

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **031509**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2019.01.31**

(51) Int. Cl. **F02D 29/06** (2006.01)  
**F02D 41/22** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201490440**

(22) Дата подачи заявки  
**2012.08.31**

---

(54) **СИСТЕМА И СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ**

---

(31) **61/535,049; 13/234,411**

(32) **2011.09.15; 2011.09.16**

(33) **US**

(43) **2014.08.29**

(86) **PCT/US2012/053499**

(87) **WO 2013/039726 2013.03.21**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ДЖЕНЕРАЛ ЭЛЕКТРИК КОМПАНИ**  
**(US)**

(72) Изобретатель:  
**Кумар Аджит, Рамачандрапаникер**  
**Сомакумар, Флинн Пол, Банерджи**  
**Ариджит, Мухерджи Рупам (US)**

(74) Представитель:  
**Поликарпов А.В. (RU)**

(56) **US-A1-2011153128**  
**JP-A-2004251178**  
**US-A-5461289**  
**EP-A1-1143134**  
**US-A-5056487**  
**US-B1-6490511**

---

(57) Предлагаются способы и системы для двигателя (110). Состояние двигателя (110) может быть диагностировано на основе профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания (110), оцененного с использованием сигналов от генератора (120), функционально связанного с двигателем (110), и/или других сигналов, связанных с двигателем (110). Могут распознаваться различные типы износа на основе различных характеристик в данных оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания. Износ компонента двигателя (110) может быть выявлен, чтобы уменьшить задержку, вызванную техническим обслуживанием двигателя.

**B1**

**031509**

**031509**

**B1**

По настоящей заявке испрашивается приоритет согласно предварительной заявке на патент США № 61/535049, поданной 15 сентября 2011 г. и полностью включенной в настоящее описание посредством ссылки.

### **Область техники**

Варианты осуществления изобретения относятся к системам и способам диагностики двигателей.

### **Предпосылки создания изобретения**

Компоненты двигателя при его эксплуатации могут различным образом изнашиваться. Например, цилиндр двигателя может начать давать неправильное зажигание вследствие износа свечи зажигания. Одним из подходов для обнаружения износа двигателя является контроль частоты вращения двигателя. Процедуры диагностики позволяют контролировать, поднимаются ли составляющие частоты вращения двигателя выше порогового уровня, и формировать диагностические коды или другие указания для запроса обслуживания двигателя, снижения частоты вращения двигателя или выключения двигателя. Однако авторы обнаружили, что анализ частоты вращения двигателя часто не отвечает требованиям полной диагностики неисправности двигателя.

### **Сущность изобретения**

В одном из вариантов осуществления изобретения предлагается способ диагностики состояния поршневого двигателя, функционально связанного с генератором. Согласно предлагаемому способу измеряют с использованием датчика частоту вращения вала двигателя, определяют частоту половинного порядка, равную половине частоты вращения вала двигателя, измеряют с использованием по меньшей мере одного датчика электрический параметр, связанный с генератором и включающий по меньшей мере одно из следующего: напряжение в соединительной линии постоянного тока, ток в соединительной линии постоянного тока, напряжение возбуждения генератора, ток возбуждения генератора, выходное напряжение генератора или выходной ток генератора, определяют частотный состав измеренного электрического параметра, связанного с генератором и сравнивают амплитуду частотной составляющей половинного порядка указанного частотного состава с заданным пороговым значением.

При этом диагностируют износ двигателя, если амплитуда частотной составляющей половинного порядка больше, чем заданное пороговое значение.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения предлагается транспортное средство. Упомянутое транспортное средство содержит: двигатель; генератор, функционально связанный с двигателем; по меньшей мере один датчик для измерения, во время работы генератора, электрического параметра, связанного с генератором и включающего по меньшей мере одно из следующего: напряжение в соединительной линии постоянного тока, ток в соединительной линии постоянного тока, напряжение возбуждения генератора, ток возбуждения генератора, выходное напряжение генератора или выходной ток генератора; датчик для измерения частоты вращения вала двигателя и контроллер, включающий инструкции, сконфигурированные для: измерения, с использованием датчика, частоты вращения вала поршневого двигателя, определения частоты половинного порядка, равной половине частоты вращения вала двигателя, измерения с использованием по меньшей мере одного датчика, электрического параметра, связанного с генератором, определения частотного состава измеренного электрического параметра, связанного с генератором, сравнения амплитуды частотной составляющей половинного порядка указанного частотного состава с заданным пороговым значением и, если амплитуда частотной составляющей половинного порядка больше, чем заданное пороговое значение, диагностики износа двигателя.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения предлагается диагностический комплект для диагностики состояния поршневого двигателя, функционально связанного с генератором. Упомянутый диагностический комплект включает по меньшей мере один датчик для измерения электрического параметра, связанного с генератором и включающего по меньшей мере одно из следующего: напряжение в соединительной линии постоянного тока, ток в соединительной линии постоянного тока, напряжение возбуждения генератора, ток возбуждения генератора, выходное напряжение генератора или выходной ток генератора; датчик для измерения частоты вращения вала поршневого двигателя; и контроллер, выполненный с возможностью: измерения, с использованием датчика, частоты вращения вала поршневого двигателя, определения частоты половинного порядка, равной половине частоты вращения вала двигателя, измерения, с использованием по меньшей мере одного датчика, электрического параметра, связанного с генератором, определения частотного состава измеренного электрического параметра, связанного с генератором, сравнения амплитуды частотной составляющей половинного порядка указанного частотного состава с заданным пороговым значением и, если амплитуда частотной составляющей половинного порядка больше, чем заданное пороговое значение, диагностики износа двигателя.

Настоящий раздел предоставлен для введения набора концепций изобретения в упрощенной форме, которые описываются подробно далее. Настоящий раздел не предназначен для идентификации ключевых признаков или существенных признаков изобретения и не ограничивает изобретение. Кроме того, изобретение не ограничено вариантами его осуществления, которые устраняют любые или все недостатки, указанные в любой части настоящего описания.

### **Краткое описание чертежей**

Изобретение будет понятно из следующего описания вариантов его осуществления со ссылками

на приложенные чертежи.

