

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042266**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.01.30

(21) Номер заявки
202191300

(22) Дата подачи заявки
2019.12.13

(51) Int. Cl. **F02B 37/24** (2006.01)
F23R 3/28 (2006.01)
F23R 3/14 (2006.01)
F01D 17/16 (2006.01)

(54) **СИСТЕМА ДЛЯ ТУРБОНАГНЕТАТЕЛЯ С ИЗМЕНЯЕМЫМ ПОТОКОМ ТЕКУЧЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ**

(31) **16/219,462**

(32) **2018.12.13**

(33) **US**

(43) **2021.09.21**

(86) **PCT/US2019/066400**

(87) **WO 2020/124049 2020.06.18**

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

(72) Изобретатель:
**Кобиелски Луис, Уйгун Барис, Фелтон
Адам (US)**

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

(56) **US-A-4674275
US-A1-20180283288
US-B2-6913440
US-A1-20150345376
JP-B2-5596709**

(57) Для турбины с изменяемым потоком текучей среды предложены различные способы и системы. В одном примере система для двигателя содержит турбину турбонагнетателя, содержащую сопловое кольцо, причем сопловое кольцо содержит множество неподвижных лопаток, каждая из которых имеет множество инжекционных отверстий, расположенных на наружной поверхности лопатки, и систему подачи газа для подачи изменяемого потока газа к указанному множеству инжекционных отверстий и из них.

B1

042266

**042266
B1**

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Приоритет настоящей заявки испрашивается по дате подачи заявки на патент США № 16/219462, озаглавленной "Способ и системы для турбоагнетателя с изменяемой геометрией для локомотивного двигателя", поданной 13 декабря 2018 г. Все содержание указанной выше заявки включено в настоящий документ в качестве ссылки для всех целей.

Область техники

Варианты выполнения изобретения, раскрытые в настоящем документе, относятся к турбоагнетателю с изменяемым потоком текучей среды.

Обсуждение уровня техники

Двигатели, например устанавливаемые на транспортном средстве, могут быть оснащены турбоагнетателем с изменяемой геометрией, который может обеспечивать возможность изменения эффективной степени сжатия турбоагнетателя при изменении условий работы двигателя, например, при переходе двигателя с низких оборотов на высокие обороты. Таким образом, требуемая величина наддува может быть обеспечена в условиях работы двигателя, когда выработка выхлопных газов ниже.

Для регулировки геометрии турбины в сопловом аппарате турбины могут быть расположены лопатки и другие подобные компоненты. Лопатки или другие смежные компоненты могут приводиться в действие внутри турбины для регулирования воздушного потока в ней, чтобы уменьшить эффективную площадь проходного сечения горловины сопел турбины. Это может ускорять выхлопные газы в горловине для увеличения скорости турбины и увеличения наддува.

Сущность изобретения

В одном варианте выполнения система для двигателя содержит турбину турбоагнетателя, имеющую сопловое кольцо. Сопловое кольцо содержит множество неподвижных лопаток. Каждая лопатка из множества неподвижных лопаток содержит одно или более (например, множество) инжекционных отверстий, расположенных на наружной поверхности лопатки. Система также содержит систему подачи газа, которая выполнена с возможностью подачи изменяемого потока газа во множество инжекционных отверстий и из них через каналы, проходящие через лопатки. Отверстия могут иметь круглую, щелевидную, многоугольную и пр. форму.

Краткое описание чертежей

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

Фиг. 2А и 2В изображают первый вариант выполнения турбины с изменяемым потоком текучей среды, имеющей сопловые лопатки, выполненные с возможностью инжектирования воздуха для регулирования площади проходного сечения горловины сопел турбины.

Фиг. 3 изображает второй вариант выполнения турбины с изменяемым потоком текучей среды, имеющей сопловые лопатки, выполненные с возможностью инжектирования воздуха для регулирования площади проходного сечения горловины сопел турбины.

Фиг. 4 изображает вариант выполнения турбоагнетателя с турбиной с изменяемым потоком текучей среды, имеющей сопловые лопатки для инжектирования воздуха в сочетании с устройством управления потоком для сопловых лопаток.

Фиг. 5 иллюстрирует способ работы турбины с изменяемым потоком текучей среды, имеющей сопловые лопатки, выполненные с возможностью инжектирования воздуха для регулирования площади проходного сечения горловины сопел турбины.

Фиг. 6 иллюстрирует последовательность этапов работы двигателя для работы турбины с изменяемым потоком текучей среды, имеющей сопловые лопатки, выполненные с возможностью инжектирования воздуха для регулирования площади проходного сечения горловины сопел турбины в зависимости от рабочих условий двигателя.

Фиг. 7А и 7В изображают примеры меньшего пограничного слоя и большего пограничного слоя для регулирования площади проходного сечения горловины сопел турбины.

Фиг. 8А, 8В и 8С изображают альтернативные примеры сопловых лопаток.

Подробное описание

Последующее описание относится к вариантам выполнения системы для двигателя, содержащей турбину турбоагнетателя, имеющую сопловое кольцо, которое содержит множество неподвижных лопаток, причем каждая лопатка из указанного множества неподвижных лопаток содержит множество инжекционных отверстий, расположенных на наружной поверхности лопатки, и систему подачи газа для подачи изменяемого потока газа для инжектирования в указанное множество отверстий и из них. Примеры турбин с изменяемой геометрией предшествующего уровня техники для регулировки геометрии турбины имеют подвижные компоненты, такие как поворотные или скользящие лопатки, расположенные внутри соплового кольца турбины. Эта архитектура представляет некоторые проблемы, в том числе трудности с обслуживанием, надежностью и производственные проблемы (например, движущиеся части могут выйти из строя и потребуются их замена, и они могут быть более сложными и/или дорогостоящими в производстве). Описанные здесь неподвижные лопатки принимают воздушный поток от источника

воздуха, такого как компрессор, или компрессор турбоагнетателя, чтобы инжектировать воздух в сопловой аппарат турбины. Количество воздуха, инжектируемого через лопатки, может регулировать площадь проходного сечения горловины сопел турбины, тем самым регулируя мощность турбины. В одном примере количество воздуха, инжектируемого через лопатки, можно регулировать с помощью регулировочных положений одного или более клапанов системы управления потоком, расположенных снаружи турбины. Однако в альтернативных вариантах выполнения можно использовать другой тип системы регулируемого исполнительного механизма для регулирования количества воздуха, инжектируемого из лопаток в горловину сопел турбины.

В одном примере турбина турбоагнетателя принимает выхлопной газ от двигателя транспортного средства, как показано на фиг. 1. Турбина может содержать множество лопаток, расположенных по окружности соплового аппарата турбины, как показано на фиг. 2. Лопатки могут иметь множество впускных отверстий и внутренних каналов для приема воздуха от источника воздуха (такого как компрессор турбоагнетателя) и направления воздуха к инжекционным отверстиям, расположенным на наружной поверхности лопаток. В одном варианте выполнения инжекционные отверстия могут быть расположены рядами, совмещенными с впускными отверстиями и внутренними каналами, так что отверстия каждого ряда проточно сообщаются с одним впускным отверстием и одним внутренним каналом, как показано на фиг. 2В. Система управления потоком, такая как система управления потоком, показанная на фиг. 4, может содержать группу клапанов, при этом каждый клапан выполнен с возможностью регулирования воздушного потока к каждому впускному отверстию и внутреннему каналу. Фиг. 5 иллюстрирует способ регулирования количества воздуха, инжектируемого сопловыми лопатками турбины, в зависимости от рабочих условий двигателя, такого как уровень мощности двигателя. Фиг. 6 иллюстрирует последовательность этапов работы двигателя, показывающую изменения подачи воздуха, подаваемого к сопловым лопаткам, в зависимости от изменяющихся рабочих условий двигателя. Альтернативный вариант выполнения лопаток показан на фиг. 3. Лопатки могут создавать пограничный слой, размер которого зависит от количества проходящего через них воздуха. Примеры двух пограничных слоев разного размера показаны на фиг. 7А и 7В. Другие альтернативные примеры лопаток показаны на фиг. 8А, 8В и 8С.

Подход, описанный в настоящем документе, может использоваться в двигателях различных типов и в различных системах с приводом от двигателя. Некоторые из этих систем могут быть стационарными, а другие - на полумобильных или мобильных платформах. Полумобильные платформы можно перемещать между периодами эксплуатации, например, смонтировать на бортовых прицепах. Мобильные платформы включают самоходные машины. К таким транспортным средствам могут относиться дорожные транспортные средства, а также горное оборудование, морские суда, рельсовые транспортные средства и другие внедорожные транспортные средства (ОНV). Для ясности иллюстрации в качестве примера мобильной платформы, поддерживающей систему, включающую вариант выполнения изобретения, представлен локомотив.

