанных топливных форсунок относительно верхней мертвой точки (ВМТ) на основании первой немонотонной зависимости между потребляемой эффективной мощностью двигателя и моментом впрыска топлива, причем, когда потребляемая эффективная мощность двигателя увеличивается в первом диапазоне позиций регулятора двигателя, величина опережения момента впрыска топлива уменьшается, а когда потребляемая эффективная мощность двигателя увеличивается во втором диапазоне позиций регулятора двигателя, содержащем более высокие позиции регулятора двигателя чем первый диапазон, величина опережения момента впрыска топлива увеличивается.

**B1****046592****046592****B1**

### **Перекрестная ссылка на родственные заявки**

Приоритет настоящей заявки испрашивается по дате подачи предварительной заявки на патент США № 63/091212, озаглавленной "Системы и способы для двигателя локомотива" и поданной 13 октября 2020 г. Все содержание вышеупомянутой заявки включено в настоящий документ посредством ссылки для всех целей.

### **Область техники**

Варианты выполнения изобретения, раскрытого в настоящем документе, относятся к двигателям внутреннего сгорания.

### **Обсуждение уровня техники**

Транспортные средства, использующие источники энергии, полученной в результате сгорания, такие как двигатели внутреннего сгорания, могут ограничивать количество выбросов транспортных средств (например, выбросы газов и твердых частиц) и повышать эффективность использования топлива транспортного средства. Для некоторых существующих двигателей их эксплуатация для ограничения выбросов и повышения эффективности использования топлива может привести к тому, что двигатель будет работать за пределами аппаратных ограничений. Например, работа двигателя может быть ограничена давлением в цилиндре. В качестве другого примера, работа двигателя может быть ограничена рабочим диапазоном компрессора турбонагнетателя двигателя. Например, исходя из рабочего диапазона компрессора турбонагнетателя двигателя, во время работы двигателя турбонагнетатель может обеспечивать ограниченное количество наддувочного воздуха. Поскольку из-за ограничения выбросов транспортного средства и повышения эффективности использования топлива может потребоваться, чтобы двигатель работал за пределами аппаратных ограничений, вероятность ухудшения характеристик компонентов может увеличиться, а срок службы двигателя может уменьшиться. Кроме того, низкая эффективность использования топлива может привести к увеличению общей стоимости топлива для двигателя, что может снизить удовлетворенность потребителя. По существу, может быть желательным иметь систему ограничения выбросов и повышения эффективности использования топлива двигателем, которая отличается от систем, доступных в настоящее время. Вышеупомянутые проблемы не признаются в современном уровне техники.

### **Сущность изобретения**

В одном варианте выполнения предлагается двигатель внутреннего сгорания, содержащий: цилиндры, регулятор двигателя, имеющий положения, соответствующие потребляемым эффективным мощностям двигателя, систему впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом, причем указанная система впрыска топлива содержит топливные форсунки, соединенные с цилиндрами, причем каждая из указанных форсунок имеет привод, турбонагнетатель, содержащий сопловое кольцо на турбине турбонагнетателя, распределительный вал, выполненный с возможностью опережающего закрытия впускного клапана, контроллер, выполненный с возможностью определения положения регулятора, подключенный к приводам форсунок для регулировки подаваемого на них сигнала, приводящего их в действие, и регулировки момента впрыска топлива, и содержащий исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на изменение положения регулятора, соответствующее увеличению потребляемой эффективной мощности двигателя с одного значения до другого более высокого значения, в первом диапазоне положений регулятора двигателя, уменьшает величину опережения момента впрыска топлива для указанных топливных форсунок относительно верхней мертвой точки (ВМТ), и в ответ на изменение положения регулятора, соответствующее дальнейшему увеличению потребляемой эффективной мощности двигателя с одного значения до другого более высокого значения, во втором диапазоне положений регулятора двигателя, соответствующем более высоким значениям выходной мощности двигателя, чем первый диапазон, увеличивает величину опережения момента впрыска топлива указанных топливных форсунок относительно ВМТ, на основе первого немонотонного соотношения между потребляемой эффективной мощностью двигателя и моментом впрыска топлива.

### **Краткое описание чертежей**

Фиг. 1 изображает схематическую диаграмму транспортного средства с двигателем в соответствии с одним вариантом выполнения настоящего изобретения.

Фиг. 2 изображает иллюстративный график зависимости между позициями регулятора двигателя и оборотами двигателя в минуту (RPM) для двигателя.

Фиг. 3 изображает иллюстративный график зависимости между позициями регулятора двигателя и моментом впрыска топлива для двигателя.

Фиг. 4 изображает иллюстративный график зависимости между позициями регулятора двигателя и магистральным давлением для системы впрыска топлива двигателя.

Фиг. 5 изображает иллюстративный график зависимости между числом оборотов двигателя и пределами магистрального давления для двигателя.

Фиг. 6 изображает иллюстративный график взаимосвязи между позициями регулятора двигателя и пределами момента впрыска топлива для двигателя.

Фиг. 7А изображает иллюстративные графики зависимости между барометрическим давлением,

скоростью двигателя и моментом впрыска топлива для двигателя.

Фиг. 7В изображает иллюстративные графики зависимости между температурой на входе в турбо-нагнетатель, скоростью и моментом впрыска топлива для двигателя.

Фиг. 7С изображает иллюстративный график зависимости между высотой расположения двигателя над уровнем моря и характеристиками системы охлаждения двигателя.

Фиг. 8 изображает иллюстративную временную шкалу для регулировки настройки позиции регулятора двигателя, включая переходную настройку.

#### Подробное описание

Последующее описание относится к вариантам выполнения системы/способа для транспортного средства, имеющего двигатель внутреннего сгорания, выполненный с возможностью ограничения выбросов транспортного средства и повышения топливной эффективности. В одном примере система транспортного средства (например, система железнодорожного транспортного средства), такая как показана на фиг. 1, может содержать двигатель для сжигания топливозвоздушной смеси и может содержать систему смазки для подачи моторного масла к различным компонентам двигателя. Чтобы повысить эффективность двигателя и снизить расход топлива, двигатель может содержать топливную систему с общим нагнетательным трубопроводом (Common Rail), турбоагнетатель с расширенным рабочим диапазоном компрессора и опережающим моментом закрытия впускного клапана (IVC). Фиг. 2-7С изображают калибровки для работы двигателя, показанного на фиг. 1, для повышения коэффициента полезного действия двигателя. Кроме того, фиг. 8 иллюстрирует способ работы двигателя, а фиг. 9 изображает способ регулировки работы двигателя в ответ на переходное состояние во время изменения потребляемой эффективной мощности двигателя. Кроме того, фиг. 10 изображает иллюстративную временную шкалу для регулировки условий работы двигателя во время переходного режима.

Подход, описанный в настоящем документе, может использоваться в двигателях различных типов и в различных системах с приводом от двигателя. Для ясности иллюстрации, рельсовое транспортное средство, такое как локомотив, может быть предложено в качестве примера мобильной платформы, поддерживающей систему, содержащую вариант выполнения изобретения. Например, мобильная платформа может представлять собой маневровый локомотив с двигателем, как подробно описано ниже.

Фиг. 1 изображает вариант выполнения системы транспортного средства. В частности, фиг. 1 изображает блок-схему варианта выполнения системы 100 транспортного средства, изображенного здесь как локомотивное транспортное средство 106, выполненное с возможностью движения по рельсовому пути 102 с помощью колес 112. Как изображено, локомотив содержит двигатель 104. Двигатель содержит цилиндры 101 (только один репрезентативный цилиндр показан на фиг. 1), каждый из которых содержит по меньшей мере один впускной клапан 103, по меньшей мере один выпускной клапан 105 и по меньшей мере один топливный инжектор 107. Каждый топливный инжектор может содержать привод, который может приводиться в действие по сигналу от контроллера 110 двигателя. В некоторых примерах впускные клапаны и выпускные клапаны могут управляться распределительным валом, который выполнен с возможностью открывать и закрывать клапаны в заданные моменты времени. Например, вращение распределительного вала может быть связано с частотой вращения двигателя, а распределительный вал может содержать кулачки с выступами, так что кулачки открывают и закрывают впускные и выпускные клапаны в заранее определенных положениях двигателя. В качестве примера, чтобы уменьшить поток воздуха к цилиндрам и уменьшить рост температуры во время такта сжатия, время закрытия впускного клапана может быть установлено с опережением относительно верхней мертвой точки (ВМТ), например, путем регулировки положения кулачков впускного клапана и/или путем регулировки формы кулачков впускного клапана. В других примерах каждый впускной клапан и каждый выпускной клапан могут содержать привод, который может приводиться в действие посредством сигнала от контроллера. В других неограничивающих вариантах выполнения двигатель может представлять собой стационарный двигатель, например, в силовой установке, или двигатель морского судна или другую силовую установку внедорожного транспортного средства, как указано выше.