Фиг. 1 иллюстрирует один из примеров осуществления системы транспортного средства (например, системы локомотива), содержащей двигатель и генератор (генератор переменного тока) и показанной в виде рельсового транспортного средства, сконфигурированного для перемещения по рельсам посредством колес;

фиг. 2 - один из примеров осуществления двигателя и генератора, показанного на фиг. 1, которые функционально связаны с различным вспомогательным оборудованием и тяговыми двигателями;

фиг. 3 - один из примеров оценки профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания на основе частоты вращения двигателя и электрических параметров генератора;

фиг. 4 - один из примеров преобразования электрических параметров генератора в профиль электромагнитного крутящего момента;

фиг. 5 - один из примеров формирования профиля инерционного крутящего момента на основе частоты вращения двигателя;

фиг. 6 - один из примеров оценки профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания;

фиг. 7 - один из примеров использования процедуры сравнения крутящего момента для диагностики состояния двигателя;

фиг. 8 - примеры формирования частотного содержания профиля крутящего момента во временной области, которое может использоваться для диагностики двигателя.

### Подробное описание изобретения

Варианты осуществления настоящего изобретения относятся к системам и способам диагностики двигателей. Предлагаются также диагностические комплекты для выполнения упомянутых способов. Двигатель может входить в состав транспортного средства, например системы локомотива. Другие подходящие типы двигателей могут включать автомобили, внедорожные транспортные средства, горное оборудование, самолет и морские суда. Другие варианты осуществления настоящего изобретения могут применяться для стационарных двигателей, таких как ветряные турбины или генераторы мощности. Двигатель может представлять собой дизельный двигатель или может сжигать другое топливо или топливную смесь. Такие альтернативные виды топлива могут включать бензин, керосин, биодизельное топливо, природный газ и этанол, а также комбинации перечисленного. В подходящих двигателях может использоваться воспламенение сжатием и/или искровое зажигание. Упомянутые транспортные средства могут содержать двигатель, компоненты которого могут изнашиваться в процессе эксплуатации.

Кроме того, в вариантах осуществления изобретения используют данные генератора, например измеренные электрические параметры генератора, или данные генератора (например, профиль крутящего момента), полученные на основе измеренных электрических параметров генератора и/или параметров двигателя (например, частоты вращения), для диагностики состояния двигателя и для различения состояний соответствующих компонентов двигателя.

При диагностике конкретных типов износа двигателя он может приводиться в определенное рабочее состояние или определенный режим работы. Например, диагностика двигателя может происходить в состоянии самозагрузки как части процедуры проверки, в состоянии установки динамического торможения или в состоянии установившегося режима работы двигателя. Способы диагностики и прогноза, описанные в настоящем документе, могут использоваться для анализа тенденций, сравнения различий между цилиндрами, выполнения процедур проверки, подтверждения необходимости ремонта и помощи в ремонте. Альтернативно, данные генератора и/или двигателя могут отсчитываться и анализироваться при достижении двигателем определенного режима работы или состояния во время его нормальной работы.

Фиг. 1 иллюстрирует один из примеров осуществления системы 100 транспортного средства (например, системы локомотива), в данном случае показанного в виде рельсового транспортного средства 106, сконфигурированного для перемещения по рельсам 102 с помощью колес 108. Как показано на фиг. 1, рельсовое транспортное средство 106 содержит двигатель 110, функционально связанный с генератором (генератором переменного тока) 120. Транспортное средство 106 содержит тяговые двигатели 130, функционально связанные с генератором 120 и предназначенные для приведения в движение колес 108. Транспортное средство 106 также содержит различные вспомогательные системы или оборудование 140, функционально связанные с генератором 120 или двигателем 110 (например, с вращающимся валом 111 двигателя, см. фиг. 2), для выполнения различных функций.

Транспортное средство 106 также содержит контроллер 150 для управления различными компонентами, связанными с системой 100 транспортного средства. В одном из примеров изобретения контроллер 150 включает компьютерную систему управления. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения упомянутая компьютерная система управления является в основном программной и содержит процессор, например, процессор 152, сконфигурированный для исполнения компьютерных инструкций. Контроллер 150 может содержать блоки управления двигателем (engine control units, ECU), при этом система управления может быть распределена между всеми блоками ECU. Контроллер 150 также содержит машиночитаемый носитель для хранения данных, например, память 154, содержащую инструкции (например, исполняемые компьютером инструкции), обеспечивающие возможность бортового контроля и управления работой рельсового транспортного средства. Память 154 может включать энергозависимое

или энергонезависимое запоминающее устройство. В соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения, упомянутый контроллер может быть реализован аппаратно, например на основе цифровых сигнальных процессоров (digital signal processors, DSP) или других аппаратных логических схем для выполнения различных функций, описанных в настоящем документе.

Контроллер может следить за контролем и управлением системой 100 транспортного средства. Контроллер может принимать сигнал от датчика 160 частоты вращения двигателя или от различных датчиков 170 генератора для определения рабочих параметров и рабочих условий и в соответствии с этим регулировать различные приводы 162 двигателя для управления рельсовым транспортным средством 106. В соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения упомянутый датчик частоты вращения включает зубчатое колесо датчика, соединенное с валом 111 двигателя, и датчик магнитного сопротивления для обнаружения прохождения зубца упомянутого колеса датчика вблизи датчика магнитного сопротивления. Например, упомянутый контроллер может принимать сигналы, представляющие различные параметры генератора, от различных датчиков генератора. Упомянутые параметры генератора могут включать напряжение в соединительной линии постоянного тока, ток в соединительной линии постоянного тока, напряжение возбуждения генератора, ток возбуждения генератора, выходное напряжение генератора и выходной ток генератора. В соответствии с различными другими вариантами осуществления настоящего изобретения могут использоваться также и другие параметры генератора. Соответственно, контроллер может управлять системой транспортного средства посредством передачи команд в различные компоненты, такие как тяговые двигатели, генератор переменного тока, клапаны цилиндров, дроссельная заслонка и т.п. Сигналы от датчиков 170 генератора могут быть сгруппированы и переданы по одному или более жгутам проводов, для уменьшения пространства, выделенного под проводку в системе 100 транспортного средства, и для защиты сигнальных проводов от механических повреждений и вибрации.

Упомянутый контроллер может включать также бортовые электронные средства диагностики для записи эксплуатационных характеристик двигателя. Эксплуатационные характеристики могут включать, например, измерения, полученные от датчиков 160 и 170. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения упомянутые эксплуатационные характеристики могут сохраняться в базе данных в памяти 154. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения текущие эксплуатационные характеристики могут сравниваться с предыдущими эксплуатационными характеристиками для определения тенденций изменения рабочих параметров двигателя.

Упомянутый контроллер может включать бортовые электронные средства диагностики для определения и записи потенциального износа и отказов компонентов системы 100 транспортного средства. Например, при обнаружении потенциально изношенного компонента в памяти 154 может сохраняться определенный диагностический код. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения уникальный диагностический код может соответствовать каждому типу износа, который может быть определен контроллером. Например, первый диагностический код может указывать на неисправность в цилиндре № 1 двигателя, второй диагностический код может указывать на неисправность в цилиндре № 2 двигателя и т.д.