Фиг. 1-3 и 8А-8С изображают иллюстративные конфигурации с относительным расположением различных компонентов. Если показано, что они непосредственно контактируют друг с другом или напрямую соединены, то такие элементы могут называться, соответственно, непосредственно контактирующими или непосредственно соединенными, по меньшей мере в одном примере. Аналогично, элементы, показанные непрерывными или смежными друг с другом, могут быть, соответственно, непрерывными или смежными друг с другом, по меньшей мере в одном примере. В качестве примера, компоненты, находящиеся в частичном контакте поверхностями друг с другом, могут называться находящимися в частичном контакте поверхностями друг с другом. В качестве другого примера, элементы, расположенные отдельно друг от друга, только с промежутком между ними и отсутствием других компонентов, могут упоминаться как таковые, по меньшей мере в одном примере. В качестве еще одного примера элементы, показанные один над другим/один под другим, на противоположных сторонах друг от друга или слева/справа друг от друга, могут упоминаться как таковые относительно друг друга. Кроме того, как показано на чертежах, самый верхний элемент или точка элемента могут упоминаться как "верх" компонента, а самый нижний элемент или точка элемента могут упоминаться как "низ" компонента в по меньшей мере одном примере. Используемые здесь термины "верх/низ", "верхний/нижний", "вверху/внизу" могут относиться к вертикальной оси фигур чертежей и использоваться для описания расположения элементов фигур относительно друг друга. Таким образом, в одном примере элементы, показанные над другими элементами, расположены вертикально над другими элементами. В качестве еще одного примера, формы элементов, изображенных на фигурах чертежей, могут упоминаться как имеющие эти формы (например, такие как круглые, прямые, плоские, криволинейные, закругленные, скошенные, проходящие под углом и т.п.). Кроме того, элементы, показанные пересекающимися друг с другом, могут называться пересекающимися элементами или пересекающимися друг друга по меньшей мере в одном примере. Более того, элемент, показанный внутри другого элемента или показанный снаружи другого элемента, может упоминаться как таковой в одном примере.

Фиг. 1 изображает вариант выполнения системы, в которой может быть установлен турбоагнетатель. В частности, фиг. 1 показывает блок-схему варианта выполнения системы 100 транспортного средства, изображенного здесь как транспортное средство 106. Показанное транспортное средство выполнено

с возможностью перемещения по рельсу 102 с помощью множества колес 112. Как изображено, транспортное средство 106 содержит двигатель 104. Двигатель содержит множество цилиндров 101 (только один репрезентативный цилиндр показан на фиг. 1), каждый из которых содержит по меньшей мере один впускной клапан 103, выпускной клапан 105 и топливный инжектор 107. Каждый впускной клапан, выпускной клапан и топливный инжектор может содержать исполнительный механизм, который может приводиться в действие посредством сигнала от контроллера 110 двигателя 104. В других неограничивающих вариантах выполнения двигатель 104 может представлять собой стационарный двигатель, например, в силовой установке, или двигатель на морском судне, или другую силовую установку дорожного или 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 транспортного средства. Выхлопной газ, образующийся в результате сгорания в двигателе, подается в выхлопной канал 116. Выхлопной газ проходит через выхлопной канал и выходит из выхлопной трубы транспортного средства. 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 также сжигать топливо, включая бензин, керосин, природный газ, биодизель или другие нефтяные дистилляты аналогичной плотности, путем воспламенения от сжатия (и/или искрового зажигания).

В одном варианте выполнения транспортное средство является дизель-электрическим транспортным средством. Как показано на фиг. 1, двигатель соединен с системой выработки электроэнергии, которая содержит альтернатор/генератор 122 переменного тока и электрические тяговые двигатели 124. Например, двигатель представляет собой дизельный двигатель и/или двигатель, работающий на природном газе, который генерирует выходной крутящий момент, который передается на альтернатор/генератор, механически соединенный с двигателем. В одном варианте выполнения в настоящем документе двигатель представляет собой многотопливный двигатель, работающий на дизельном топливе и природном газе, но в других примерах двигатель может использовать различные комбинации топлива, отличные от дизельного топлива и природного газа.

Альтернатор/генератор 122 вырабатывает электроэнергию, которую можно накапливать и применять для последующего распределения к множеству последующих электрических компонентов. В качестве примера, альтернатор/генератор 122 может быть электрически соединен с множеством тяговых двигателей, причем альтернатор/генератор может обеспечивать электрическую мощность множеству тяговых двигателей. Как показано, каждый двигатель из множества тяговых двигателей соединен с одним колесом из множества колес для обеспечения тягового усилия для приведения в движение транспортного средства. Один пример конфигурации включает один тяговый двигатель на колесную пару. Как показано здесь, шесть тяговых двигателей соответствуют каждой из шести пар движущихся колес транспортного средства. В другом примере альтернатор/генератор может быть соединен с одной или более резистивными сетями 126. Резистивные сети могут быть выполнены с возможностью рассеивания избыточного крутящего момента двигателя за счет тепла, вырабатываемого сетями из электроэнергии, генерируемой альтернатором/генератором.

В некоторых вариантах выполнения система транспортного средства может содержать турбонагнетатель 120, который расположен между впускным каналом и выпускным каналом. Турбонагнетатель увеличивает заряд окружающего воздуха, всасываемого во впускной канал, чтобы обеспечить большую плотность заряда во время сгорания для увеличения выходной мощности и/или эффективности работы двигателя. Турбонагнетатель может содержать по меньшей мере один компрессор (не показан), который по меньшей мере частично приводится в действие по меньшей мере одной соответствующей турбиной (не показана). В некоторых вариантах выполнения система транспортного средства может дополнительно содержать систему нейтрализации выхлопных газов, подключенную в выхлопном канале перед и/или за турбонагнетателем. В одном варианте выполнения система нейтрализации выхлопных газов может содержать дизельный катализатор окисления (DOC) и дизельный сажевый фильтр (DPF). В других вариантах выполнения система нейтрализации выхлопных газов может дополнительно или в качестве альтернативы содержать одно или более устройств контроля выбросов. Такие устройства контроля выбросов могут содержать катализатор селективного каталитического восстановления (SCR), трехкомпонентный катализатор, ловушку NOx или различные другие устройства или системы нейтрализации выхлопных газов.

Как показано на фиг. 1, система транспортного средства дополнительно содержит систему 150 охлаждения (например, систему охлаждения двигателя). Система охлаждения обеспечивает циркуляцию теплоносителя через двигатель для поглощения отработанного тепла двигателя и распределения нагретого теплоносителя в теплообменнике, таком как радиатор 152 (например, теплообменник радиатора). В одном примере теплоносителем может быть вода. К радиатору может быть подсоединен вентилятор 154 для поддержания воздушного потока через радиатор, когда транспортное средство движется медленно

или останавливается при работающем двигателе. В некоторых примерах скорость вентилятора может регулироваться контроллером. Теплоноситель, охлаждаемый радиатором, может попадать в бачок (не показан). Затем теплоноситель может перекачиваться насосом 156 для воды или теплоносителя обратно в двигатель или в другой компонент системы транспортного средства.

Контроллер 110 может быть выполнен с возможностью управления различными компонентами, относящимися к транспортному средству. Например, различные компоненты системы транспортного средства могут быть подсоединены 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 транспортного средства. В некоторых примерах контроллер может содержать более одного контроллера, каждый из которых соединен друг с другом, например, первый контроллер для управления двигателем и второй контроллер для управления другими рабочими параметрами локомотива (такими как нагрузка тягового двигателя, скорость вентилятора, и так далее). 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 множества датчиков и может посылать управляющие сигналы множеству исполнительных механизмов. Контроллер, осуществляя управление и руководство 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 рабочих условий и, соответственно, регулировки различных исполнительных механизмов двигателя для управления работой двигателя и/или рельсового транспортного средства. Например, контроллер двигателя 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, противодавление сажевого фильтра, давление теплоносителя двигателя и т.п. Дополнительные датчики, такие как датчики температуры теплоносителя, могут быть размещены в системе охлаждения. Соответственно, контроллер может управлять двигателем и/или транспортным средством, отправляя команды различным компонентам, таким как тяговые двигатели, альтернатор/генератор, топливные форсунки, клапаны (например, клапан теплоносителя и/или охладителя системы рециркуляции отработавших газов (EGR)), насос для теплоносителя или тому подобное.

Например, контроллер может управлять работой ограничительного элемента (например, такого как клапан) в системе охлаждения двигателя. К различным местам в транспортном средстве могут быть подсоединены другие исполнительные механизмы.

В настоящем описании раскрыта турбина турбоагрегата, такого как турбоагрегат 120, показанный на фиг. 1, которая может представлять собой турбину с изменяемым потоком, в которой площадь проходного сечения горловины сопел может регулироваться в зависимости от рабочих условий двигателя. В одном примере рабочее условие двигателя представляет собой уровень мощности двигателя (например, ступень контроллера) и/или нагрузку двигателя. По мере уменьшения уровня мощности двигателя может потребоваться уменьшение площади проходного сечения горловины сопел турбины. Предыдущие примеры турбин с изменяемой геометрией содержали механически перемещаемые лопатки или неподвижные лопатки с подвижным компонентом, таким как бандаж или другое подобное устройство. Путем перемещения лопаток или смежного компонента площадь проходного сечения горловины сопла турбины регулируется для регулирования скорости воздушного потока через турбину и увеличения наддува, обеспечиваемого текущим уровнем производства выхлопных газов.