Двигатель принимает всасываемый воздух для сгорания из впускного канала 114. Впускной канал содержит воздушный фильтр 160, который фильтрует воздух, поступающий снаружи локомотива. Выхлопной газ, образующийся в результате сгорания в двигателе, подается в выхлопной канал 116. Например, выхлопной канал может содержать датчик 162 выхлопного газа, который может контролировать температуру и/или продукты сгорания выхлопного газа. Выхлопной газ проходит через выхлопной канал и выхлопную систему 170 локомотива. Например, выхлопной канал может быть соединен с искрогасителем для уменьшения образования искр и/или нагара в выхлопе, и глушителем для уменьшения нежелательного шума выхлопа.

Система транспортного средства может дополнительно содержать систему доочистки, подключенную к выхлопному каналу. В одном варианте выполнения система доочистки может содержать одно или несколько устройств контроля выбросов. Такие устройства контроля выбросов могут содержать катализатор избирательного каталитического восстановления (SCR), трехкомпонентный катализатор, ловушку NOx или различные другие устройства или системы доочистки выхлопных газов. В другом варианте выполнения система доочистки может дополнительно или в качестве альтернативы содержать катализатор

окисления, такой как катализатор окисления дизельного топлива (DOC) и фильтр твердых частиц (PF).

Кроме того, сгорание в цилиндре(ах) приводит во вращение коленчатый вал (не показан). В одном примере двигатель представляет собой дизельный двигатель, который сжигает воздух и дизельное топливо путем воспламенения от сжатия. В другом примере двигатель представляет собой двухтопливный или многотопливный двигатель, который может сжигать смесь газообразного топлива и воздуха при впрыске дизельного топлива во время сжатия воздушно-газовой топливной смеси. В других неограничивающих вариантах выполнения двигатель может дополнительно или в качестве альтернативы сжигать топливо, включая бензин, водород, аммиак, спирт, такой как этанол (EtOH) и/или метанол, керосин, природный газ, биодизель или другие нефтяные дистилляты аналогичной плотности путем воспламенения от сжатия (и/или искрового воспламенения). Топливо может быть жидким, газообразным и/или их комбинацией.

Как изображено на фиг. 1, двигатель соединен с системой выработки электроэнергии, которая содержит альтернатор/генератор 122. Например, двигатель представляет собой дизельный двигатель и/или двигатель, работающий на природном газе, который генерирует выходной крутящий момент, который передается на альтернатор/генератор, т.е. механически соединен с коленчатым валом, а также по меньшей мере с одним из колес 112 для обеспечения движущей силы для движения локомотива. Альтернатор/генератор вырабатывает электроэнергию, которая может храниться (например, в аккумуляторной батарее) и/или применяться для последующего распределения на большое количество последующих электрических компонентов. В одном примере альтернатор/генератор может быть соединен с электрической системой 126. Электрическая система может содержать одну или несколько электрических нагрузок, выполненных с возможностью работы на электроэнергии, вырабатываемой альтернатором/генератором, например, фары транспортного средства, систему вентиляции кабины и развлекательную систему, и может дополнительно содержать устройство накопления энергии (например, аккумуляторную батарею), выполненное с возможностью зарядки электричеством, вырабатываемым альтернатором/генератором. В некоторых примерах транспортное средство может представлять собой дизель-электрическое транспортное средство, а альтернатор/генератор переменного тока может обеспечивать электричеством один или несколько электродвигателей для приведения в движение колес 112.

Как показано на фиг. 1, система транспортного средства дополнительно содержит систему 150 охлаждения (например, систему охлаждения двигателя). Система охлаждения обеспечивает циркуляцию охлаждающей жидкости через двигатель для поглощения отработанного тепла двигателя и распределения нагретой охлаждающей жидкости по теплообменнику, такому как радиатор 152 (например, теплообменник радиатора). В одном примере охлаждающей жидкостью может быть вода, антифриз или их смесь. В другом примере охлаждающей жидкостью может быть масло. Вентилятор 154 может быть подсоединен к радиатору для поддержания потока воздуха через радиатор, когда транспортное средство движется медленно или останавливается при работающем двигателе. В некоторых примерах скорость вентилятора может регулироваться контроллером. Охлаждающая жидкость, охлаждаемая радиатором, может попасть в бак (не показан). Затем охлаждающая жидкость может перекачиваться насосом 156 обратно в двигатель или в другой компонент системы транспортного средства.

Контроллер может быть выполнен с возможностью управления различными компонентами, относящимися к системе локомотивного транспортного средства. Например, различные компоненты системы транспортного средства могут быть подключены к контроллеру через коммуникационный канал или шину данных. В одном примере контроллер содержит компьютерную систему управления. Контроллер может дополнительно или в качестве альтернативы содержать запоминающее устройство, содержащее энергонезависимые машиночитаемые носители данных (не показаны), включая код для включения бортового мониторинга и управления работой локомотива. В некоторых примерах контроллер может содержать более одного контроллера, каждый из которых обменивается друг с другом данными, например, первый контроллер для управления двигателем и второй контроллер для управления другими рабочими параметрами транспортного средства (такими как нагрузка двигателя, частота вращения двигателя, тормозной крутящий момент и т.д.). Первый контроллер может быть выполнен с возможностью управления различными исполнительными механизмами на основе выходных данных, полученных от второго контроллера, и/или второй контроллер может быть выполнен с возможностью управления различными исполнительными механизмами на основе выходных данных, полученных от первого контроллера.

Контроллер может получать информацию от датчиков и может посылать управляющие сигналы исполнительным механизмам. Контроллер, отслеживая управление и координацию двигателем и/или транспортным средством, может быть выполнен с возможностью приема сигналов от различных датчиков двигателя, как дополнительно описано в настоящем документе, для определения рабочих параметров и условий работы и, соответственно, регулировки различных исполнительных механизмов двигателя для управления работой двигателя и/или транспортного средства. Например, контроллер может получать сигналы от различных датчиков двигателя, включая, помимо прочего, частоту вращения двигателя, нагрузку на двигатель, давление воздуха во впускном коллекторе, давление наддува, давление выхлопных газов, давление окружающей среды, температуру окружающей среды, температуру выхлопных газов, температуру сажевого фильтра, давление на входе в сажевый фильтр или падение давления в сажевом

фильтре, давление охлаждающей жидкости двигателя и т.п. Дополнительные датчики, такие как датчики температуры охлаждающей жидкости, могут быть размещены в системе охлаждения. Соответственно, контроллер может управлять двигателем и/или транспортным средством, посылая команды различным компонентам, таким как один или несколько электродвигателей 124, альтернатор/генератор, топливные форсунки, клапаны, насос охлаждающей жидкости и т.п. Например, контроллер может управлять работой ограничительного элемента (например, такого как клапан) в системе охлаждения двигателя.

Другие исполнительные механизмы также могут быть подсоединены к различным местам в транспортном средстве.

Кроме того, контроллер может отслеживать потребляемую эффективную мощность двигателя для регулятора двигателя. В иллюстративном варианте выполнения потребляемая эффективная мощность двигателя может содержать настройку позиции регулятора или настройку дроссельной заслонки. Например, регулятор двигателя может реагировать на настройку позиции регулятора двигателя, чтобы регулировать работу двигателя. Например, оператор транспортного средства может регулировать устройство ввода с помощью настроек позиции регулятора двигателя. На основе выбранной настройки позиции регулятора двигателя контроллер может регулировать работу двигателя для обеспечения требуемых характеристик двигателя (например, таких как требуемая скорость транспортного средства). В качестве примера, настройки позиции регулятора двигателя могут содержать позицию 0, позицию 1, позицию 2, позицию 3, позицию 4, позицию 5, позицию 6, позицию 7 и позицию 8. Увеличение числового значения позиции регулятора может соответствовать увеличению скорости транспортного средства и/или выходной мощности двигателя, а также регулировкам момента впрыска топлива и магистрального давления. Например, позиция 0 может соответствовать тому, что локомотив не движется, позиция 4 может обеспечивать средний уровень скорости, а позиция 8 может быть настройкой максимальной скорости. Например, контроллер может регулировать обороты двигателя в минуту (RPM), передачу, синхронизацию клапанов и другие параметры, чтобы перемещать транспортное средство со скоростью, соответствующей выбранной позиции регулятора двигателя. Например, двигатель может быть отрегулирован для выработки большей мощности для увеличения скорости транспортного средства или для работы с большой нагрузкой (например, груза и/или уклона).