Упомянутый контроллер может быть связан с дисплеем 180, таким как дисплей интерфейса диагностики, обеспечивающий пользовательский интерфейс для рабочего персонала локомотива и персонала по обслуживанию. Контроллер может управлять двигателем в ответ на ввод оператора, выполняемый с помощью элементов 182 пользовательского управления, с помощью передачи команды для соответствующего регулирования различных приводов 162 двигателя. Примеры элементов 182 пользовательского управления могут включать элемент управления дроссельной заслонкой, элемент управления торможением, клавиатуру и выключатель электропитания. Кроме того, с помощью дисплея 180 оператору и/или персоналу по обслуживанию могут передаваться отчеты об эксплуатационных характеристиках двигателя, например, диагностические коды, соответствующие изношенным компонентам.

Упомянутая система транспортного средства может содержать систему 190 связи, связанную с упомянутым контроллером. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения система 190 связи может включать радиостанцию и антенну для приема и передачи голосовых сообщений и сообщений данных. Например, обмен данными может осуществляться между упомянутой системой транспортного средства и железнодорожным центром управления, другим локомотивом, спутником и/или путевым устройством, например железнодорожной стрелкой. Например, контроллер может оценивать географические координаты системы транспортного средства с использованием сигналов GPS-приемника. В качестве другого примера контроллер может передавать эксплуатационные характеристики двигателя в центр управления с помощью сообщений, передаваемых из системы 190 связи. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения сообщение может передаваться системой 190 связи в центр управления в случае обнаружения износа компонента двигателя, при этом может быть назначено техническое обслуживание системы транспортного средства.

Фиг. 2 иллюстрирует один из примеров осуществления двигателя 110 и генератора 120, показанных на фиг. 1, которые функционально связаны с различным вспомогательным оборудованием 140 (141, 142, 143, 144) и тяговыми двигателями 130. Различное вспомогательное механическое оборудование 144 мо-

жет быть функционально связано с вращающимся валом 111 двигателя и приводиться им в движение. Другое вспомогательное оборудование 140 приводится в движение генератором 120 через выпрямитель 210, который формирует напряжение в соединительной линии постоянного тока для регуляторов 230 мощности. Примеры такого вспомогательного оборудования включают нагнетатель 141, компрессор 142 и вентилятор 143 радиатора. Тяговые двигатели 130 приводятся в движение генератором 120 через выпрямитель 210, который формирует напряжение в соединительной линии постоянного тока для инвертера 220. Такое вспомогательное оборудование 140, тяговые двигатели 130 и их реализации хорошо известны в настоящей области техники. В соответствии с некоторыми из вариантов осуществления настоящего изобретения генератор 120 в реальности может представлять собой один или более генераторов, например главный генератор для приведения в действие тяговых двигателей 130 и вспомогательный генератор для приведения в действие части вспомогательного оборудования 140. Другие примеры вспомогательного оборудования включают турбокомпрессоры, насосы и системы охлаждения двигателя.

Датчик 160 частоты вращения измеряет частоту вращения вала 111 двигателя во время его работы. Датчик 171 в соединительной линии постоянного тока является датчиком генератора и способен в соответствии с различными вариантами осуществления настоящего изобретения измерять напряжение в соединительной линии постоянного тока, ток в соединительной линии постоянного тока или оба этих параметра. Датчик 172 возбуждения является датчиком генератора и способен измерять в соответствии с различными вариантами осуществления настоящего изобретения ток возбуждения генератора, напряжение возбуждения генератора или оба этих параметра. В соответствии с некоторыми из вариантов осуществления настоящего изобретения имеются датчики 173 и 174 генератора для измерения выходного напряжения и тока обмотки генератора, соответственно. В зависимости от параметров конкретного применения могут быть выбраны соответствующие коммерчески доступные датчики.

В соответствии с различными вариантами осуществления настоящего изобретения контроллер 150 выполнен с возможностью передачи отчета о состоянии износа двигателя, например, с помощью системы 190 связи. Кроме того, в соответствии с различными вариантами осуществления настоящего изобретения упомянутый контроллер включает инструкции, сконфигурированные для регулировки эксплуатационного параметра двигателя на основе диагностированного состояния двигателя.

Фиг. 3 иллюстрирует один из примеров осуществления способа 300 оценки профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания на основе частоты вращения двигателя и электрических параметров генератора. На шаге 310 отсчитывают сигнал частоты вращения двигателя с помощью контроллера 150 (например, с использованием датчика 160 частоты вращения). На шаге 320 на основе частоты вращения двигателя оценивают профиль инерционного крутящего момента двигателя. На шаге 330 отсчитывают ток и/или напряжение генератора с помощью контроллера 150 (например, с использованием датчиков 170 генератора). На шаге 340 отсчитанный ток и/или напряжение пропускают через модель генератора переменного тока. На шаге 350 на основе выходных данных модели генератора переменного тока оценивают профиль электромагнитного крутящего момента генератора. На шаге 360 профиль инерционного крутящего момента изменяют с использованием профиля электромагнитного крутящего момента для получения профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания. На шаге 370 профиль крутящего момента двигателя внутреннего сгорания сравнивают с базовым или ожидаемым профилем крутящего момента двигателя.

Фиг. 4 иллюстрирует один из примеров преобразования электрических параметров генератора в профиль электромагнитного крутящего момента. Напряжение в соединительной линии постоянного тока и ток возбуждения генератора (например, измеренные датчиками 171 и 172 генератора) подают в модель 410 генератора переменного тока, реализованную в контроллере 150 и включающую обратную модель 420 выпрямителя 210 и модель 430 генератора 120. Упомянутый выпрямитель в соответствии с различными вариантами осуществления настоящего изобретения может быть диодным выпрямителем, фазоуправляемым выпрямителем или выпрямителем с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). В соответствии с одним из альтернативных вариантов осуществления настоящего изобретения вместо использования выпрямителя может быть подключена нагрузка переменного тока, напрямую или опосредованно через управляемые электронные устройства питания, при этом может быть создана ее обратная модель.

Обратная модель 420 оценивает выходное напряжение генератора на основе напряжения в соединительной линии постоянного тока. Аналогично, модель 430 генератора оценивает выходное напряжение генератора на основе тока возбуждения генератора. Выходной ток и выходное напряжение генератора подают в процедуру 440 оценки электромагнитного крутящего момента, реализованную в контроллере 150. В процедуре 440 оценки электромагнитного крутящего момента используют выходное напряжение и выходной ток генератора, вместе с указанием на частоту вращения двигателя, для оценки профиля электромагнитного крутящего момента. Указание на частоту вращения двигателя используют для передачи в модель 440 оценки крутящего момента информации о местоположении анализируемых гармонических частот. Частота вращения с датчика 160 частоты вращения может использоваться в качестве входных данных, или частотное содержание (например, шестая гармоника) на выходе выпрямителя 210 (например, частотное содержание сигнала напряжения в соединительной линии постоянного тока) может использоваться в качестве указания на частоту вращения двигателя.