Однако такие турбины могут иметь недостатки. Например, движущиеся компоненты, такие как механически подвижные компоненты, расположенные в турбине, могут быть подвержены разрушению, что может быть затруднено для доступа и ремонта. Кроме того, изготовление такой турбины может быть обременительным, поскольку электрические провода проходят через различные поверхности турбины, которые могут нагреваться во время работы двигателя. Таким образом, для электрических проводов может потребоваться термостойкое покрытие. Изобретатели осознали эти проблемы и нашли способ их решить, по меньшей мере частично. Благодаря использованию множества неподвижных сопловых лопаток в турбине для инжектирования различных количеств воздуха в сопловый аппарат турбины для регулирования площади проходного сечения горловины соплового аппарата путем создания гидравлического затвора и путем размещения снаружи турбины системы управления потоком для неподвижных сопловых лопаток, расположенных внутри турбины, описанные выше проблемы могут быть устранены. Например, в такой системе количество механических компонентов в турбине может быть уменьшено. Кроме того, описанные здесь сопловые лопатки и система управления потоком могут обеспечивать большую степень управления регулировкой проходной площади турбины, так что может быть достигнут больший диапа-

зон наддува.

На фиг. 2А, показан первый вариант 200 выполнения турбины 202. Турбина может использоваться в турбонагнетателе 120, показанном на фиг. 1. Показана система 290 осей, содержащая три оси, а именно ось x, параллельную горизонтальному направлению, ось y, параллельную вертикальному направлению, и ось z, перпендикулярную каждой из осей x и y. Оси могут использоваться для описания формы и ориентации компонентов турбины.

Турбина содержит корпус 204, который может образовывать впускное отверстие 206 для выхлопного газа. Впускное отверстие 206 может иметь спиральную форму и выполнено с возможностью приема выхлопного газа от двигателя, такого как двигатель 104, изображенный на фиг. 1. Благодаря спиральной форме впускное отверстие для выхлопного газа может распределять выхлопной газ по кругу на 360° к рабочему колесу турбины (кружок 209 указывает, где рабочее колесо турбины может быть расположено внутри турбины). Выхлопной газ может вращать рабочее колесо турбины, причем это вращение может быть преобразовано во вращение крыльчатки компрессора способом, известным специалистам в данной области техники.

Турбина может также содержать множество лопаток 210, расположенных рядом с рабочим колесом турбины и окружающих его, по всей окружности рабочего колеса турбины, вдоль соплового кольца 208. Вместе сопловое кольцо 208 и лопатки 210 могут образовывать сопловой аппарат турбины (например, турбинный сопловой аппарат), выполненный с возможностью направления выхлопного потока к рабочему колесу турбины. В некоторых примерах лопатки могут быть напечатаны на сопловом кольце, например, с использованием аддитивного производства или трехмерного принтера. Дополнительно или в качестве альтернативы, лопатки могут быть собраны из пресс-формы. Лопатки могут быть закрепленными и неподвижными. Например, каждая лопатка может быть неподвижной и не может перемещаться (например, поворачиваться, вращаться или перемещаться) относительно корпуса соплового кольца (к которому они прикреплены) и центральной оси рабочего колеса турбины. Кроме того, лопатки внутри турбины могут не иметь электрических, механических, пневматических, гидравлических и других типов приводов. Лопатки могут не иметь подвижных частей, таких как скользящая стенка, бандаж со щелями или другие устройства, известные специалистам в данной области техники, для регулировки геометрии корпуса турбины. В одном примере лопатки могут быть закреплены относительно соплового кольца таким образом, чтобы при вращении соплового кольца лопатки оставались неподвижными. Дополнительно или в качестве альтернативы, лопатки могут вращаться вместе с вращением соплового кольца, но не могут вращаться независимо от соплового кольца.

Указанное множество лопаток может быть расположено по всей окружности соплового кольца между рабочим колесом турбины и впускным отверстием для выхлопного газа. Лопатки могут иметь форму, позволяющую регулировать геометрию турбины на основе одного или более рабочих условий двигателя, таких как уровень мощности двигателя. Лопатки могут иметь форму, обеспечивающую возможность инжектирования воздуха через одно или более отверстий, что может создавать пограничный слой воздуха. Пограничный слой воздуха может уменьшать эффективную площадь проходного сечения горловины соплового аппарата, что обеспечивает возможность регулировки рабочей точки турбонагнетателя. В одном примере пограничный слой воздуха регулирует геометрию корпуса турбины для ускорения выхлопных газов по мере их прохождения между пограничным слоем и рабочими лопатками турбины, заставляя их вращаться быстрее, чем в противном случае. Это может быть желательным, когда текущий уровень выработки выхлопных газов недостаточен (например, ниже порогового значения) для удовлетворения текущей потребности в наддуве, например, при более низком уровне мощности двигателя.

На фиг. 2В показан подробный вид 250 трех лопаток 260 из указанного множества лопаток 210, показанных на фиг. 2А. Более конкретно, три лопатки содержат первую лопатку 260А, вторую лопатку 260В и третью лопатку 260С.

Каждая из трех лопаток может иметь свою собственную центральную ось, которая также может определять длинную ось этой лопатки, включая центральную ось 262А первой лопатки, центральную ось 262В второй лопатки и центральную ось 262С третьей лопатки. Лопатки могут быть расположены под углом друг к другу, так что центральные оси могут быть расположены со смещением. В одном примере центральные оси не параллельны. В одном примере угол между каждой лопаткой из трех лопаток может быть фиксированным. В некоторых вариантах выполнения, дополнительно или в качестве альтернативы, каждая лопатка может быть ориентирована по-разному, так что угол между первой и второй лопатками отличается от угла между второй и третьей лопатками. В любом случае угол между соседними лопатками невозможно регулировать из-за того, что лопатки закрепляют неподвижно, когда их размещают на сопловом кольце.

Угол между соседними лопатками может быть менее 80° . В некоторых примерах, дополнительно или в качестве альтернативы, угол между соседними лопатками составляет от 5° до 70° . В некоторых примерах, дополнительно или в качестве альтернативы, угол между соседними лопатками составляет от 5° до 60° . В некоторых примерах, дополнительно или в качестве альтернативы, угол между соседними лопатками составляет от 5° до 50° . В некоторых примерах, дополнительно или в качестве альтернативы,

угол между соседними лопатками составляет от 5 до 40°. В некоторых примерах, дополнительно или в качестве альтернативы, угол между соседними лопатками составляет от 5 до 30°. В некоторых примерах, дополнительно или в качестве альтернативы, угол между соседними лопатками составляет от 5 до 20°. В некоторых примерах, дополнительно или в качестве альтернативы, угол между соседними лопатками составляет от 10 до 20°. В одном примере угол составляет 15°. В некоторых примерах угол может быть основан на увеличении эффективности для множества точек нагрузки. По существу, угол может регулироваться на основе максимизации эффективности требуемой точки нагрузки.

Первая, вторая и третья лопатки могут иметь, по существу, одинаковые размер и форму. Первая, вторая и третья лопатки могут представлять собой одну сплошную деталь. Более конкретно, каждая лопатка может содержать первый крайний конец 271 и второй крайний конец 272, причем кривизна второго крайнего конца может быть более выраженной, чем кривизна первого крайнего конца. Таким образом, первый крайний конец может быть более заостренным, чем второй крайний конец. Таким образом, лопатка может сужаться, поскольку она проходит от второго крайнего конца до первого крайнего конца.

Первый и второй крайние концы могут быть крайними концами тела 273 лопатки. Тело 273 лопатки может быть сплошным, за исключением одного или более внутренних воздушных каналов, расположенных в нем для одного или более отверстий, как описано ниже. Тело 273 лопатки может содержать первую боковую стенку 274 и вторую боковую стенку 275. Первая боковая стенка может быть практически идентична второй боковой стенке по размеру и форме, за исключением того, что вторая боковая стенка может быть физически соединена с частью турбины 202. Физическое соединение может представлять собой одно или более из следующих: болтовое соединение, клеевое соединение, сварной шов и оплавление, для поддержания лопаток в неподвижном положении. Каждая стенка из первой и второй боковых стенок может проходить между первым крайним концом и вторым крайним концом. Тело лопатки, включая боковые стенки, может иметь форму лопасти. В некоторых примерах, дополнительно или в качестве альтернативы, боковые стенки могут иметь продолговатую каплевидную форму.