Кроме того, транспортное средство может ограничивать количество выбросов и повышать эффективность использования топлива. Например, существующие дизельные двигатели локомотивов могут содержать насос-инжектор, который может связывать давление впрыска с частотой вращения двигателя и синхронизацией распредвала. Кроме того, такой двигатель может содержать профили впускных и выпускных кулачков с оптимизированным объемным КПД, которые могут быть направлены на то, чтобы обеспечить как можно большему количеству воздуха возможность захватываться в цилиндр для такта сжатия. Кроме того, турбонагнетатель, имеющийся в существующих двигателях тепловозов, может иметь ограниченный рабочий диапазон. Эксплуатация такой системы (например, дизельного локомотива, включающего насос-инжектор, объемный КПД и ограниченный рабочий диапазон) для ограничения количества выбросов и повышения эффективности использования топлива может привести к работе за пределами механических ограничений компонентов двигателя, а также может привести к относительно низкому КПД при работе на механических пределах. Например, работа двигателя за пределами аппаратных ограничений компонентов двигателя может увеличить вероятность деградации компонентов и увеличить затраты на техническое обслуживание.

Чтобы ограничить выбросы и повысить эффективность использования топлива без превышения механических ограничений двигателя, изобретатели здесь реализовали несколько функций, которые могут синергетически сочетаться для уменьшения выбросов транспортного средства и повышения эффективности транспортного средства. Во-первых, вместо насоса-инжектора двигатель может содержать топливную систему с общим нагнетательным трубопроводом, то есть топливный насос высокого давления с топливными магистралями с общим нагнетательным трубопроводом и с объемом нагнетательного трубопровода соответствующего размера, ведущего к инжекторам с электронным управлением. Использование топливной системы с общим нагнетательным трубопроводом может улучшить распыление топлива во время впрыска и может уменьшить образование твердых частиц (PM). Кроме того, использование топливной системы с общим нагнетательным трубопроводом разделяет давление и момент впрыска и частоту вращения двигателя и/или фазы газораспределения, что позволяет оптимизировать компромисс между (продуктами сгорания) оксидом азота (NOx), твердыми частицами (PM) и удельным расходом топлива (SFC), оставаясь в механических пределах двигателя. Во-вторых, синхронизация впускных клапанов может быть установлена опережающей относительно нижней мертвой точки (НМТ) (то есть опережающий цикл Миллера), чтобы уменьшить поток воздуха в цилиндр при одновременном снижении повышения температуры во время такта сжатия. Например, закрытие впускного клапана (IVC) может происходить раньше. Регулировка фаз впускного клапана, как описано, может уменьшить образование NOx во время сгорания. В частности, синхронизация впускных клапанов может быть опережающей относительно НМТ (например, смещаться относительно НМТ, чтобы уменьшить эффективную степень сжатия). В-третьих, турбонагнетатель может содержать оптимизированное колесо компрессора, диффузор и сопловое кольцо для повышения эффективности турбонагнетателя. Взятые вместе, эти настройки

турбонагнетателя могут расширить рабочий диапазон компрессора. Например, расширенный рабочий диапазон компрессора турбонагнетателя увеличивает запас турбонагнетателя по помпажу. Кроме того, образование твердых частиц может быть уменьшено, в то время как механические ограничения турбонагнетателя могут быть увеличены, чтобы увеличить диапазон работы двигателя.

Три особенности, описанные выше (например, включение топливной системы с общим нагнетательным трубопроводом, опережающее закрытие впускных клапанов и турбонагнетатель с расширенным рабочим диапазоном) могут быть выгодно объединены, чтобы уменьшить выбросы транспортного средства при одновременном повышении эффективности использования топлива транспортным средством. Кроме того, объединение трех функций может обеспечивать дополнительные преимущества по сравнению с преимуществами, предоставляемыми каждой функцией по отдельности. Например, уменьшение  $\text{NO}_x$  может быть достигнуто в первую очередь путем управления объемной эффективностью воздушного потока и снижения эффективной степени сжатия цилиндров двигателя благодаря опережающему закрытию впускных клапанов. Однако такое изменение воздушного потока может увеличить величину наддува, требуемого от турбонагнетателя. Например, без включения турбонагнетателя с расширенным рабочим диапазоном, как описано выше, опережающее закрытие впускных клапанов может привести к ухудшению характеристик компонентов и может ухудшить работу двигателя в целом. Чтобы снизить вероятность такой деградации компонентов, турбонагнетатель предпочтительно приводится в действие (например, с помощью турбонагнетателя с расширенным рабочим диапазоном) для синергетического уменьшения выбросов транспортного средства. Кроме того, снижение объемного КПД (например, в результате опережающего закрытия впускных клапанов) может уменьшить воздушный поток для заданного уровня наддува на всех позициях регулятора двигателя. Например, уменьшение воздушного потока в средних позициях регулятора может снизить качество сгорания в системах с системой насосов-инжекторов. Таким образом, без включения топливной системы с общим нагнетательным трубопроводом преимущества для КПД двигателя и выбросов могут быть перевешены снижением производительности двигателя. Таким образом, включение топливной системы с общим нагнетательным трубопроводом может синергетически решить проблемы с качеством сгорания, так что преимущества снижения объемного КПД от опережающего  $\text{IVC}$  (например, снижение выбросов транспортных средств) могут быть сохранены без снижения эффективности сгорания или снижения качества сгорания, приводящего к увеличению выбросов отдельных веществ. Например, как давление впрыска топлива, так и момент впрыска топлива могут быть откалиброваны для каждой позиции регулятора двигателя, чтобы преимущественно уменьшить выбросы транспортного средства и повысить эффективность транспортного средства. В целом, три регулировки дизельного двигателя, описанные выше, могут взаимодействовать синергетически, так что комбинация трех регулировок обеспечивает большее преимущество, чем каждая из трех регулировок может обеспечить по отдельности, так что КПД двигателя повышается, выбросы уменьшаются, расход топлива снижается, а характеристики работы двигателя сохраняются.

Чтобы обеспечить эти преимущества при любой потребляемой эффективной мощности двигателя, различные условия работы двигателя могут быть откалиброваны для каждой потребляемой эффективной мощности двигателя, чтобы поддерживать низкие выбросы транспортного средства и высокую эффективность использования топлива. В иллюстративном варианте выполнения условия работы двигателя могут быть откалиброваны при каждой настройке позиции регулятора. В частности, на фиг. 2-7В показаны калибровки двигателя в диапазоне условий работы двигателя в системе, включая топливную систему с общим нагнетательным трубопроводом, опережающее  $\text{IVC}$  и расширенный рабочий диапазон для турбонагнетателя.

Обратимся теперь к фиг. 2, на которой график 200 изображает пример взаимосвязи между позициями регулятора двигателя и оборотами двигателя в минуту (RPM). Например, иллюстративная взаимосвязь на графике 200 может соответствовать предписанию позиций регулятора для оборотов двигателя на основе выбранной позиции регулятора двигателя. Целевое число оборотов двигателя для каждой позиции регулятора двигателя показано крестиками 202. Для вышесказанного вертикальная ось изображает относительное число оборотов двигателя в минуту, при этом целевое число оборотов двигателя увеличивается по вертикальной оси снизу вверх. Горизонтальная ось изображает позиции регулятора двигателя, при этом позиции регулятора двигателя увеличиваются по горизонтальной оси слева направо. Как показано, целевое число оборотов двигателя в минуту (крестики 202) может увеличиваться с позициями регулятора двигателя, так что целевое число оборотов двигателя в минуту непрерывно увеличивается пропорционально установке позиции регулятора двигателя. Другими словами, взаимосвязь между целевым числом оборотов двигателя и установкой позиции регулятора двигателя может быть описана монотонной функцией. Например, калибровка содержит более высокие заданные обороты для более высоких позиций регулятора, чтобы увеличить количество воздушного потока через двигатель и избежать работы турбонагнетателя за пределами границы помпажа, увеличить толщину масляной пленки подшипника и увеличить пиковое давление воспламенения в цилиндрах. Кроме того, более высокие целевые обороты на более высоких позициях регулятора могут увеличивать вентиляцию двигателя, поскольку электрическая частота вспомогательного генератора переменного тока может быть привязана к оборотам двигателя. Увеличенный воздушный поток также может обеспечивать возможность впрыска большего количества

топлива и увеличения крутящего момента/мощности. Увеличение вентиляции двигателя может снизить температуру двигателя на более высоких позициях регулятора, что может снизить вероятность деградации компонентов.