В результате, на основе напряжения в соединительной линии постоянного тока и тока возбуждения генератора может быть получен профиль электромагнитного крутящего момента, связанный с генератором. Альтернативно, могут использоваться ток в соединительной линии постоянного тока и напряжение возбуждения генератора с соответствующими моделями для оценки выходного тока генератора на основе тока в соединительной линии постоянного тока и выходного напряжения генератора на основе напряжения возбуждения генератора. Если выходное напряжение и ток генератора уже доступны в контроллере 150 (благодаря наличию таких датчиков на генераторе), то обратная модель 420 и модель 430 генератора могут быть опущены. Кроме того, если приемлема менее точная оценка профиля крутящего момента, то для его оценки может использоваться только один из параметров (напряжение в соединительной линии постоянного тока, ток в соединительной линии постоянного тока, ток возбуждения генератора, напряжение возбуждения генератора, выходной ток генератора, выходное напряжение генератора) вместо обоих этих параметров.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения в контроллере реализована процедура оценки инерционного крутящего момента. Фиг. 5 иллюстрирует один из примеров формирования профиля инерционного крутящего момента на основе частоты вращения двигателя с использованием процедуры 510 оценки профиля инерционного крутящего момента в контроллере 150. Профиль инерционного крутящего момента двигателя может оцениваться на основе частоты вращения двигателя путем отсчета во времени измеряемой частоты вращения двигателя (например, с датчика 160 частоты вращения), получения составляющих ускорения (посредством рассмотрения производной частоты вращения по времени) на основе упомянутой измеряемой частоты вращения, соответствующей заданным характеристическим частотам, и комбинирования упомянутых составляющих ускорения для определения профиля инерционного крутящего момента.

Фиг. 6 иллюстрирует один из примеров оценки профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания. В контроллере 150 реализована процедура 610 оценки крутящего момента двигателя, которая компенсирует профиль электромагнитного крутящего момента генератора с использованием профиля инерционного крутящего момента двигателя с заданными флуктуациями частоты вращения для получения точного профиля крутящего момента на стороне двигателя внутреннего сгорания. Как показано на фиг. 7, в контроллере 150 реализована процедура 710 сравнения профилей крутящего момента, предназначенная для сравнения оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания с ожидаемым или базовым профилем крутящего момента. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения для выполнения упомянутого сравнения применяют алгоритм сопоставления с шаблоном или алгоритм сопоставления сигнатур. Конкретное отклонение от базового профиля крутящего момента может соответствовать износу конкретного компонента двигателя (например, какой компонент узла мощности отказал). В соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения оцененный профиль крутящего момента двигателя внутреннего сгорания указывает на профиль внутрицилиндрового давления двигателя. Соответственно, способ 300 позволяет осуществлять точное прогнозирование профилей внутрицилиндрового давления двигателей с использованием существующих датчиков двигателя и генератора.

В соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения перед выполнением процедуры 300 оценки профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания поршневого двигателя сначала может быть приведен в определенные рабочие условия, состояние или режим. В соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения, процедуру 300 оценки профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания не выполняют до тех пор, пока двигатель не достигнет определенных рабочих условий, состояния или режима во время его штатной работы, при этом контроллер начнет выполнение процедуры оценки крутящего момента и последующее сравнение оцененного профиля крутящего момента с базовым профилем крутящего момента.

В соответствии с различными вариантами осуществления настоящего изобретения контроллер 150 выполнен с возможностью передачи отчета о состоянии износа двигателя, например, с помощью системы 190 связи. Кроме того, в соответствии с различными вариантами осуществления настоящего изобретения упомянутый контроллер включает инструкции, сконфигурированные для регулировки эксплуатационного параметра двигателя на основе диагностированного состояния двигателя.

Может предоставляться диагностический комплект, который содержит контроллер, выполненный с возможностью определения состояния поршневого двигателя, функционально связанного с генератором, на основе сравнения оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания с ожидаемым профилем крутящего момента двигателя. Упомянутый комплект также содержит по меньшей мере один датчик для измерения по меньшей мере одного электромагнитного параметра (например, напряжения в соединительной линии постоянного тока и/или тока возбуждения генератора), связанного с генератором. Контроллер выполнен с возможностью связи с упомянутыми датчиками и с возможностью отсчета во времени упомянутого электромагнитного параметра. Контроллер выполнен также с возможностью оценки профиля электромагнитного крутящего момента на основе упомянутых электромагнитных параметров. Упомянутый комплект также содержит датчик для измерения частоты вращения вала поршневого двигателя. Контроллер выполнен с возможностью связи с упомянутым датчиком для отсчета во вре-

мени частоты вращения вала. Контроллер выполнен также с возможностью оценки профиля инерционного крутящего момента на основе частоты вращения вала. Контроллер также выполнен с возможностью определения оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания на основе профиля электромагнитного крутящего момента и профиля инерционного крутящего момента.

Далее приведены другие примеры применения описанных в настоящем документе систем и способов. Эти примеры иллюстрируют различные подходы для диагностики и различения типов износа двигателя на основе профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания, оцененного на основе параметров генератора и частоты вращения двигателя.

Двигатель может иметь цилиндры, зажигаемые в заранее заданной последовательности, при этом каждый цилиндр зажигается один раз в течение четырехтактного или двухтактного цикла. Например, четырехцилиндровый четырехтактный двигатель может иметь последовательность зажигания 1-3-4-2, в которой каждый цилиндр зажигается один раз за каждые два оборота двигателя. Таким образом, частота зажигания заданного цилиндра равна половине частоты вращения двигателя, при этом частота зажигания любого цилиндра равна удвоенной частоте вращения двигателя. Частота вращения двигателя может называться частотой первого порядка двигателя. Эта частотная составляющая первого порядка проявляется в частотном содержании измеренного параметра генератора. Частота зажигания заданного цилиндра четырехтактного двигателя может называться частотой половинного порядка двигателя, при этом частота половинного порядка двигателя равна половине частоты вращения двигателя. Эта частотная составляющая половинного порядка также может проявляться в частотном содержании упомянутого измеренного параметра генератора.