Каждая лопатка может иметь впускные отверстия, при этом первая лопатка имеет первое множество впускных отверстий 264А, вторая лопатка имеет второе множество впускных отверстий 264В, а третья лопатка имеет третье множество впускных отверстий 264С. Каждое впускное отверстие из указанного множества впускных отверстий может быть расположено вдоль первой боковой стенки лопаток, обращенной в направлении, противоположном рабочей лопатке турбины.

Первое множество впускных отверстий может иметь форму и/или быть выполнено с возможностью подачи воздуха к первому множеству инжекционных отверстий 266А, расположенных на наружной поверхности тела первой лопатки. Второе множество впускных отверстий может иметь форму и/или быть выполнено с возможностью подачи воздуха ко второму множеству инжекционных отверстий 266В, расположенных на наружной поверхности тела второй лопатки. Третье множество впускных отверстий может иметь форму и/или быть выполнено с возможностью подачи воздуха к третьему множеству инжекционных отверстий 266С, расположенных на наружной поверхности тела третьей лопатки. Для формирования пограничного слоя воздуха воздух может протекать из источника воздуха (например, компрессора, как показано на фиг. 4) через систему управления потоком, расположенную снаружи турбины, к впускным отверстиям, по одному или более внутренним каналам и наружу из инжекционных отверстий. Дополнительно или в качестве альтернативы, подача воздуха может частично или полностью выполняться из выпускного отверстия компрессора турбоагрегата в той степени, в которой требуемые преимущества могут быть достигнуты в различных рабочих условиях. В некоторых применениях подача воздуха к лопаткам турбины также может быть дополнена источниками, расположенными снаружи двигателя, такими как вспомогательный насос.

Первая, вторая и третья лопатки могут быть практически идентичными. По существу, нижеследующее описание в отношении первого множества впускных отверстий и первого множества инжекционных отверстий первой лопатки также применимо к впускным и инжекционным отверстиям второй и третьей лопаток. Первое множество впускных отверстий может быть совмещено вдоль общей оси и размещено на первой боковой поверхности. Каждое впускное отверстие из первого множества впускных отверстий может иметь круглую форму. Однако в альтернативных вариантах выполнения впускные отверстия могут иметь другую форму, например, квадратную, прямоугольную или продолговатую. Каждое впускное отверстие из первого множества впускных отверстий может иметь одинаковый размер. Первое множество впускных отверстий может принимать воздух от источника воздуха и направлять полученный воздух через внутренний воздушный канал первой лопатки к множеству соответствующих инжекционных отверстий. В одном примере внутренний воздушный канал проходит в направлении, перпендикулярном общей оси и центральной оси, при этом внутренний канал проточно сообщается только с инжекционными отверстиями, расположенными вдоль его пути, который может содержать ряд инжекционных отверстий. Т.е. впускное отверстие может проточно сообщаться только с одним внутренним каналом, а внутренний канал может проточно сообщаться только с инжекционными отверстиями, совмещенными с осью внутреннего канала. Таким образом, в примере первой лопатки может иметься четыре внутренних канала, при этом каждый из внутренних каналов проточно сообщается с двумя инжекционными отвер-

стями. Внутренние каналы могут быть выполнены машинной обработкой и/или отформованы в корпусе лопатки. Таким образом, корпус лопатки может быть сплошным, за исключением внутренних каналов. Таким образом, текучая среда (например, воздух) в разных внутренних каналах может не смешиваться. В одном примере первая лопатка, исключая впускные отверстия и внутренние каналы, но включая инжекционные отверстия, может иметь зеркальную симметрию относительно центральной оси. Дополнительно или в качестве альтернативы, первая лопатка, исключая инжекционные отверстия, но включая впускные отверстия и внутренние каналы, может иметь зеркальную симметрию относительно общей оси.

Более конкретно, воздух из источника воздуха может протекать к первому множеству впускных отверстий 264А и к первому множеству внутренних каналов 268А, которые проточно сообщаются с первым множеством инжекционных отверстий 266А. Воздух из источника воздуха может протекать во второе множество впускных отверстий 264В и во второе множество внутренних каналов 268В, которые проточно сообщаются со вторым множеством инжекционных отверстий 266В. Воздух из источника воздуха может протекать к третьему множеству впускных отверстий 264С и к третьему множеству внутренних каналов 268С, которые проточно сообщаются со вторым множеством инжекционных отверстий 266С.

Каждый внутренний канал может начинаться у одного впускного отверстия, при этом внутренний канал может разветвляться несколько раз, что соответствует количеству инжекционных отверстий, соответствующих впускному отверстию, при этом внутренний канал может заканчиваться на каждом из инжекционных отверстий. В примере, показанном на фиг. 2В, каждому впускному отверстию соответствует два инжекционных отверстия, поэтому каждый внутренний канал может дважды ответвляться от общего канала, при этом каждое из двух ответвлений заканчивается у инжекционного отверстия. Внутренние каналы одной общей лопатки могут проточно не сообщаться друг с другом, так что газ из первого внутреннего канала не смешивается с газом из второго внутреннего канала. Дополнительно или в качестве альтернативы, в некоторых примерах лопатка может быть полой и служить в качестве камеры повышенного давления для обеспечения требуемой подачи воздуха. Внутренняя конструкция лопатки может иметь уникальную геометрию, которая приводит к определенному состоянию оптимизированного потока, подаваемого во впускное отверстие, что приводит к повышенной эффективности сокращения площади проходного сечения горловины сопел.

Каждое отверстие из множества инжекционных отверстий может быть выполнено с возможностью инжектирования воздуха в радиальном направлении вовнутрь, под углом к центральной оси (пунктирная линия 299) рабочего колеса турбины, перпендикулярно плоскости тела лопатки. Это может привести к уменьшению площади проходного сечения горловины соплового кольца. Впускные отверстия могут быть расположены на любой стороне лопатки. Т.е., впускные отверстия могут быть расположены на стороне, показанной на фиг. 2В, или на противоположной стороне, как показано на фиг. 3. Можно использовать любую итерацию впускных отверстий, в зависимости от характеристик воздушного потока и требуемых характеристик горловины соплового аппарата. Более конкретно, пограничный слой воздуха может формироваться, когда воздух проходит через множество инжекционных отверстий и попадает в сопловое кольцо. Таким образом, пограничный слой может уменьшать открытие соплового кольца за счет создания гидравлического затвора, что может увеличивать ускорение выхлопного газа, протекающего к рабочей лопатке турбины, что, в свою очередь, может обеспечивать турбонагнетателю возможность реализовать более высокие значения наддува. Это может быть желательным при более низких нагрузках двигателя и/или более низкой мощности двигателя, когда выработка выхлопных газов может быть низкой и недостаточной для обеспечения требуемой величины наддува. Как также описано ниже, по мере увеличения количества воздуха, инжектируемого лопаткой, пограничный слой может также увеличиваться (например, проходить в направлении наружу от лопатки), дополнительно уменьшая площадь проходного сечения горловины соплового аппарата и увеличивая ускорение выхлопного газа. В некоторых примерах для применений может быть полезна разновидность настоящего примера, которая может имитировать турбину с подвижной стенкой, которая может иметь впускные отверстия, воздействующие на поверхности, перпендикулярные поверхности лопатки.

Указанное множество впускных отверстий может быть выполнено таким образом, что каждое впускное отверстие соответствует двум или большему количеству инжекционных отверстий из указанного множества инжекционных отверстий. В примере, показанном на фиг. 2В, каждое впускное отверстие из указанного множества впускных отверстий соответствует двум инжекционным отверстиям. В одном примере первая лопатка имеет четыре впускных отверстия, при этом каждое впускное отверстие проточно сообщается с двумя инжекционными отверстиями. Таким образом, первая лопатка имеет восемь инжекционных отверстий, разделенных на четыре группы и/или ряда, причем каждая группа проточно сообщается с другим отверстием из указанного множества впускных отверстий. Однако в альтернативных вариантах выполнения количество и форма инжекционных отверстий могут быть другими. Другой пример лопаток, имеющих форму, позволяющую регулировать площадь проходного сечения горловины сопел турбины, показан на фиг. 3.

Как описано ниже, система управления потоком для лопаток может содержать систему активации клапанов, которая может содержать множество клапанов, выполненных с возможностью индивидуальной регулировки воздушного потока к каждому из инжекционных отверстий, расположенных в общем

ряду.

На фиг. 3 показан альтернативный вариант 300 выполнения множества лопаток 210, показанных на фиг. 2А и 2В. Более конкретно, альтернативный вариант иллюстрирует другое расположение множества впускных отверстий 312 и множества инжекционных отверстий 314 лопатки 302. Более конкретно, количество впускных отверстий из указанного множества впускных отверстий может быть меньше количества инжекционных отверстий из указанного множества инжекционных отверстий, проиллюстрированных на фиг. 2В. В одном примере на каждую лопатку приходится только два впускных отверстия, как показано на фиг. 3, тогда как пример на фиг. 2В имеет четыре впускных отверстия на каждую лопатку.