Далее, на фиг. 3 график 300 изображает пример взаимосвязи между позициями регулятора двигателя и моментом впрыска топлива. Например, на графике 300 показана калибровка момента впрыска топлива для каждой позиции регулятора двигателя, чтобы уменьшить выбросы транспортного средства при одновременном повышении эффективности использования топлива. Целевой момент впрыска топлива для каждой позиции регулятора двигателя показан крестиками 302. Для вышесказанного вертикальная ось изображает относительный момент впрыска топлива, при этом целевой момент впрыска топлива увеличивается вверх по вертикальной оси снизу вверх. Горизонтальная ось изображает позиции регулятора двигателя, при этом позиции увеличиваются по горизонтальной оси слева направо. Как показано, небольшие позиции регулятора (например, позиция 2 и ниже) могут содержать менее опережающие целевые моменты впрыска топлива, потому что потребление топлива может широко варьироваться в этой области, что может лишь минимально влиять на выбросы и расход топлива. В позиции 3 и позиции 4 целевой момент впрыска топлива может быть еще менее опережающим, причем менее опережающий момент снижает пиковые температуры сгорания, которые приводят к более низким выбросам NOx. Кроме того, по мере увеличения мощности (например, позиция 5 и выше) потребление топлива может быть уменьшено благодаря опережающим моментам, чтобы максимально снизить потребление топлива. Например, величина опережения непрерывно уменьшается между позицией 1 и позицией 4 и непрерывно увеличивается между позицией 4 и позицией 8. Например, взаимосвязь между величиной опережения и установкой позиции регулятора двигателя немонотонна. Кроме того, в некоторых примерах рабочие условия с более высокими оборотами двигателя и низкой мощностью могут включать более опережающий целевой момент впрыска топлива для уменьшения выбросов углеводородов при сохранении стабильности сгорания.

Далее, на фиг. 4 график 400 изображает пример взаимосвязи между позициями регулятора в двигателе и магистральным давлением (например, магистральным давлением для впрыска топлива). Целевое магистральное давление для каждой позиции регулятора двигателя показано крестиками 402. Для вышесказанного вертикальная ось изображает относительное магистральное давление, при этом целевое магистральное давление увеличивается вверх по вертикальной оси снизу вверх. По горизонтальной оси показаны позиции регулятора двигателя, увеличивающиеся по горизонтальной оси слева направо. Как показано, небольшие позиции (например, менее чем позиция 3) могут соответствовать более низкому целевому магистральному давлению из-за изменений расхода топлива в этой области. Например, более низкие позиции регулятора могут соответствовать работе с низкой мощностью. Кроме того, целевое магистральное давление увеличивается для позиции 3 и позиции 4, чтобы ограничить/уменьшить РМ. Например, в позиции 3 и позиции 4 наддув может применяться/реализовываться при работе двигателя, когда требуется относительно низкое соотношение воздуха и топлива (AFR). В целом, магистральное давление может непрерывно увеличиваться (например, увеличиваться монотонно) в ответ на увеличение настройки позиции регулятора двигателя. Для обеспечения низкого AFR может потребоваться среднее магистральное давление, а более высокое давление впрыска может управлять РМ и может улучшать термодинамическую эффективность.

Далее, на фиг. 5 график 500 изображает пример взаимосвязи между числом оборотов двигателя и пределом магистрального давления. Например, хотя калибровка целевого магистрального давления была приведена на фиг. 4 на основе выбранной позиции регулятора двигателя, другие условия работы двигателя, такие как число оборотов двигателя, могут привести к регулировке контроллером магистрального давления для поддержания работы двигателя. Предел магистрального давления показан пунктирным графиком 502. Для вышесказанного вертикальная ось изображает предел магистрального давления, при этом предел магистрального давления увеличивается вверх по вертикальной оси снизу вверх. Горизонтальная ось изображает увеличение оборотов двигателя по горизонтальной оси слева направо. Как показано, до 580 об/мин магистральное давление ограничено до 1000 бар из-за механических ограничений топливного насоса высокого давления. Например, до 580 об/мин магистральное давление не может превышать 1000 бар. Кроме того, выше 580 об/мин система ограничена 1600 бар из-за механических ограничений топливного насоса высокого давления и топливной форсунки. Например, выше 580 об/мин магистральное давление может подняться до 1600 бар.

Далее, на фиг. 6 график 600 изображает пример взаимосвязи между позициями регулятора двигателя и пределами момента впрыска топлива. Например, хотя целевые моменты времени впрыска топлива показаны на фиг. 3, момент впрыска топлива может регулироваться, исходя из целевого времени впрыска топлива, на основе различных условий работы двигателя, таких как температура двигателя и мощность двигателя. Взаимосвязь, показанная на графике 600, демонстрирует максимальные и минимальные ограничения на момент впрыска топлива в зависимости от позиций регулятора двигателя. Верхний предел момента впрыска топлива показан пунктирным графиком 602, а нижний предел момента впрыска топлива показан пунктирным графиком 604. Для вышесказанного вертикальная ось изображает относительный момент впрыска топлива, причем относительный предел момента впрыска топлива увеличивается по

вертикальной оси снизу вверх. По горизонтальной оси показаны позиции регулятора двигателя, увеличивающиеся по горизонтальной оси слева направо. Минимальный момент впрыска топлива может увеличиваться (например, быть более опережающим) с помощью позиций регулятора, так что минимальный момент впрыска топлива будет выше на высоких позициях регулятора и ниже на низких. Например, меньше физических ограничений двигателя присутствует на нижних позициях регулятора, тогда как больше физических ограничений двигателя присутствует на более высоких позициях (например, таких как частота вращения турбоагнетателя, пиковое давление в цилиндре и продолжительность впрыска топлива).

Фиг. 7А изображает иллюстративный график 700 зависимости между атмосферным давлением и условиями работы двигателя, включая частоту вращения двигателя и момент впрыска топлива. Частота вращения двигателя в позиции 5 показана графиком 702, частота вращения двигателя в позиции 3 показана графиком 704, а частота вращения двигателя в позиции 1 показана графиком 706. Кроме того, момент впрыска топлива в позиции 3 показан графиком 712, момент впрыска топлива в позиции 4 показан графиком 710, момент впрыска топлива в позиции 5 показан графиком 708, момент впрыска топлива в позиции 6 показан графиком 718, момент впрыска топлива в позиции 7 показан графиком 716, а момент впрыска топлива в позиции 8 показан графиком 714. Для всего вышеперечисленного горизонтальная ось изображает атмосферное давление, увеличивающееся вдоль горизонтальной оси слева направо. Вертикальная ось представляет собой каждый помеченный параметр. Для каждого из графиков 702, 704, 706, 708, 710, 712, 714, 716 и 718 величина параметра увеличивается вверх по вертикальной оси. В частности, для каждого из графиков 708, 710, 712, 714, 716 и 718 момент впрыска топлива является более опережающим при движении вверх по вертикальной оси. Например, транспортное средство может работать в различных атмосферных условиях, поэтому барометрическое давление меняется. Изменения барометрического давления могут повлиять на условия работы двигателя и, в частности, могут повлиять на качество всасываемого воздуха, например, на поток воздуха в двигатель из-за изменения давления/плотности. Более высокое барометрическое давление может увеличить плотность, что может привести к увеличению массового потока в двигатель. По существу, параметры двигателя, такие как частота вращения двигателя и момент впрыска топлива, могут регулироваться на основании атмосферного давления.

Как показано на фиг. 7А, каждая из частоты вращения двигателя в позиции 5 (график 702), частоты вращения двигателя в позиции 3 (график 704) и частоты вращения двигателя в позиции 1 (график 706) уменьшается по мере увеличения барометрического давления. Например, частота вращения двигателя в каждой из позиций 5, 3 и 1 выше при низких барометрических давлениях, что может увеличивать соотношение кислорода и топлива в цилиндрах двигателя и способствовать перемешиванию. Обратите внимание, что тенденция, показанная графиками 702, 704 и 706, может быть аналогичной для позиции 2 и позиции 4, которые не показаны. Это может противодействовать образованию сажи, вызванному пониженным содержанием кислорода во всасываемом воздухе при низком барометрическом давлении. Кроме того, как показано на фиг. 7А, каждый из момента впрыска топлива в позиции 3, момента впрыска топлива в позиции 4 и момента впрыска топлива в позиции 5 может быть менее опережающим при увеличении барометрического давления и может быть более опережающим при понижении барометрического давления. Например, средние настройки позиции регулятора двигателя, такие как позиция 3, позиция 4 и позиция 5, могут быть менее опережающими по мере увеличения атмосферного давления. Например, момент впрыска топлива для позиций 3, 4 и 5 может быть более опережающим при более низких барометрических давлениях, что может улучшить непрозрачность выбросов и снизить выбросы твердых частиц в выхлопных газах. Кроме того, как показано на фиг. 7А, момент впрыска топлива для позиций 6, 7 и 8 (например, высокие настройки позиции регулятора двигателя) может быть более опережающим при увеличении барометрического давления и может быть менее опережающим при понижении барометрического давления. Например, менее опережающий момент впрыска топлива при низком барометрическом давлении может снизить выбросы NOx.