В качестве другого примера четырехтактного двигателя двенадцатицилиндровый двигатель может иметь последовательность зажигания 1-7-5-11-3-9-6-12-2-8-4-10, при этом каждый цилиндр зажигается один раз за каждые два оборота двигателя. Таким образом, частота зажигания заданного цилиндра равна половине частоты вращения двигателя, а частота зажигания любого цилиндра равна частоте вращения двигателя, умноженной на шесть. В качестве примера двухтактного двигателя двенадцатицилиндровый двигатель может иметь последовательность зажигания 1-7-5-11-3-9-6-12-2-8-4-10, при этом каждый цилиндр зажигается один раз при каждом обороте двигателя. Таким образом, частота зажигания заданного цилиндра равна частоте вращения двигателя, а частота зажигания любого цилиндра равна частоте вращения двигателя, умноженной на двенадцать. Аналогично, эти частотные составляющие могут проявляться в частотном содержании измеренного параметра генератора.

Например, упомянутый двигатель может представлять собой четырехтактный двигатель, работающий на частоте 1050 об/мин. Следовательно, гармоника первого порядка двигателя равна 17,5 Гц, а гармоника половинного порядка двигателя равна 8,75 Гц. Напряжение в соединительной линии постоянного тока при вращении вала 111 во время работы двигателя может изменяться с периодической частотой. Например, частотное содержание напряжения в соединительной линии постоянного тока может включать частотную составляющую с частотой первого порядка двигателя. Другими словами, пик амплитуды частотного содержания может совпадать с частотой составляющей первого порядка. Напряжение в соединительной линии постоянного тока может также включать частотное содержание других гармоник частоты первого порядка, например частоту второго порядка (удвоенную частоту вращения двигателя), частоту третьего порядка (частоту вращения двигателя, умноженную на три) и т.п. Аналогично, упомянутое напряжение в соединительной линии постоянного тока может включать частотное содержание с частотами, меньшими, чем частота первого порядка, например, с частотой половинного порядка (половина частоты вращения двигателя).

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения изношенный цилиндр четырехтактного двигателя может обнаруживаться на основе сравнения оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания с ожидаемым или базовым профилем крутящего момента двигателя. Обнаружение одного изношенного цилиндра, в то время как остальные цилиндры двигателя являются более исправными (или менее изношенными), может иметь лучшее совпадение профиля крутящего момента, чем в случае износа нескольких цилиндров двигателя. Например, износ одного цилиндра может определяться с помощью сравнения одной части оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания с той же частью базового профиля крутящего момента. Однако при износе нескольких цилиндров могут возникать отклонения в нескольких частях профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания. Кроме того, позиция этих нескольких изношенных цилиндров в последовательности зажигания может влиять на части оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания, которые будут отклоняться от базового профиля крутящего момента. Например, два изношенных цилиндра, работающие с разностью фаз 180°, могут влиять на отличающиеся части профиля крутящего момента, по сравнению с двумя изношенными цилиндрами, следующими друг за другом в последовательности зажигания, поэтому описанные в настоящем документе способы позволяют выявлять один или более изношенных цилиндров на основе различных изменений оцененного профиля крутящего момента. Аномалии, расходящиеся с базовым профилем крутящего момента исправного двигателя, или износ других компонентов двигателя могут выявляться и передаваться в отчете контроллером. Примеры износа других компонентов двигателя включают износ системы откачки картерных газов, из-

нос турбокомпрессора и износ картера.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения данные генератора во временной области (например, напряжение в соединительной линии постоянного тока и ток возбуждения) могут фильтроваться с использованием фильтра нижних частот с частотой среза, немного большей частоты первого порядка. Например, частота среза может быть на 10-20% больше, чем частота первого порядка. Соответственно, в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения частота среза может задаваться с использованием частоты вращения двигателя. Данные генератора могут отсчитываться во времени с частотой, большей или равной частоте Найквиста. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения сигнал во временной области может отсчитываться с частотой, превышающей удвоенную частоту двигателя первого порядка. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения сигнал во временной области может отсчитываться с частотой, большей удвоенной максимальной частоты двигателя. Следовательно, при фильтрации низких частот и отсчете с частотой, большей или равной минимальной частоте Найквиста, частотное содержание данных генератора не будет подвержено влиянию низкочастотных помех дискретизации. То же применимо для данных частоты вращения двигателя.

Фиг. 8 иллюстрирует пример формирования частотного содержания профиля крутящего момента во временной области, которое может быть использовано для диагностики двигателя. Оцененный профиль крутящего момента двигателя внутреннего сгорания (данные во временной области) может быть передан в процедуру 810 быстрого преобразования Фурье (например, в процедуру FFT (Fast Fourier Transform)) или в процедуру 820 полосовой фильтрации для получения содержания в частотной области оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания. Кроме того, для получения частотного содержания аналогичным образом могут быть обработаны сигналы генератора (например, напряжение в соединительной линии постоянного тока) и сигнал частоты вращения двигателя.

В соответствии с описанием в настоящем документе отсчитанные данные генератора (например, напряжение в соединительной линии постоянного тока, крутящий момент и т.п.) могут быть преобразованы для формирования частотного содержания в частотной области. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения для формирования частотного содержания в частотной области может использоваться быстрое преобразование Фурье. В другом варианте осуществления настоящего изобретения для формирования частотного содержания в частотной области может применяться процедура 320 полосовой фильтрации. Процедура частотного анализа преобразует отсчитанный параметр во временной области в частотное содержание в частотной области. Различные частотные составляющие упомянутого частотного содержания могут включать составляющую постоянного тока (нулевого порядка), фундаментальную частотную составляющую (первого порядка) и гармонические частотные составляющие (второго порядка, половинного порядка, третьего порядка и т.д.) В соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения процедура преобразования Фурье и процедура полосовой фильтрации включают инструкции, исполняемые процессором 152.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения для сравнения частотного содержания данных генератора с сигнатурой состояния двигателя может применяться алгоритм корреляции. Например, сигнатура исправного двигателя может включать частотное содержание с частотной составляющей первого порядка с амплитудой меньше порогового значения первого порядка и частотной составляющей половинного порядка с амплитудой меньше порогового значения половинного порядка. Упомянутое пороговое значение первого порядка может соответствовать частоте вращения двигателя, нагрузке двигателя, температуре картера и предыдущим данным двигателя. При этом упомянутый пороговый уровень  $T$  может зависеть от условий работы двигателя, например мощности, частоты вращения, условий окружающей среды, предшествующего ремонта и т.п.