Первое впускное отверстие 312А может пропускать воздух в первую группу и/или первый ряд инжекционных отверстий 314А. Второе впускное отверстие 312В может пропускать воздух во вторую группу и/или второй ряд инжекционных отверстий 314В. По существу, для регулирования воздушного потока только первому впускному отверстию и первой группе и/или первому ряду инжекционных отверстий может быть назначен клапан или другое подобное устройство системы управления потоком. Второй клапан системы управления потоком может быть назначен для регулирования воздушного потока только ко второму впускному отверстию и второй группе и/или второму ряду инжекционных отверстий. В одном примере клапаны являются клапанами системы управления потоком, показанной на фиг. 4. Клапаны могут активироваться между полностью закрытым и полностью открытым положениями. Таким образом, открытие большего количества клапанов может увеличивать количество воздуха, инжектируемого из лопатки. Дополнительно или в качестве альтернативы, клапаны могут активироваться в положения между полностью закрытым положением и полностью открытым положением. Таким образом, минимальный воздушный поток или его отсутствие может возникнуть в полностью закрытом положении, а максимальный воздушный поток может возникнуть в полностью открытом положении. Таким образом, положения между полностью открытым и полностью закрытым положениями могут обеспечивать меньший чем максимальный и больший чем минимальный воздушные потоки. Таким образом, клапаны могут обеспечивать непрерывно регулируемый воздушный поток через инжекционные отверстия. Клапаны могут работать независимо, так что воздушный поток через первый ряд инжекционных отверстий может отличаться от воздушного потока через второй ряд инжекционных отверстий. Например, первый ряд инжекционных отверстий может пропускать максимальный воздушный поток, а второй ряд инжекционных отверстий может пропускать воздушный поток, соответствующий частично открытому положению второго клапана. Благодаря такому выполнению, ряды отверстий могут активироваться постепенно (например, пропускать воздушный поток в турбину) по мере того, как уровень мощности двигателя уменьшается для удовлетворения потребности в наддуве.

Инжекционные отверстия первой группы могут быть не совмещены с инжекционными отверстиями второй группы. Т.е. инжекционные отверстия различных групп могут быть смещены относительно продольной оси, параллельной центральной оси 399 лопатки. В одном примере количество инжекционных отверстий в первой группе может быть больше, чем количество инжекционных отверстий во второй группе. Дополнительно или в качестве альтернативы, их количество может быть одинаковым, не выходя за пределы объема настоящего изобретения. Кроме того, несмотря на то, что на фиг. 3 показаны только два ряда инжекционных отверстий (и два соответствующих впускных отверстия для воздуха), в альтернативных вариантах выполнения на наружной поверхности каждой лопатки могут быть выполнены дополнительные ряды инжекционных отверстий (и соответствующие впускные отверстия для воздуха). Например, каждая лопатка может иметь три, четыре, пять и т.п. рядов инжекционных отверстий и соответствующее количество впускных отверстий для воздуха. Путем подачи воздуха к большему количеству впускных отверстий (например, через клапанную систему, описанную ниже) площадь проходного сечения горловины соплового аппарата может быть уменьшена постепенно.

В примере, показанном на фиг. 3, инжекционные отверстия выполнены с возможностью инжектирования воздуха в радиальном направлении наружу, которое может быть противоположным радиальному направлению вовнутрь, показанному на фиг. 2В. В любом случае, инжекционные отверстия могут по-прежнему создавать пограничный слой воздуха, который может обеспечивать уменьшение площади проходного сечения горловины, подобное описанному со ссылкой на фиг. 2В.

На фиг. 4 показан вариант 400 выполнения, содержащий двигатель 410, турбонагнетатель 420 и систему 430 управления потоком. Двигатель 410 и турбонагнетатель 420 могут использоваться аналогично двигателю 104 и турбонагнетателю 120, изображенным на фиг. 1. Как показано, турбонагнетатель 420 содержит турбину 421 и компрессор 424. Турбина может быть использована аналогично турбине 202, показанной на фиг. 2А.

Стрелка 442 указывает направление воздушного потока наддува из компрессора 424 к двигателю 410. Когда воздух сгорает, двигатель может выпускать в турбину выхлопные газы, показанные стрелкой 444. Дополнительно или в качестве альтернативы, между компрессором и двигателем способом, известным специалистам в данной области техники, может быть расположен охладитель 450 воздуха наддува. Охладитель воздуха наддува может охлаждать поступающий из компрессора сжатый воздух, который может охлаждать компоненты двигателя и обеспечивать большую выходную мощность двигателя. Во

время некоторых рабочих условий двигателя может быть желательным уменьшить площадь проходного сечения горловины сопел турбины, чтобы компенсировать производство выхлопных газов, недостаточное для удовлетворения потребности в наддуве. Чтобы уменьшить площадь проходного сечения горловины сопел турбины, через лопатки, расположенные в сопловом аппарате 426 между рабочим колесом 422 турбины и компрессором, может создаваться пограничный слой воздуха. Лопатки могут принимать воздух из источника воздуха через систему 430 управления потоком. В одном примере источником воздуха является компрессор 424. В другом примере источником воздуха может быть охладитель воздуха наддува. Источник воздуха может переключаться между компрессором и охладителем воздуха наддува в зависимости от условий работы. Например, воздушный поток через лопатки может образовывать пограничный слой и охлаждать турбину. Если требуется повышенная степень охлаждения, то в качестве источника воздуха может быть выбран охладитель воздуха наддува, а не компрессор, как показано стрелкой 452. Однако, если охлаждение нежелательно или если требуется меньшее охлаждение, тогда может быть выбран компрессор.

Стрелка 446 показывает воздух, протекающий из компрессора к системе управления потоком, где воздух проходит по меньшей мере через один частично открытый клапан и к лопаткам, как показано стрелкой 448. Клапан может быть открыт с помощью сигнала от контроллера 490, который можно использовать аналогично контроллеру 110, показанному на фиг. 1. Контроллер может посылать сигнал на исполнительный механизм клапана в ответ на состояние двигателя (например, уровень мощности двигателя и/или температуру перед турбиной).

Более конкретно, указанное множество впускных отверстий может принимать воздух из источника воздуха, когда один или более клапанов системы управления потоком находятся в по меньшей мере частично открытом положении. В некоторых примерах количество клапанов, установленных в системе управления потоком, может быть равно количеству указанного множества впускных отверстий. Таким образом, если имеется четыре впускных отверстия, то система управления потоком может содержать четыре клапана. В некоторых примерах один клапан может регулировать воздушный поток к одному впускному отверстию каждой лопатки. Продолжая приведенный выше пример, в котором каждая лопатка имеет четыре впускных отверстия, первый клапан системы управления потоком может регулировать воздушный поток к первому впускному отверстию лопаток, второй клапан системы управления потоком может регулировать воздушный поток ко второму впускному отверстию лопаток, третий клапан системы управления потоком может регулировать воздушный поток к третьему впускному отверстию лопаток, а четвертый клапан системы управления потоком может регулировать воздушный поток к четвертому впускному отверстию лопаток. Таким образом, если первый клапан находится в частично открытом положении, а второй, третий и четвертый клапаны находятся в полностью закрытых положениях, тогда воздух может протекать только через инжекционные отверстия, проточно сообщающиеся с первыми впускными отверстиями лопаток.

В некоторых вариантах выполнения, дополнительно или в качестве альтернативы, система управления потоком может содержать один единственный управляемый клапан для регулирования воздушного потока к каждому из впускных отверстий лопаток. По существу, этот единственный клапан может открываться постепенно, так что каждое инжекционное отверстие каждой лопатки инжектирует больше воздуха, тем самым увеличивая размер пограничного слоя и уменьшая площадь проходного сечения горловины. Таким образом, один единственный клапан также можно постепенно закрывать, так что каждое инжекционное отверстие каждой лопатки инжектирует меньше воздуха, тем самым уменьшая размер пограничного слоя и увеличивая площадь проходного сечения горловины сопла.

В некоторых вариантах выполнения, дополнительно или в качестве альтернативы, система управления потоком может содержать такую конфигурацию клапанов, что воздушный поток через каждую лопатку можно регулировать индивидуально. Таким образом, если лопатка из указанного множества лопаток имеет четыре впускных отверстия, то система управления потоком может содержать четыре клапана для регулирования воздушного потока через каждое из впускных отверстий лопатки, а система клапанов может содержать четыре клапана для каждой лопатки.

Дополнительно или в качестве альтернативы, система управления потоком может содержать комбинацию клапанов для измерения расхода воздуха из компрессора и охладителя воздуха наддува. В некоторых примерах требуемая температура воздуха может быть обеспечена для лопаток путем смешивания воздуха из компрессора и воздуха из охладителя воздуха наддува. Таким образом, когда температура перед турбиной больше или равна пороговому значению, в турбине может быть достигнута требуемая степень охлаждения. Как описано применительно к способу, проиллюстрированному на фиг. 5, система управления потоком может использоваться для регулирования воздушного потока от источника(ов) воздуха, чтобы регулировать температуру турбины или регулировать площадь проходного сечения горловины сопел турбины.