Фиг. 7В изображает иллюстративный график 750 зависимости между температурой на входе в турбоагнетатель (т.е. температурой на входе компрессора, коррелированной с температурой окружающей среды) и условиями работы двигателя, включая частоту вращения и момент впрыска топлива. Частота вращения двигателя в позиции 5 показана графиком 720, частота вращения двигателя в позиции 3 показана графиком 722, а частота вращения двигателя в позиции 1 показана графиком 724. Обратите внимание, что тенденции частоты вращения двигателя могут быть аналогичными для позиции 4 и позиции 2, которые не показаны. Кроме того, момент впрыска топлива в позиции 6 показан графиком 726, момент впрыска топлива в позиции 5 показан графиком 728, а момент впрыска топлива в позиции 4 показан графиком 730. Для всего вышеперечисленного горизонтальная ось изображает увеличение температуры на входе в турбоагнетатель по горизонтальной оси слева направо. Вертикальная ось изображает каждый помеченный параметр. Для каждого из графиков 720, 722, 724, 726, 728 и 730 величина параметра увеличивается вверх по вертикальной оси. Например, температура на входе в турбоагнетатель также может влиять на условия работы двигателя, например, из-за изменения температуры воздуха в двигателе. Как показано, при температурах на впуске турбоагнетателя ниже 100°F (38°C) частота вращения двигателя может быть постоянной на каждом показанном уровне. В частности, частота вращения в позиции 1 (гра-

фик 724) постоянно ниже 100°F (38°C), частота вращения в позиции 3 (график 722) постоянно ниже 100°F (38°C), а частота вращения в позиции 5 (график 720) постоянно ниже 100°F (38°C). После того, как температура на входе турбоагнетателя превысит 100°F (38°C), каждая из частоты вращения в позиции 1 (график 724), частоты вращения в позиции 3 (график 722) и частоты вращения в позиции 5 (график 720) может увеличиться. Кроме того, показана взаимосвязь между моментом впрыска топлива и температурой на впуске турбоагнетателя. Как показано, по мере того, как температура на впуске турбоагнетателя увеличивается, момент впрыска топлива может быть отрегулирован на менее опережающие моменты времени. Например, зависимость между моментом впрыска топлива и температурой турбоагнетателя может быть приблизительно обратно пропорциональной.

Далее, на фиг. 7С показан график 775 иллюстративной зависимости между высотой расположения двигателя над уровнем моря и характеристиками системы охлаждения двигателя (например, характеристиками системы охлаждения). Характеристики системы охлаждения показаны на графике 732. Например, производительность системы охлаждения может отражать чистый эффект системы охлаждения. Производительность системы охлаждения можно регулировать путем регулирования температуры охлаждающей жидкости, давления охлаждающей жидкости, скорости радиатора и т.п. Для вышесказанного горизонтальная ось изображает увеличение высоты над уровнем моря по горизонтальной оси слева направо. Вертикальная ось представляет собой помеченный параметр. Для графика 732 величина параметра увеличивается вверх по вертикальной оси. Например, высота над уровнем моря также может повлиять на условия работы двигателя. В частности, производительность системы охлаждения двигателя (например, производительность системы охлаждения) может зависеть от высоты над уровнем моря или атмосферного давления и температуры окружающей среды. Как показано, эффективность 732 системы охлаждения снижается пропорционально высоте над уровнем моря. Более низкое барометрическое давление (большая высота) может снизить производительность системы охлаждения из-за потери плотности воздуха, используемого при конвективном охлаждении с радиаторами. По мере увеличения высоты над уровнем моря и температуры окружающей среды частота вращения вентилятора радиатора и двигателя может увеличиваться, чтобы попытаться поддерживать температуру воды в двигателе. Воду двигателя можно использовать для охлаждения моторного масла и температуры воздуха в коллекторе. В тяжелых условиях окружающей среды, когда вентиляторы и двигатель могут работать на максимальной скорости, мощность двигателя может быть уменьшена для обеспечения требуемых температур масла.

Таким образом, двигатель может обеспечивать энергией транспортное средство, одновременно повышая эффективность, снижая потребление топлива и уменьшая выбросы транспортного средства. В целом удовлетворенность клиентов может быть увеличена. Например, благодаря преимущественному комбинированию механизма наддува с расширенными характеристиками, опережающего IVC и топливной системой с общим нагнетательным трубопроводом, рабочие характеристики двигателя могут быть увеличены, в то время как потребление топлива и выбросы транспортного средства уменьшаются.

В дополнение к калибровкам для каждой позиции регулятора двигателя, показанным на фиг. 2-7С, двигатель может содержать калибровки для переходной работы, например, когда двигатель переключается между потребляемыми эффективными мощностями. Например, когда двигатель переключается между позициями регуляторами двигателя, он может войти в переходное состояние до тех пор, пока переход не будет завершен. В частности, когда при активации дроссельной заслонки переход происходит вверх (например, переход происходит от более низкой позиции регулятора двигателя к более высокой позиции регулятора двигателя), переходное состояние может содержать калибровки для увеличения реакции двигателя на нагрузку.

Далее, на фиг. 8 показан пример возможного использования временной шкалы 1000 для работы двигателя. Например, когда двигатель переключается между потребляемыми эффективными мощностями двигателя, двигатель переходит в переходное состояние, например, между позициями регулятора. Кроме того, поскольку вторая позиция регулятора двигателя находится выше первой позиции регулятора двигателя, переходное состояние включает увеличение опорной частоты вращения двигателя, увеличение магистрального давления топлива и установку момента впрыска топлива с опережением для увеличения реакции двигателя на нагрузку. Настройка позиции регулятора двигателя показана на графике 1002, магистральное давление для системы впрыска топлива показано на графике 1004, момент впрыска топлива показан на графике 1006, а опорная частота вращения двигателя показана на графике 1008. Для всего вышеперечисленного, горизонтальная ось изображает время, при этом время увеличивается по горизонтальной оси слева направо. Вертикальная ось изображает каждый отмеченный параметр. Для каждого из графиков 1004, 1006 и 1008 величина параметра увеличивается вверх по вертикальной оси. Для графика 1002 вертикальная ось изображает, работает ли двигатель в позиции 4 ("4"), в позиции 5 ("5") или в переходном состоянии между позицией 4 и позицией 5 ("t").

Между моментом времени  $t_0$  и моментом времени  $t_1$  двигатель устанавливает на позицию 4 (график 1002). Соответственно, магистральное давление (график 1004), момент впрыска топлива (график 1006) и опорная частота вращения двигателя (график 1008) могут быть установлены на основе предварительно определенных калибровочных таблиц для позиции регулятора 4. Например, как показано, магистральное давление, момент впрыска топлива и опорная частота вращения двигателя в позиции 4 относи-

тельно малы.

В момент времени  $t_1$  установка позиции регулятора входит в переходное состояние. В частности, переходное состояние возникает, когда двигатель переключается между двумя позициями регулятора. Кроме того, двигатель может переходить на более высокую позицию, так что двигатель переходит вверх по позиции при активации дроссельной заслонки. Чтобы улучшить реакцию двигателя на нагрузку, регулируют магистральное давление (график 1004), момент впрыска топлива (график 1006) и опорную частоту вращения двигателя (график 1008). Как показано, магистральное давление (график 1004) увеличивается относительно магистрального давления до момента времени  $t_1$ , момент впрыска топлива (график 1006) увеличивается относительно магистрального давления до момента времени  $t_1$ , а опорная частота вращения двигателя (график 1008) увеличивается относительно опорной частоты вращения двигателя до момента времени  $t_1$ . Между моментом времени  $t_1$  и моментом времени  $t_2$ , когда двигатель находится в переходном состоянии между позициями регулятора, каждое из магистрального давления, момента впрыска топлива и опорной частоты вращения двигателя остается постоянным.

В момент времени  $t_2$  двигатель выходит из переходного состояния и переходит в режим работы на позиции 5. Например, позиция 5 регулятора представляет собой более высокую настройку мощности, чем позиция 4 регулятора, так что каждое из магистрального давления (график 1004), момента впрыска топлива (график 1006) и опорной частоты вращения двигателя (график 1008) увеличивается по сравнению с работой в позиции 4. Однако каждое из магистрального давления (график 1004), момента впрыска топлива (график 1006) и опорной частоты вращения двигателя (график 1008) ниже в позиции 5 относительно работы в переходном состоянии (например, между временем  $t_1$  и временем  $t_2$ ).

Между моментом времени  $t_2$  и моментом времени  $t_3$  двигатель остается в позиции 5, при этом каждое из магистрального давления (график 1004), момента впрыска топлива (график 1006) и опорной частоты вращения двигателя (график 1008) остается постоянным и выше по уровню, чем при работе в позиции 4 (например, между временем  $t_0$  и временем  $t_1$ ), и ниже по уровню, чем при работе в переходном состоянии (например, между временем  $t_1$  и временем  $t_2$ ).