Например, упомянутые предыдущие данные двигателя и генератора могут храниться в базе данных, содержащей отсчеты частотного содержания из предыдущей работы двигателя. Следовательно, возможно обнаружение тенденций в частотном содержании, при этом упомянутые тенденции могут быть использованы для определения исправности двигателя. Например, рост амплитуды частотной составляющей половинного порядка для заданной частоты вращения и нагрузке двигателя может указывать на износ цилиндра. В качестве другого примера рост среднего давления картера с отсутствием роста амплитуды частотной составляющей половинного порядка для заданной частоты вращения и нагрузке двигателя может указывать на износ турбокомпрессора или системы откачки картера. Потенциальный отказ может включать изношенный цилиндр, изношенный турбокомпрессор или изношенную систему откачки картера.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения частотное содержание профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания может храниться в базе данных. В другом варианте осуществления настоящего изобретения в базе данных могут храниться данные базового профиля крутящего момента. Например, база данных может храниться в памяти 154 контроллера 150. В качестве другого примера база данных может храниться в местоположении, удаленном относительно рельсового транспортного средства 106. Например, предыдущие данные могут инкапсулироваться в сообщении и передаваться с помощью системы 190 связи. Таким образом, центр управления может контролировать исправность двигателя в реальном времени. Например, центр управления может выполнять шаги диагно-

стики состояния двигателя с использованием данных профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания, передаваемых с помощью системы 190 связи. Например, центр управления может принимать данные оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания от рельсового транспортного средства 106, выполнять частотное преобразование данных профиля крутящего момента и диагностировать потенциальный износ двигателя. Альтернативно, центр управления может принимать данные оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания от рельсового транспортного средства, применять к этим оцененным данным алгоритм сопоставления с шаблоном (выполнять сравнение с базовым профилем крутящего момента) и диагностировать потенциальный износ двигателя. Кроме того, центр управления может планировать техническое обслуживание и использовать исправные локомотивы и персонал по обслуживанию так, чтобы оптимизировать вложения капитала. Предыдущие данные генератора могут использоваться также для оценки исправности двигателя до или после технического обслуживания двигателя, модификации двигателя и замены компонентов двигателя.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения отчет о потенциальном отказе может передаваться рабочему персоналу локомотива с помощью дисплея 180. После того как оператор будет уведомлен, он может регулировать работу рельсового транспортного средства 106 таким образом, чтобы минимизировать потенциальный или дальнейший износ двигателя. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения сообщение с указанием на потенциальный отказ может передаваться с использованием системы 190 связи в центр управления. Кроме того, может также сообщаться степень серьезности потенциального отказа. Например, диагностика отказов на основе сравнения оцененного профиля крутящего момента с базовым профилем крутящего момента может позволять обнаруживать отказы раньше, чем с использованием только усредненной информации двигателя (например, только информации о частоте вращения двигателя). Следовательно, после обнаружения потенциального отказа на ранней стадии износа двигатель может продолжать работу. Напротив, если потенциальный отказ диагностирован как серьезный, может потребоваться остановить работу двигателя или назначить быстрое техническое обслуживание. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения степень серьезности потенциального отказа может определяться в соответствии с разностью между пороговым значением и амплитудой одной или более частотных составляющих оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания.

С помощью анализа оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания является возможность контроля и диагностики двигателя во время его работы. Кроме того, работа двигателя с изношенным компонентом может регулироваться так, чтобы потенциально уменьшить дополнительный износ компонента двигателя и вероятность дополнительных отказов двигателя и отказа при эксплуатации. Например, частотная составляющая половинного порядка может сравниваться с пороговым значением половинного порядка. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения, если амплитуда частотной составляющей половинного порядка больше, чем пороговое значение половинного порядка, то потенциальным отказом может являться изношенный цилиндр. Однако, если амплитуда частотной составляющей половинного порядка не больше, чем пороговое значение половинного порядка, то потенциальным отказом может быть износ турбокомпрессора или износ системы откачки картера.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения отчет о потенциальном отказе может передаваться рабочему персоналу локомотива с помощью дисплея 180, при этом оператор может регулировать работу рельсового транспортного средства 106 так, чтобы снизить степень дальнейшего износа. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения сообщение с диагностикой потенциального отказа может быть передано с помощью системы 190 связи в центр управления.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения для выявления изношенного цилиндра могут регулироваться эксплуатационные параметры двигателя. Например, изношенный цилиндр может быть выявлен на основе выборочного отключения впрыска топлива в один или более цилиндров двигателя. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения впрыск топлива может отключаться последовательно для каждого цилиндра из множества цилиндров, при этом выполняется контроль одного или более данных генератора и связанного с ними частотного содержания. Например, может отключаться впрыск топлива в один цилиндр, тогда как остальные цилиндры работают штатно. Отключая последовательно каждый цилиндр, можно определить изношенный цилиндр. В качестве другого примера может отключаться впрыск топлива в группу цилиндров, тогда как другие цилиндры работают штатно. С помощью циклического последовательного перебора различных групп методом исключения может быть определен изношенный цилиндр.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения может контролироваться частотная составляющая половинного порядка данных профиля крутящего момента при отключении каждого из цилиндров четырехтактного двигателя. Отключенный цилиндр может быть изношен, если при отключении этого цилиндра частотная составляющая половинного порядка опускается ниже порогового значения половинного порядка для состояния, когда цилиндр выключен. Отключенный цилиндр может быть исправен, если при отключении этого цилиндра частотная составляющая половинного порядка остается выше порогового значения половинного порядка для состояния, когда цилиндр выключен. Другими словами, изношенный цилиндр может быть тем цилиндром, который вносит больший вклад в частотную

составляющую половинного порядка в частотном содержании, по сравнению с другими цилиндрами. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения диагностика с выборочным отключением цилиндров может выполняться при работе двигателя в режиме ожидания или при небольшой нагрузке.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения изношенный цилиндр может быть определен на основе выборочной регулировки впрыска топлива в один или более цилиндров двигателя. Например, подача топлива в каждый цилиндр может быть выборочно увеличена или уменьшена при контроле частотной составляющей половинного порядка оцененного профиля крутящего момента. Кроме того, сигнатура, например частотное содержание, каждого цилиндра может сравниваться с предыдущими данными этого двигателя или с данными исправного двигателя. Например, для формирования базовой сигнатуры может быть выполнен диагностический тест на исправном двигателе. Базовая сигнатура может затем сравниваться с частотным содержанием при диагностике двигателя. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения изношенный цилиндр может определяться с помощью изменения времени впрыска топлива. Например, могут использоваться регулировки угла опережения для диагностики изношенного цилиндра. Например, время впрыска топлива может задерживаться, чтобы потенциально повысить частотное содержание частотной составляющей половинного порядка.