На фиг. 5 показан способ 500 регулирования воздушного потока через сопловые лопатки турбины для регулирования площади проходного сечения горловины соплового аппарата турбины для повышения эффективности турбоагрегата при одновременном удовлетворении потребности в наддуве для текущих рабочих условий двигателя. Инструкции для выполнения способа 500 могут выполняться контролл-

лером (например, контроллером 110, показанным на фиг. 1, или контроллером 490, показанным на фиг. 4), на основе команд, хранящихся в памяти контроллера, и в сочетании с сигналами, полученными от датчиков системы двигателя, таких как датчики, описанные выше со ссылкой на фиг. 1. Контроллер может использовать исполнительные механизмы системы двигателя для регулировки работы двигателя в соответствии со способами, описанными ниже, например, исполнительные механизмы, описанные выше со ссылкой на фиг. 4, и в сочетании с сопловыми лопатками турбоагрегата, такими как сопловые лопатки, показанные на фиг. 2 и/или 3.

Способ 500 начинают на этапе 502, который включает определение, оценку и/или измерение одного или более рабочих параметров двигателя. Указанный один или более рабочих параметров двигателя может включать, помимо прочего, одно или более из: числа оборотов двигателя, нагрузки двигателя, уровня мощности двигателя (например, ступени контроллера), температуры двигателя, массового расхода воздуха, наддува, расхода рециркуляции отработавших газов, давления выхлопных газов и соотношения воздух/топливо.

Способ 500 может перейти к этапу 504, который может включать определение того, соответствует ли уровень мощности двигателя (например, уровень нагрузки двигателя или ступень контроллера) полному уровню мощности двигателя. Уровень мощности двигателя может быть полным, если двигатель работает с максимальной выходной мощностью или если уровень мощности двигателя превышает пороговый уровень мощности. Дополнительно или в качестве альтернативы, уровень мощности двигателя может соответствовать положению дроссельной заслонки, при этом полностью открытое положение дроссельной заслонки может указывать на полный уровень мощности двигателя. Дополнительно или в качестве альтернативы, способ может дополнительно включать определение того, удовлетворяется ли потребность в наддуве. Потребность в наддуве может быть удовлетворена, если скорость компрессора совпадает со значением, связанным с конкретной скоростью компрессора, в соответствии, например, с рабочей картой компрессора. В еще одном примере уровень мощности двигателя может соответствовать полному (например, наивысшему) уровню, когда ступень контроллера двигателя (такого как локомотивный двигатель) находится в самом высоком доступном положении.

Если уровень мощности двигателя соответствует полному уровню мощности, то способ 500 может перейти к этапу 508, который может включать определение того, меньше ли температура перед турбиной пороговой температуры. Температура перед турбиной может быть оценена на основе обратной связи от датчика температуры, расположенного перед турбиной и за двигателем, так что выхлопные газы двигателя достигают датчика температуры перед турбиной. Датчик температуры может обеспечивать индикацию температуры поступающих в турбину выхлопных газов, которая может быть экстраполирована с помощью данных, хранящихся в справочной таблице, для оценки температуры турбины. Пороговая температура может быть, по существу, равна температуре турбины, при которой может произойти ухудшение характеристик. По существу, турбина может быть слишком горячей или стать слишком горячей, если температура перед турбиной выше пороговой температуры. Если температура перед турбиной ниже пороговой температуры, то способ 500 может перейти к этапу 510, который может включать поддержание текущих рабочих параметров двигателя. В одном примере это может также включать отказ от эксплуатации турбины с изменяемой геометрией. Таким образом, система управления потоком на этапе 512 блокирует воздушный поток к лопаткам (например, поток к воздушным отверстиям сопловых лопаток). Таким образом, пограничный слой воздуха в сопловом аппарате турбины между сопловыми лопатками не образуется.

Если уровень мощности двигателя меньше полного уровня мощности двигателя или если уровень мощности двигателя равен полному уровню мощности двигателя, но температура перед турбиной больше или равна пороговой температуре, то способ 500 может перейти к этапу 514, который может включать пропускание воздуха от источника воздуха к лопаткам для образования пограничного слоя воздуха на этапе 516. Это может включать регулировку одного или более клапанов системы управления потоком, по меньшей мере в частично открытое положение. Как описано выше, источником потока может быть компрессор или охладитель воздуха наддува. Дополнительно или в качестве альтернативы, воздух под высоким давлением может быть получен из другого устройства, такого как насос или деактивированный цилиндр. В некоторых примерах для подачи воздуха к лопаткам можно использовать несколько источников воздуха. Например, для подачи смеси неохлажденного и охлажденного сжатого воздуха на лопатки могут использоваться как охладитель воздуха наддува, так и компрессор. Дополнительно или в качестве альтернативы, в любой заданный момент времени только либо компрессор, либо охладитель воздуха наддува может подавать воздух к лопаткам.

Количество воздуха, проходящего к лопаткам, может зависеть от множества факторов, включая уровень мощности двигателя и температуру перед турбиной. В одном примере к лопаткам может поступать больше воздуха, если уровень мощности двигателя является более низким. Дополнительно или в качестве альтернативы, к лопаткам может поступать больше воздуха, по мере того как разница между температурой перед турбиной и пороговой температурой увеличивается. По существу, по мере увеличения уровня мощности двигателя или уменьшения разницы температуры между температурой перед турбиной и пороговой температурой к лопаткам может поступать меньше воздуха.

В некоторых примерах при более высоких уровнях мощности двигателя, таких как полный уровень

мощности двигателя, температура перед турбиной может быть выше пороговой температуры. В таком примере часть выхлопного газа может проходить в обход турбины, чтобы избежать помпажа. Таким образом, пограничный слой, образующийся при слишком высоких температурах перед турбиной, может быть компенсирован путем обхода выхлопного газа вокруг турбины через перепускной клапан или другое подобное устройство.

Как описано выше, клапаны системы управления потоком могут быть выполнены с возможностью приведения в действие в полностью открытое положение, полностью закрытое положение или положение между ними. Полностью открытое положение обеспечивает 100%-ый воздушный поток, а полностью закрытое положение блокирует воздушный поток (например, допускает 0%-ый воздушный поток). Таким образом, положение клапана между полностью открытым и полностью закрытым положениями может обеспечивать воздушный поток от 0 до 100%. Это может обеспечивать лучшее управление эффективной площадью проходного сечения горловины, создаваемой в турбине, позволяя контроллеру более точно регулировать величину обеспечиваемого наддува.

Способ 500 может перейти к этапу 518, который может включать определение того, не изменяется ли площадь проходного сечения турбины. Если площадь проходного сечения турбины не изменяется, то способ 500 может перейти к этапу 520, чтобы прекратить подачу воздуха к лопаткам и активировать индикаторную лампу на этапе 522. Индикаторная лампа может предупреждать оператора о том, что произошло ухудшение работоспособности турбины. Это ухудшение может включать заклинивание клапана или другого элемента системы управления потоком и/или засорение инжекционных отверстий или других отверстий лопаток. Если площадь проходного сечения турбины изменяется, то воздух проходит через лопатки и образует пограничный слой, и способ 500 может перейти к этапу 524, чтобы определить, снижается ли уровень мощности двигателя. Способ может дополнительно включать определение того, увеличивается ли разница между температурой перед турбиной и пороговой температурой. Если уровень мощности двигателя уменьшается или если эта разница увеличивается, то способ 500 может перейти к этапу 526 для подачи большего количества воздуха от источника воздуха к лопаткам для увеличения размера пограничного слоя и/или для увеличения охлаждения. Если размер пограничного слоя увеличивается, то при меньшем объеме выхлопных газов может быть получен больший наддув. Кроме того, по мере того, как больше воздуха проходит от лопаток в сопловой аппарат турбины, турбина может охлаждаться.

Если уровень мощности двигателя не уменьшается или если указанная разница не увеличивается, то способ 500 может перейти к этапу 528, чтобы определить, увеличивается ли уровень мощности двигателя или уменьшается ли указанная разница. Если уровень мощности двигателя увеличивается или если указанная разница уменьшается, то способ 500 может перейти к этапу 530 для подачи меньшего количества воздуха от источника воздуха к лопаткам. Это может уменьшить размер пограничного слоя и уменьшить охлаждение лопаток.

Если уровень мощности двигателя не увеличивается или если указанная разница не уменьшается, то способ 500 может перейти к этапу 532, где уровень мощности двигателя является постоянным. В способе 500 можно перейти к этапу 534, чтобы поддерживать текущий воздушный поток к лопаткам, чтобы пограничный слой и охлаждение не изменялись.