Таким образом, как показано на фиг. 8, когда двигатель переходит от первой настройки позиции регулятора (например, позиции 4) ко второй, более высокой настройке позиции регулятора (например, позиции 5), двигатель переходит в переходное состояние, при этом каждое из магистрального давления, момента впрыска топлива и опорной частоты вращения двигателя выше в переходном состоянии, чем при установке первой позиции регулятора или второй, более высокой позиции регулятора. Увеличение магистрального давления, момента впрыска топлива и опорной частоты вращения двигателя может увеличить нагрузочную способность двигателя, что может повысить эффективность использования топлива транспортным средством.

Таким образом, дизельный локомотивный двигатель транспортного средства может работать с уменьшенными выбросами транспортного средства при одновременно повышенной эффективности использования топлива. В частности, двигатель может работать с турбонагнетателем с расширенным рабочим диапазоном, топливной системой с общим нагнетательным трубопроводом и опережающим закрытием впускного клапана для уменьшения потока воздуха в цилиндры двигателя. Эти три функции могут быть синергетически объединены для снижения выбросов транспортных средств, таких как NOx и PM, при одновременном повышении эффективности использования топлива во всем рабочем диапазоне двигателя. Например, в двигателе с этими характеристиками число оборотов двигателя, магистральное давление, момент впрыска топлива, предел магистрального давления, предел момента впрыска топлива и другие параметры двигателя могут быть откалиброваны для каждой позиции регулятора двигателя. Параметры двигателя могут быть дополнительно откалиброваны на основе условий окружающей среды, таких как атмосферное давление, температура на входе турбонагнетателя и высота над уровнем моря. В целом, выбросы транспортного средства могут быть уменьшены, а эффективность использования топлива может быть увеличена. Например, снижение выбросов транспортного средства и повышенная эффективность использования топлива могут обеспечить дизельному локомотиву возможность соответствия экологическим нормам без эксплуатации двигателя за пределами механических ограничений двигателя. Таким образом, может увеличиваться вероятность деградации компонентов. Кроме того, благодаря повышению эффективности использования топлива транспортным средством стоимость эксплуатации транспортного средства может быть уменьшена. Например, когда транспортное средство работает с повышенной эффективностью использования топлива, для путешествия на такое же расстояние требуется меньше топлива, так что общие затраты на топливо в целом снижаются.

Технический результат от включения топливной системы с общим нагнетательным трубопроводом, турбонагнетателя и опережающего IVC в двигатель локомотивной системы заключается в том, что объемный КПД цилиндров уменьшается, в то время как выбросы уменьшаются, а эффективность использования топлива увеличивается.

Изобретение также обеспечивает двигатель, содержащий: цилиндры, регулятор двигателя с настройками позиции регулятора двигателя, систему впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом, причем система впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом содержит топливные форсунки, соединенные с цилиндрами, турбонагнетатель, содержащий сопловое кольцо на турбине тур-

бонагнетателя, распределительный вал, настроенный на опережающий момент закрытия впускного клапана, контроллер, содержащий исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на увеличение настройки позиции регулятора двигателя с первого уровня на второй уровень выше, чем первый уровень, уменьшает величину опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно верхней мертвой точки (ВМТ) и, в ответ на дополнительное увеличение настройки позиции регулятора двигателя со второго уровня до третьего уровня, который выше второго уровня, увеличивает величину опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно ВМТ. В первом примере двигателя контроллер содержит дополнительные исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: уменьшает верхний предел для увеличения величины опережения момента впрыска топлива для топливных форсунок относительно ВМТ по мере того, как установка позиции регулятора двигателя увеличивается с первого уровня до второго уровня, и увеличивает нижний предел для уменьшения величины опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно ВМТ по мере того, как установка позиции регулятора двигателя увеличивается с первого уровня на второй уровень. Во втором примере двигателя, необязательно включающем первый пример, контроллер содержит дополнительные исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на настройку позиции регулятора двигателя увеличиваться с первого уровня до второго уровня, увеличивает число оборотов двигателя в минуту (RPM). В третьем примере двигателя, необязательно включающем один или оба из первого и второго примеров, контроллер содержит дополнительные исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на увеличение установки позиции регулятора двигателя с первого уровня на второй уровень увеличивает магистральное давление системы впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом. В четвертом примере двигателя, необязательно включающем один или несколько примеров с первого по третий, контроллер содержит дополнительные исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на обороты двигателя 580 об/мин или ниже, ограничивает магистральное давление системы впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом до 1000 бар или ниже, и в ответ на частоту вращения двигателя выше 580 об/мин, ограничивает магистральное давление системы впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом на уровне или ниже 1600 бар. В пятом примере двигателя, необязательно включающем один или несколько или каждый из примеров с первого по четвертый, контроллер содержит дополнительные исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на переходное состояние во время перехода от настройки первой позиции регулятора двигателя к настройке второй позиции регулятора двигателя, где настройка второй позиции регулятора двигателя выше, чем настройка первой позиции регулятора двигателя, увеличивает как магистральное давление в системе впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом, так и опорную частоту вращения двигателя. В шестом примере двигателя, необязательно включающем один или несколько или каждый из примеров с первого по пятый, контроллер содержит дополнительные инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на повышение атмосферного давления, уменьшает частоту вращения двигателя в двигателе, а в ответ на повышение атмосферного давления и установки позиции регулятора двигателя на среднюю позицию регулятора двигателя, уменьшает величину опережения момента впрыска топлива относительно ВМТ, а в ответ на увеличение барометрического давления и установки позиции регулятора двигателя на высокую позицию регулятора двигателя, устанавливает опережающий момент впрыска топлива относительно ВМТ. В седьмом примере двигателя, необязательно включающем один или несколько, или каждый из примеров с первого по шестой, контроллер содержит дополнительные инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на температуру на входе турбонагнетателя выше 100°F (38°C), увеличивает частоту вращения двигателя и уменьшает величину опережения момента впрыска топлива относительно ВМТ по мере увеличения температуры на входе в турбонагнетатель.

Изобретение также обеспечивает дизельный двигатель, содержащий цилиндры, регулятор двигателя с настройками позиций регулятора двигателя, систему впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом, причем система впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом, содержащую топливные форсунки, соединенные с цилиндрами, турбонагнетатель, содержащий кольцо форсунки, распределительный вал, настроенный на увеличенное время закрытия впускного клапана, контроллер, содержащий исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на настройки позиции регулятора двигателя, регулирует величину опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно верхней мертвой точки (ВМТ) на основе первого немонотонного соотношения между настройкой позиции регулятора двигателя и моментом впрыска топлива. В первом примере двигателя, для регулировки величины опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно ВМТ на основе немонотонной зависимости между установкой позиции регулятора двигателя и моментом впрыска топлива, контроллер содержит

дополнительно инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на увеличение настройки позиции регулятора двигателя с первого уровня до второго уровня, который выше, чем первый уровень, уменьшает величину опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно ВМТ, и в ответ на дальнейшее увеличение настройки позиции регулятора двигателя со второго уровня до третьего уровня, который выше, чем второй уровень, увеличивает величину опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно ВМТ. Во втором примере двигателя, необязательно включающем первый пример, контроллер содержит дополнительные инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: уменьшает верхний предел для увеличения величины опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно ВМТ по мере того, как установка позиции регулятора двигателя увеличивается, и увеличивает нижний предел для уменьшения величины опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно ВМТ, когда установка позиции регулятора двигателя уменьшается. В третьем примере двигателя, необязательно включающем один или оба из первого и второго примеров, контроллер содержит дополнительные инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на настройку позиции регулятора двигателя, настраивает число оборотов двигателя в минуту (RPM) на основе монотонной зависимости между настройкой позиции регулятора двигателя и числом оборотов двигателя. В четвертом примере двигателя, необязательно включающем один или несколько примеров с первого по третий, контроллер содержит дополнительные инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер: в ответ на атмосферное давление, регулирует величину опережения момента впрыска топлива топливных форсунок относительно ВМТ на основе второй немонотонной зависимости между установкой позиции регулятора двигателя и моментом впрыска топлива.