Может быть более предпочтительным отключение двигателя, чем отказ вследствие изношенного цилиндра, который может приводить к дополнительным повреждениям двигателя. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения может быть определено пороговое значение, которое указывает на то, что продолжение работы двигателя нежелательно вследствие высокой степени серьезности потенциального отказа. Например, потенциальный отказ может быть определен как серьезный, если амплитуда составляющей половинного порядка превышает пороговое значение. Если степень серьезности потенциального отказа превышает пороговое значение, двигатель может быть выключен.

Может передаваться запрос на планирование технического обслуживания, например, с помощью сообщения, передаваемого через систему 190 связи. Кроме того, с помощью передачи информации о состоянии потенциального отказа и степени серьезности этого потенциального отказа может быть снижено время простоя рельсового транспортного средства 106. Например, техническое обслуживание рельсового транспортного средства 106 может быть отложено при низкой степени серьезности потенциального отказа. Время простоя может быть снижено еще более с помощью снижения мощности двигателя, например, с помощью регулировки эксплуатационного параметра двигателя на основе диагностированного состояния. Может выполняться определение, разрешено ли снижение мощности двигателя. Например, в результате снижения мощности двигателя может уменьшаться амплитуда одной или более составляющих частотного содержания данных оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания.

Может выполняться регулировка эксплуатационного параметра двигателя, например, для уменьшения дополнительного износа изношенного компонента. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения может осуществляться управление частотой вращения или мощностью двигателя. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения может быть уменьшен или отключен впрыск топлива в потенциально изношенный цилиндр при продолжении работы других цилиндров. Соответственно, двигатель может продолжать работу, при этом дальнейший износ изношенного цилиндра может быть уменьшен. Таким образом, двигатель может быть отрегулирован для потенциального уменьшения дополнительного износа компонента двигателя и вероятности полного отказа двигателя или неисправности на линии.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения для оценки профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания и диагностики состояния двигателя на основе оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания может применяться диагностический комплект. Например, диагностический комплект может включать контроллер, выполненный с возможностью связи с одним или более датчиками генератора и с возможностью отсчета соответствующих данных генератора. Контроллер может быть также выполнен с возможностью преобразования сигналов от одного или более датчиков генератора в профиль электромагнитного крутящего момента двигателя генератора. Контроллер также может быть выполнен с возможностью оценки профиля инерционного крутящего момента двигателя на основе частоты вращения двигателя, измеряемой датчиком частоты вращения, и изменения этого профиля инерционного крутящего момента на основе профиля электромагнитного крутящего момента для оценки профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания. Контроллер также может быть выполнен с возможностью диагностики состояния двигателя на основе оцененного профиля крутящего момента двигателя внутреннего сгорания. Упомянутый диагностический комплект может также содержать один или более датчиков для измерения параметров генератора (например, выходного напряжения генератора) и/или параметров двигателя (например, частоты вращения двигателя).

В настоящем описании и формуле изобретения используется ряд терминов, которые имеют изложенное ниже значение. Использование единственного числа включает множественное число, если явно не указано иное. В описании изобретения и формуле изобретения могут использоваться выражения, указывающие на приблизительные значения, для обозначения того, что количественное представление допускает изменение без изменения в результате этого связанной с ним основной функции. Соответствен-

но, значение, сопровождаемое таким выражением как "около", не ограничено точным указанным значением. В некоторых случаях выражения, указывающие на приблизительные значения, могут соответствовать точности инструмента для измерения этого значения. Аналогично, выражение "без" может использоваться в комбинации с каким-либо термином и может подразумевать незначительное или ничтожное количество, при этом указывая на отсутствие термина, с которым используется это выражение. Более того, если прямо не указано иное, термины "первый", "второй" и т.д. не задают порядок или важность элементов, а используются для различения одного элемента от другого.

Использованные в настоящем документе слова "может" и "может быть" указывают на возможность появления конкретного свойства, характеристики или функции при некоторых обстоятельствах и обладание конкретным свойством, характеристикой или функцией и/или уточняет другой глагол, выражая одно или более из следующего: способность, умение или возможность, связанные с уточняемым глаголом. Соответственно, использование слов "может" и "может быть" указывает на то, что модифицированный термин является, по-видимому, подходящим, допускающим или соответствующим указанной способности, функции или применению с учетом того, что в некоторых обстоятельствах модифицированный термин может иногда не быть подходящим, допускающим или соответствующим. Например, в некоторых обстоятельствах можно ожидать некоторого события или возможности, в то время как в других обстоятельствах такое событие или такая возможность не могут возникнуть - это различие и фиксируется словами "может" и "может быть". Термины "генератор" и "генератор переменного тока" используются в настоящем документе взаимозаменяемо (однако признается, что тот или другой термины могут быть более подходящими в зависимости от применения). Термины "частотное содержание" и "гармоническое содержание" используются в настоящем документе взаимозаменяемо и могут относиться к составляющим фундаментальной частоты (и/или фазы) и соответствующим составляющим гармонических частот (и/или фаз) выше и ниже фундаментальных составляющих. Термин "инструкции", используемый в отношении контроллера или процессора, может относиться к исполняемым компьютером инструкциям.

Описанные варианты осуществления настоящего изобретения представляют собой примеры изделий, систем и способов, включающих элементы, которые соответствуют элементам изобретения, изложенным в формуле изобретения. Данное описание обеспечивает специалистам возможность создания и применения вариантов осуществления изобретения, имеющих альтернативные элементы, которые соответствуют элементам изобретения, изложенным в формуле изобретения. Таким образом, объем настоящего изобретения включает изделия, системы и способы, не отличающиеся от буквального изложения формулы изобретения, а также другие изделия, системы и способы, имеющие незначительные отличия от буквального изложения формулы изобретения. Несмотря на то что в настоящем документе были описаны и проиллюстрированы конкретные признаки и варианты осуществления настоящего изобретения, специалистам понятны множество модификаций и изменений изобретения. Приложенная формула изобретения охватывает все такие модификации и изменения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ диагностики состояния поршневого двигателя, функционально связанного с генератором, в котором

измеряют с использованием датчика частоту вращения вала двигателя,

определяют частоту половинного порядка, равную половине частоты вращения вала двигателя,

измеряют с использованием по меньшей мере одного датчика электрический параметр, связанный с генератором и включающий по меньшей мере одно из следующего: напряжение в соединительной линии постоянного тока, ток в соединительной линии постоянного тока, напряжение возбуждения генератора, ток возбуждения генератора, выходное напряжение генератора или выходной ток генератора,

определяют частотный состав измеренного электрического параметра, связанного с генератором,

сравнивают амплитуду частотной составляющей половинного порядка указанного частотного состава с заданным пороговым значением и,

если амплитуда частотной составляющей половинного порядка больше, чем заданное пороговое значение, диагностируют износ двигателя.