На фиг. 6 проиллюстрирована последовательность 600 этапов работы двигателя, иллюстрирующая одно или более рабочих условий двигателя (например, двигателя 104 показанного на фиг. 1), выполняющего способ регулирования эффективной площади проходного сечения горловины турбины (например, способ 500, проиллюстрированный на фиг. 5). График 610 иллюстрирует уровень мощности двигателя, который может быть аналогичен нагрузке двигателя и/или ступени контроллера двигателя. График 620 иллюстрирует текущий наддув, обеспечиваемый турбонагнетателем, а график 622, показанный пунктирными линиями, иллюстрирует потребность в наддуве. В некоторых случаях график 622 может отслеживать график 620, и поэтому два графика могут перекрываться, тем самым показывая эквивалентность двух графиков. График 630 иллюстрирует ряд клапанов системы управления потоком (например, системы 430 управления потоком, показанной на фиг. 4) в по меньшей мере частично открытом положении. Таким образом, график 630 соответствует количеству воздушного потока, подаваемого на сопловые лопатки (например, больший воздушный поток обеспечивается, когда открывается большее количество клапанов). Однако в альтернативных вариантах выполнения может использоваться другой тип системы управления потоком для регулировки (например, непрерывной регулировки в зависимости от условий работы двигателя) количества воздуха, подаваемого на сопловые лопатки. График 640 показывает эффективную площадь проходного сечения горловины турбины. Время увеличивается слева направо.

До момента времени t_1 уровень мощности двигателя относительно высок (график 610). Например, уровень мощности двигателя до момента времени t_1 может представлять состояние полной нагрузки. Потребность в наддуве также относительно высока (график 622). Текущий наддув (график 620) равен потребности в наддуве без регулировки эффективной площади проходного сечения горловины (график 640) турбины. По существу, выработка выхлопного газа до момента времени t_1 достаточно для удовлетворения потребности в наддуве без открытия клапанов системы регулирования потока. Кроме того, сопловое кольцо, содержащее сопловые лопатки, может быть оптимизировано для работы с полной нагрузкой (например,

лопатки могут быть расположены на сопловой лопатке для повышения эффективности при работе с полной нагрузкой, когда воздушный поток через турбину относительно велик). Таким образом, открыты нулевые значения (график 630). В момент времени t_1 нагрузка на двигатель начинает уменьшаться.

Между моментами времени t_1 и t_2 уровень мощности двигателя продолжает уменьшаться. Потребность в наддуве также уменьшается. Однако эффективность турбины при текущем более низком уровне выработки выхлопных газов может быть снижена и может быть не в состоянии удовлетворить потребность в наддуве, и в результате текущий наддув падает ниже потребности наддува. В момент времени t_2 один клапан системы управления потоком перемещается в по меньшей мере частично открытое положение. В примере, показанном на фиг. 6, один клапан перемещается в полностью открытое положение.

Между моментами времени t_2 и t_3 воздух может проходить через впускные отверстия лопаток, соответствующих открытому клапану. По существу, инжекционные отверстия, проточно сообщающиеся с впускными отверстиями для воздуха, могут начать пропускать воздух рядом с сопловым аппаратом турбины и образовывать пограничный слой воздуха. Пограничный слой воздуха может уменьшить эффективную площадь проходного сечения горловины сопел турбины, что приведет к усилению наддува, обеспечиваемого текущим уровнем производства выхлопных газов. Таким образом, текущий наддув увеличивается в сторону увеличения потребности наддува. Тем не менее, текущий наддув по-прежнему ниже потребности наддува. В момент времени t_3 открывается второй клапан, так что два клапана находятся в открытых положениях. Второй клапан может открываться в ответ на продолжающееся снижение уровня мощности двигателя.

Между моментами времени t_3 и t_4 воздух может проходить через впускные отверстия лопаток, соответствующих двум открытым клапанам, включая первый клапан и второй клапан. По существу, инжекционные отверстия, проточно сообщающиеся с впускными отверстиями для воздуха, могут пропускать воздух рядом с сопловым аппаратом турбины и увеличивать размер пограничного слоя воздуха. По мере увеличения размера пограничного слоя воздуха эффективная площадь проходного сечения горловины сопел турбины уменьшается, тем самым ускоряя поток выхлопных газов к лопатке турбины и увеличивая наддув. Текущий наддув увеличивается в сторону увеличения потребности наддува и сравнивается с ним. В момент времени t_4 уровень мощности двигателя остается постоянным.

Между моментами времени t_4 и t_5 уровень мощности двигателя начинает увеличиваться, тем самым увеличивая потребность в наддуве и текущий наддув. Однако по мере увеличения уровня мощности двигателя количество производимого выхлопного газа также может увеличиваться, что приводит к меньшей потребности в усилении эффекта выхлопного газа за счет уменьшения эффективной площади проходного сечения горловины сопел. Таким образом, количество открытых клапанов уменьшается с двух до одного, а эффективная площадь проходного сечения горловины сопел увеличивается, чтобы предотвратить слишком большое производство наддува. В момент времени t_5 уровень мощности двигателя продолжает увеличиваться.

После момента времени t_5 уровень мощности двигателя продолжает увеличиваться, а выработка выхлопных газов достигает величины, при которой пограничный слой воздуха больше не нужен. Таким образом, оставшийся клапан перемещается в закрытое положение. Пограничный слой воздуха разрушается, а эффективная площадь проходного сечения горловины сопел турбины увеличивается до полной площади.

На фиг. 7А и 7В показаны первый и второй примеры 700 и 750, соответственно, пограничных слоев воздуха разного размера, образованных воздушным потоком через неподвижные сопловые лопатки турбины и из них (таких как лопатки, показанные на фиг. 2 и/или 3). Более конкретно, в первом примере показан пограничный слой меньшего размера, а во втором примере - пограничный слой большего размера. Каждый из примеров содержит первую лопатку 702, направляющую воздух 722 ко второй лопатке 704. Воздух может протекать от инжекционных отверстий 706 первой лопатки ко второй лопатке, где направление воздушного потока наклонено к плоскости второй лопатки и перпендикулярно плоскости первой лопатки. Воздух может образовывать пограничный слой, при этом наружная граница пограничного слоя показана пунктирной линией 708. Двухнаправленная стрелка 712 показывает расстояние между пограничным слоем и второй лопаткой первого примера. Двухнаправленная стрелка 714 показывает расстояние между пограничным слоем и второй лопаткой второго примера. Как показано, расстояние между второй лопаткой и пограничным слоем в первом примере больше, чем расстояние между второй лопаткой и пограничным слоем во втором примере. В частности, двухнаправленная стрелка в первом примере больше двухнаправленной стрелки во втором примере из-за меньшего воздушного потока в первом примере по сравнению со вторым примером. В результате выхлопной газ 724, протекающий через пространство между второй лопаткой и пограничным слоем в первом примере, может ускоряться меньше, чем выхлопной газ, протекающий через пространство между второй лопаткой и пограничным слоем во втором примере. Таким образом, второй пример может обеспечивать больший наддув, чем первый пример, с равным объемом выхлопного газа. Таким образом, геометрию соплового аппарата турбины можно регулировать только с помощью воздушного потока через лопатки, а не путем механической регулировки положения лопаток.

На фиг. 8А показан вариант 800 выполнения множества лопаток 810. Указанное множество лопаток

810 может быть аналогично множеству лопаток 210, изображенному на фиг. 2А, и, таким образом, может быть соединено с сопловым кольцом турбины, иметь форму лопасти или капли, быть неподвижным и т.д. Указанное множество лопаток 810 может иметь множество впускных отверстий 812, выполненных с возможностью направления газа, такого как воздух, к множеству инжекционных отверстий 814. Указанное множество инжекционных отверстий 814 может быть выполнено с возможностью регулирования эффективной площади проходного сечения горловины сопел турбины на основании по меньшей мере уровня мощности двигателя и выработки выхлопных газов.

Указанное множество инжекционных отверстий 814 может содержать инжекционное отверстие 816, а остальные инжекционные отверстия указанного множества инжекционных отверстий 814 могут быть, по существу, идентичны инжекционному отверстию 816. Инжекционное отверстие 816 может быть единственным отверстием, проходящим в направлении, перпендикулярном центральной оси 899 первой лопатки 815 указанного множества лопаток 810. Инжекционное отверстие 816 может представлять собой щель или отверстие другого типа, которое является относительно длинным (например, по ширине лопатки) и узким (например, по высоте лопатки). В одном примере инжекционное отверстие может иметь прямоугольную форму. По существу, углы инжекционного отверстия 816 могут иметь величину 90°. Дополнительно или в качестве альтернативы, инжекционное отверстие 816 может иметь криволинейные и/или закругленные углы, которые могут увеличивать проходящий через него воздушный поток. Инжекционное отверстие 816 имеет ширину, которая проходит перпендикулярно центральной оси 899, и высоту, которая проходит параллельно центральной оси 899. Ширина инжекционного отверстия 816 больше, чем высота инжекционного отверстия 816. В неограничивающем примере ширина может быть по меньшей мере вдвое больше высоты. В другом неограничивающем примере ширина может быть по меньшей мере в пять раз больше высоты. Инжекционное отверстие 816 может проходить по большей части наружной поверхности 803 каждой лопатки из указанного множества лопаток 810, например, проходить по меньшей мере по 75% ширины наружной поверхности. Более конкретно, инжекционное отверстие проходит от первой стороны 804, где расположено множество впускных отверстий 812, до второй стороны 805.