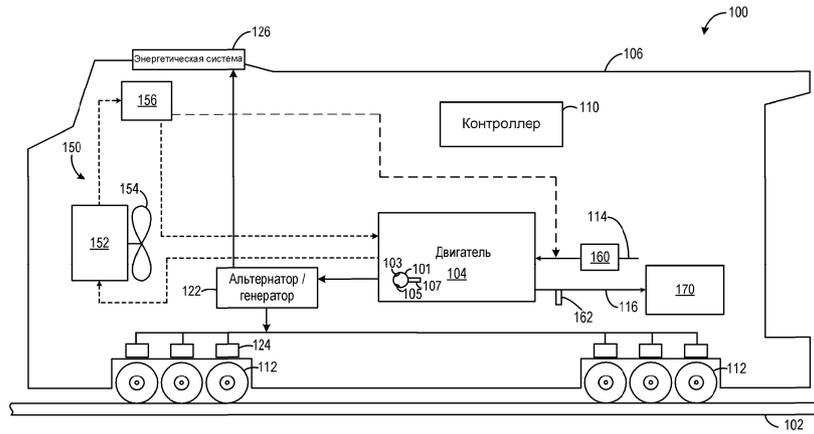
Используемый в настоящем документе элемент или этап, изложенный в единственном числе, следует понимать как не исключающий множественное число упомянутых элементов или этапов, если только такое исключение не указано явным образом. Кроме того, ссылки на "один вариант выполнения" изобретения не исключают существования дополнительных вариантов выполнения, которые также включают в себя перечисленные особенности. Более того, если явным образом не указано иное, варианты выполнения, "содержащие", "включающие" или "имеющие" элемент или множество элементов, обладающих определенным свойством, могут содержать дополнительные такие элементы, не обладающие этим свойством. Термины "включающий" и "в котором" используются в качестве эквивалентов на простом языке соответствующих терминов "содержащий" и "где". Более того, термины "первый", "второй", "третий" и т.д. используются просто как позиции регулятора и не предназначены для наложения численных требований или определенного позиционного порядка для их объектов.

Раскрытые здесь способы и процедуры управления могут храниться в виде исполняемых инструкций в энергонезависимой памяти и могут выполняться системой управления, содержащей контроллер, в сочетании с различными датчиками, исполнительными механизмами и другим аппаратным обеспечением двигателя. Конкретные процедуры, описанные в настоящем документе, могут представлять одну или несколько из любого количества стратегий обработки, таких как управляемая событиями, управляемая прерываниями, многозадачность, многопоточность и т.п. По существу, различные проиллюстрированные действия, операции и/или функции могут выполняться в проиллюстрированной последовательности, параллельно или в некоторых случаях не выполняться. Аналогично, порядок обработки не обязательно требуется для достижения характеристик и преимуществ описанных здесь иллюстративных вариантов выполнения, но предоставляется для простоты иллюстрации и описания. Одно или несколько проиллюстрированных действий, операций и/или функций могут выполняться повторно в зависимости от конкретной используемой стратегии. Кроме того, описанные действия, операции и/или функции могут графически представлять код, который должен быть запрограммирован в энергонезависимую память машиночитаемого носителя данных в системе управления двигателем, где описанные действия выполняются путем выполнения инструкций в системе, включая различные аппаратные компоненты двигателя в сочетании с электронным контроллером.

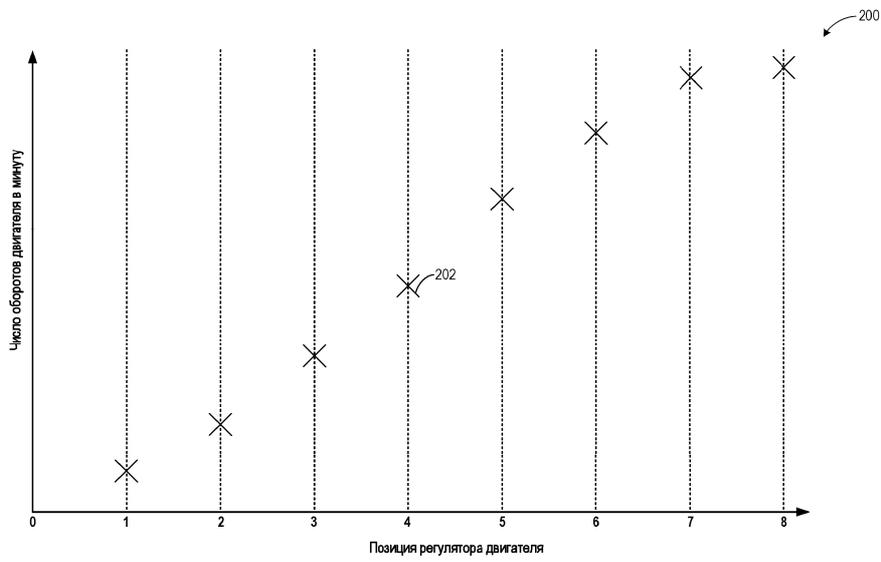
В этом описании для изобретения используются примеры, включая наилучший режим, а также для того, чтобы дать возможность специалисту с обычной квалификацией в соответствующей области техники применять изобретение на практике, включая создание и использование любых устройств или систем и выполнение любых встроенных способов. Патентоспособный объем изобретения определяется формулой изобретения и может содержать другие примеры, которые приходят на ум обычным специалистам в данной области. Предполагается, что такие другие примеры входят в объем формулы изобретения, если они имеют структурные элементы, которые не отличаются от буквального языка формулы изобретения, или если они включают эквивалентные структурные элементы с несущественными отличиями от буквального языка формулы изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

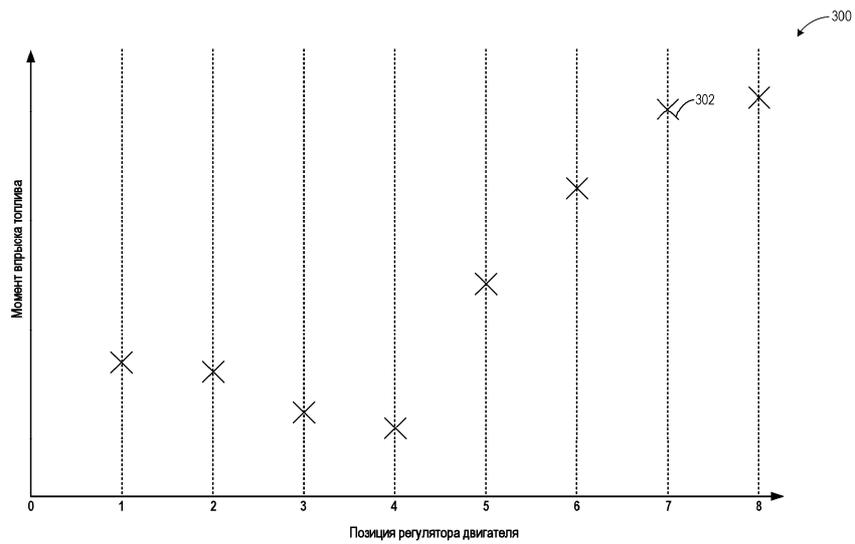
1. Двигатель внутреннего сгорания, содержащий:  
цилиндры,  
регулятор двигателя, имеющий положения, соответствующие потребляемым эффективным мощностям двигателя,  
систему впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом, причем указанная система впрыска топлива содержит топливные форсунки, соединенные с цилиндрами, причем каждая из указанных форсунок имеет привод,  
турбонагнетатель, содержащий сопловое кольцо на турбине турбонагнетателя,  
распределительный вал, выполненный с возможностью опережающего закрытия впускного клапана,  
контроллер, выполненный с возможностью определения положения регулятора, подключенный к приводам форсунок для регулировки подаваемого на них сигнала, приводящего их в действие, и регулировки момента впрыска топлива, и содержащий исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер:  
в ответ на изменение положения регулятора, соответствующее увеличению потребляемой эффективной мощности двигателя с одного значения до другого более высокого значения, в первом диапазоне положений регулятора двигателя, уменьшает величину опережения момента впрыска топлива для указанных топливных форсунок относительно верхней мертвой точки (ВМТ), и  
в ответ на изменение положения регулятора, соответствующее дальнейшему увеличению потребляемой эффективной мощности двигателя с одного значения до другого более высокого значения, во втором диапазоне положений регулятора двигателя, соответствующем более высоким значениям выходной мощности двигателя, чем первый диапазон, увеличивает величину опережения момента впрыска топлива указанных топливных форсунок относительно ВМТ,  
на основе первого немонотонного соотношения между потребляемой эффективной мощностью двигателя и моментом впрыска топлива.
2. Двигатель по п.1, в котором контроллер содержит дополнительные исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер уменьшает верхний предел для увеличения величины опережения момента впрыска топлива указанных топливных форсунок относительно ВМТ, когда положение регулятора двигателя, соответствующее увеличению потребляемой эффективной мощности двигателя с одного значения до другого более высокого значения, изменяется в указанном втором диапазоне положений регулятора двигателя, и увеличивает нижний предел для уменьшения величины опережения момента впрыска топлива указанных топливных форсунок относительно ВМТ, когда положение регулятора двигателя, соответствующее увеличению потребляемой эффективной мощности двигателя с одного значения до другого более высокого значения, изменяется в указанном втором диапазоне положений регулятора двигателя.
3. Двигатель по п.1, в котором контроллер содержит дополнительные исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер в ответ на изменение положения регулятора двигателя, соответствующее увеличению потребляемой эффективной мощности двигателя с одного значения до другого более высокого значения, в указанном первом диапазоне положений регулятора двигателя, увеличивает число оборотов двигателя в минуту (RPM).
4. Двигатель по п.1, в котором контроллер содержит дополнительные исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер в ответ на изменение положения регулятора двигателя, соответствующее увеличению потребляемой эффективной мощности двигателя с одного значения до другого более высокого значения, в указанном первом диапазоне положений регулятора двигателя, увеличивает магистральное давление системы впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом.
5. Двигатель по п.4, в котором контроллер содержит дополнительные исполняемые инструкции, хранящиеся в энергонезависимой памяти, которые при выполнении приводят к тому, что контроллер в ответ на число оборотов двигателя 580 об/мин или ниже ограничивает магистральное давление системы впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом до 1000 бар или ниже, а в ответ на число оборотов двигателя выше 580 об/мин ограничивает магистральное давление системы впрыска топлива с общим нагнетательным трубопроводом на уровне 1600 бар или ниже.