2. Транспортное средство, содержащее

двигатель;

генератор, функционально связанный с двигателем;

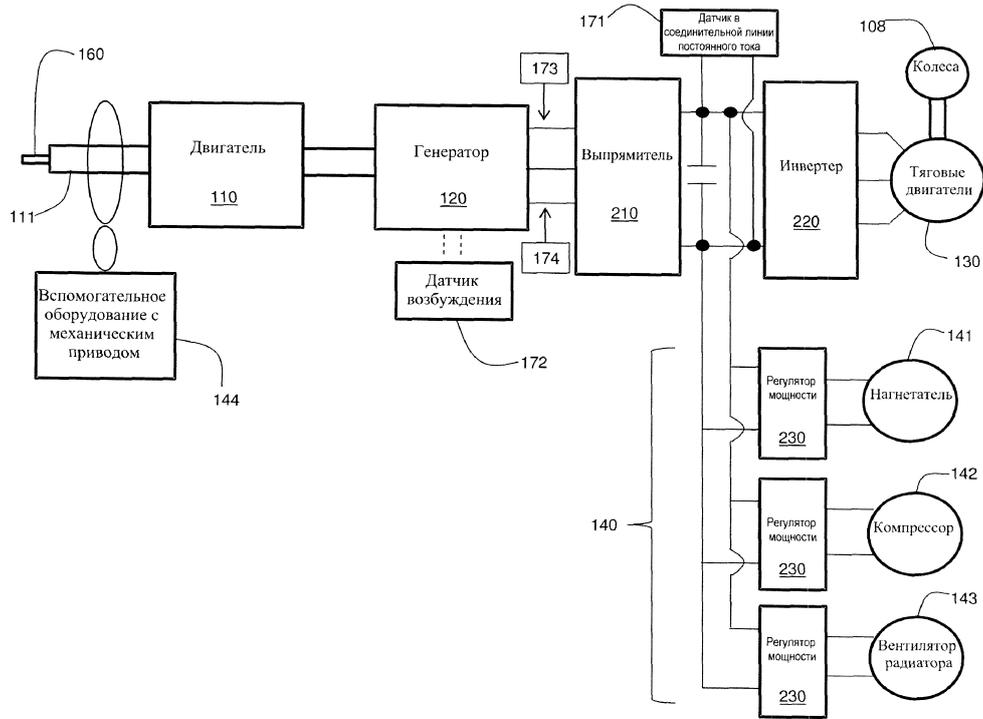
по меньшей мере один датчик для измерения во время работы генератора электрического параметра, связанного с генератором и включающего по меньшей мере одно из следующего: напряжение в соединительной линии постоянного тока, ток в соединительной линии постоянного тока, напряжение возбуждения генератора, ток возбуждения генератора, выходное напряжение генератора или выходной ток генератора;

датчик для измерения частоты вращения вала двигателя и

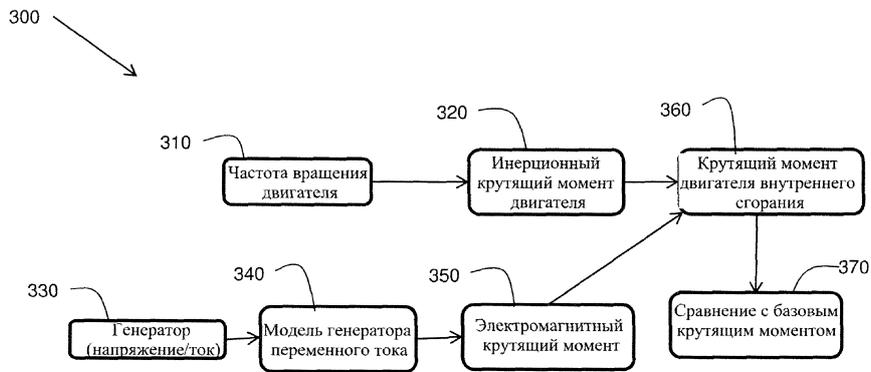
контроллер, включающий инструкции, сконфигурированные для

измерения с использованием датчика частоты вращения вала поршневого двигателя,

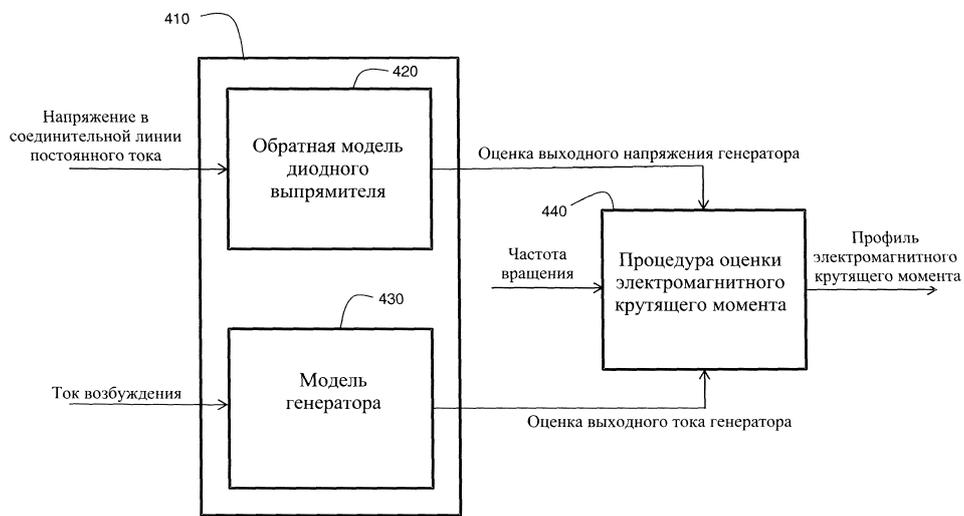




Фиг. 2



Фиг. 3



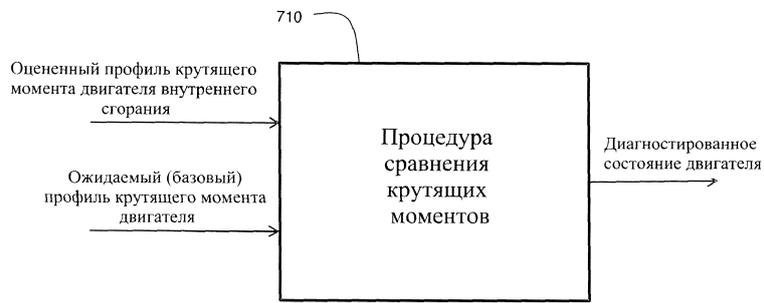
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