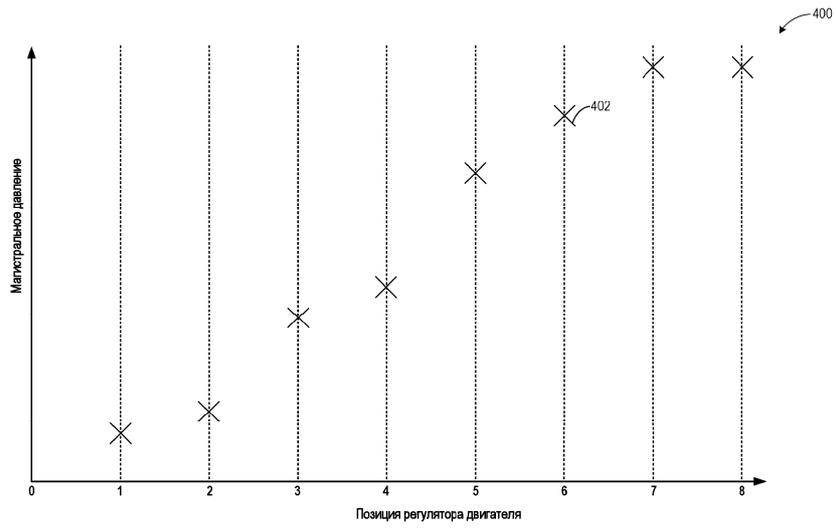
Фиг. 1



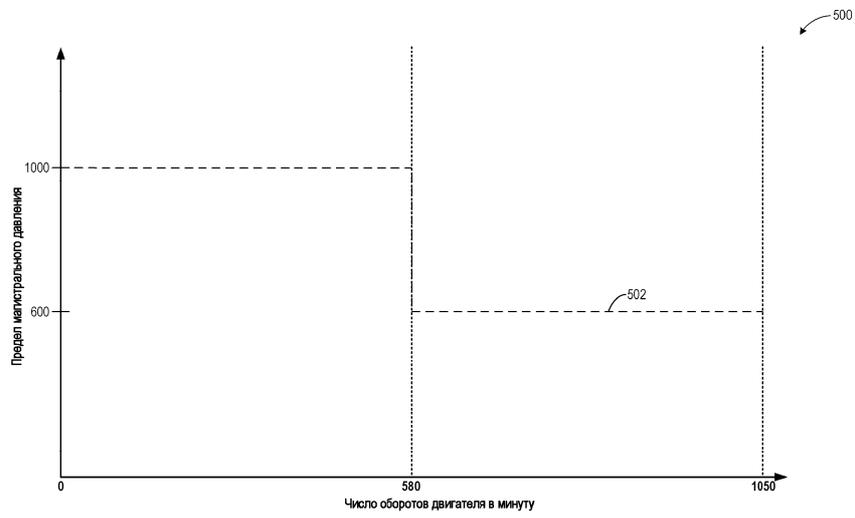
Фиг. 2



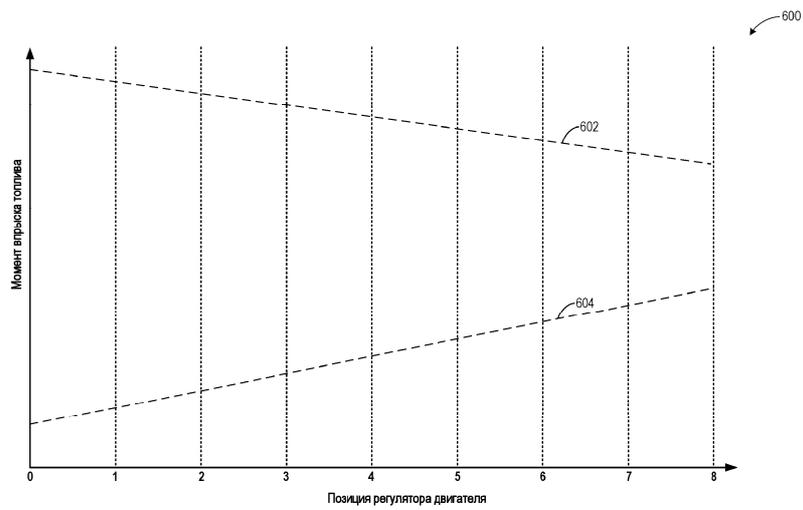
Фиг. 3



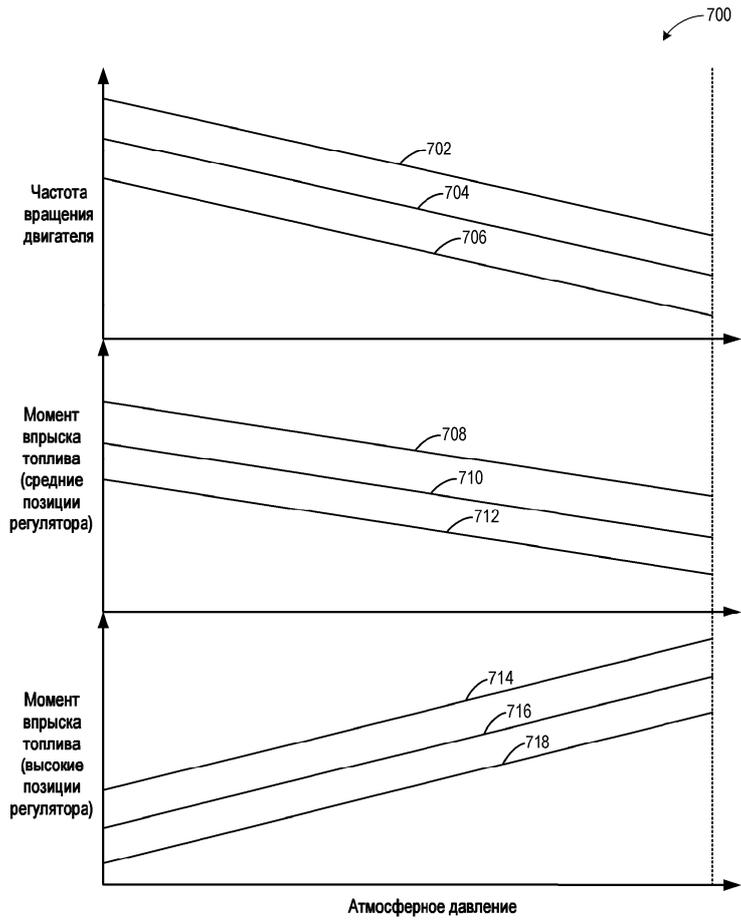
Фиг. 4



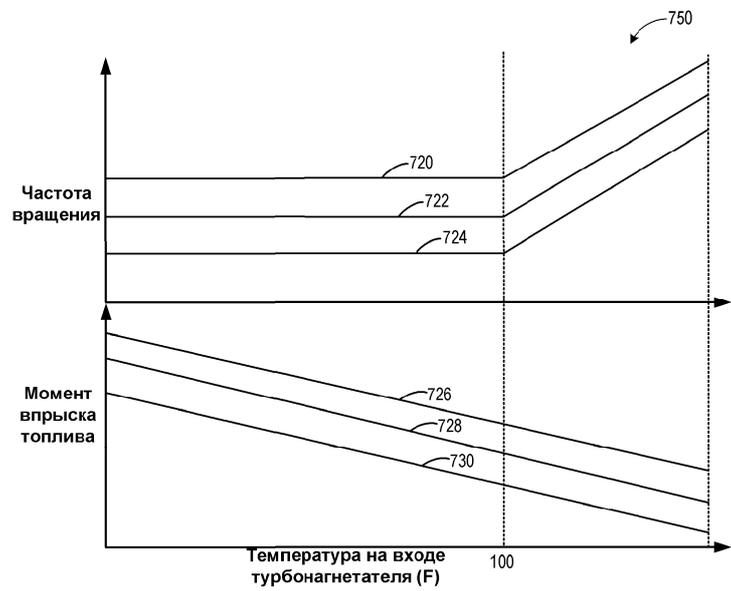
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7А



Фиг. 7В