Каждое инжекционное отверстие, такое как инжекционное отверстие 816, может принимать воздух из одного отверстия множества впускных отверстий 812. Таким образом, каждое инжекционное отверстие проточно сообщается только с одним впускным отверстием множества впускных отверстий. Дополнительно или в качестве альтернативы, в одном примере каждое впускное отверстие указанного множества впускных отверстий 812 проточно сообщается только с одним инжекционным отверстием указанного множества инжекционных отверстий 814. В одном варианте выполнения каждое впускное отверстие может управляться индивидуально с помощью клапана или другого механизма, так что воздушный поток через каждое инжекционное отверстие можно регулировать более точно. В таком примере эффективная площадь проходного сечения горловины может быть точно отрегулирована на точную площадь проходного сечения горловины. Щелевидная форма указанного множества инжекционных отверстий 814 может обеспечивать более равномерный воздушный поток, чем круглые инжекционные отверстия 314, изображенные на фиг. 3. Т.е. с помощью инжекционных отверстий 814 можно избежать разрывов и/или прерываний, которые могут возникнуть между инжекционными отверстиями 314.

Дополнительно или в качестве альтернативы, в одном примере воздушным потоком через множество впускных отверстий 812 для одной лопатки можно управлять независимо относительно других лопаток из указанного множества лопаток 810. Однако воздушный поток к одной лопатке может распределяться на каждое отверстие указанного множества впускных отверстий 812 без управления воздушным потоком через отдельные впускные отверстия указанного множества впускных отверстий 812 одной лопатки. Таким образом, если лопатка принимает воздух, то ее впускные отверстия могут пропускать относительно равное количество воздуха к каждому из инжекционных отверстий, связанных с этой лопаткой. Таким образом можно снизить стоимость изготовления соплового аппарата турбины.

Более конкретно, множество клапанов 802 может быть выполнено с возможностью регулирования воздушного потока к каждому отверстию указанного множества инжекционных отверстий 814. Положения указанного множества клапанов 802 могут быть отрегулированы в ответ на сигнал, отправленный от контроллера (например, контроллера 110, показанного на фиг. 1). В одном примере контроллер может посылать разные сигналы исполнительным механизмам множества клапанов 802, так что по меньшей мере два клапана указанного множества клапанов 802 находятся в разных положениях, тем самым обеспечивая разным потокам воздуха возможность проходить через соответствующие впускные отверстия для обеспечения более точной регулировки площади проходного сечения горловины соплового аппарата.

В одном примере первый клапан 802А указанного множества клапанов 802 регулирует воздушный поток только к первому ряду 820А указанного множества инжекционных отверстий 814. Таким образом, второй клапан 802В может регулировать воздушный поток только ко второму ряду 820В указанного множества инжекционных отверстий 814. Третий клапан 802С может регулировать воздушный поток только к третьему ряду 820С. Четвертый клапан 802D может регулировать воздушный поток только к четвертому ряду 820D указанного множества инжекционных отверстий 814. Как проиллюстрировано в варианте выполнения, изображенном на фиг. 8А, каждый ряд содержит одно инжекционное отверстие

прямоугольной формы, проходящее от первой продольной стороны 804 до второй продольной стороны 805 первой лопатки 805 в направлении, перпендикулярном центральной оси 899. В некоторых вариантах выполнения каждый ряд может содержать разное количество инжекционных отверстий, при этом некоторые ряды могут содержать сочетание инжекционных отверстий различной формы. Регулируя количество и форму инжекционных отверстий, расположенных в одном ряду, можно более точно регулировать площадь проходного сечения горловины соплового аппарата.

Каждое инжекционное отверстие указанного множества инжекционных отверстий 814 может отстоять от соседнего инжекционного отверстия на подходящую величину. Например, промежуток 822 между первым рядом 820А и вторым рядом 820В может иметь высоту (проходящую в направлении, параллельном центральной оси), по меньшей мере равную высоте инжекционного отверстия 816. В качестве неограничивающего примера, промежуток 822 может иметь высоту, вдвое превышающую высоту инжекционного отверстия. Каждый промежуток между соседними рядами может иметь одинаковую высоту, или же разные промежутки могут иметь разную высоту.

Указанное множество инжекционных отверстий, показанное на фиг. 8А, может содержать инжекционные отверстия, которые имеют одинаковый размер и форму там, где отверстия проходят через наружную поверхность тела лопатки. Кроме того, наружная поверхность, окружающая каждое инжекционное отверстие, может быть, по существу, гладкой и/или плоской. Эта конфигурация может привести к тому, что воздух будет инжектироваться через каждое соответствующее отверстие одинаковым образом (например, с одинаковым давлением или скоростью потока) и/или воздух будет инжектироваться в относительно прямом направлении. Однако возможны и другие конфигурации, не выходящие за пределы объема этого изобретения. Например, инжекционные отверстия могут быть выполнены с одним или более устройствами направления воздуха, которые могут предпочтительно направлять воздух вверх, вниз или в одну сторону. В качестве примера, одно или более инжекционных отверстий могут содержать покрытие, напоминающее жалюзи, которое проходит над верхней или нижней частью инжекционного отверстия. В другом примере, дополнительно или в качестве альтернативы, одно или более инжекционных отверстий могут изменяться по высоте по мере того, как инжекционное отверстие проходит через наружную поверхность тела лопатки. Например, инжекционное отверстие может иметь первую высоту на первой стороне инжекционного отверстия (например, рядом с его соответствующим впускным отверстием) и вторую высоту на второй стороне инжекционного отверстия, причем высота постепенно увеличивается или уменьшается через инжекционное отверстие от первой высоты до второй высоты.

Таким образом, путем выполнения инжекционных отверстий в виде щелей, а не круглых отверстий, можно инжектировать большее количество воздуха. Благодаря выполнению одной длинной щели, а не ряда инжекционных отверстий меньшего размера, сложность каждой лопатки может быть уменьшена путем включения только одной линии подачи на щель, а не двух, четырех или более линий подачи на ряд инжекционных отверстий.

На фиг. 8В показан вариант 820 выполнения множества лопаток 830. Вариант 820 выполнения может отличаться от варианта 800 выполнения тем, что он содержит множество первых инжекционных отверстий 832, идентичных множеству инжекционных отверстий 814, показанному на фиг. 8А, и второе множество инжекционных отверстий 834, идентичных множеству инжекционных отверстий 314, показанных на фиг. 3. По существу, каждая лопатка указанного множества лопаток 830 может иметь инжекционные отверстия разной формы, при этом первое множество инжекционных отверстий 832 имеет прямоугольную форму, а второе множество инжекционных отверстий 834 имеет круглую форму. Первое и второе множества инжекционных отверстий 832, 834 могут чередоваться друг с другом вдоль центральной оси 899 лопатки указанного множества лопаток 830 относительно множества впускных отверстий 836. Т.е., первое впускное отверстие множества впускных отверстий проточно сообщается только с первым инжекционным отверстием множества первых инжекционных отверстий 832, при этом второе впускное отверстие, следующее за первым впускным отверстием, проточно сообщается только со вторым инжекционным отверстием указанного множества вторых инжекционных отверстий 834, при этом инжекционные отверстия идентичной формы разделены инжекционным отверстием другой формы. Дополнительно или в качестве альтернативы, инжекционные отверстия могут и не чередоваться вдоль центральной оси 899.

В одном варианте выполнения, дополнительно или в качестве альтернативы, указанное множество первых и вторых инжекционных отверстий может проточно сообщаться с одним впускным отверстием множества впускных отверстий. Таким образом, если одно единственное впускное отверстие проточно сообщается с рядом инжекционных отверстий, проходящих в направлении, перпендикулярном центральной оси, то этот ряд может содержать инжекционные отверстия по меньшей мере двух разных форм, включая щелевидную и/или прямоугольную форму и круглую форму. Формы инжекционных отверстий могут чередоваться вдоль ряда, так что инжекционные отверстия одинаковой формы могут быть разделены инжекционным отверстием другой формы. Следует понимать, что могут использоваться формы, отличные от прямоугольной и круглой. Другой пример формы может включать треугольники, трапеции, квадраты, ромбы, эллипсы, пятиугольники, шестиугольники, звезды с различным количеством вершин, другие многоугольные формы и т.п.

Более конкретно, первая лопатка 835 указанного множества лопаток 830 может содержать первый ряд

840А, содержащий инжекционное отверстие указанного множества первых инжекционных отверстий 832. Первая лопатка 835 также содержит второй ряд 840В, смежный с первым рядом 840А, содержащий множество инжекционных отверстий указанного множества вторых инжекционных отверстий 834. Первая лопатка 835 дополнительно содержит третий ряд 840С, смежный со вторым рядом 840В, содержащий инжекционное отверстие указанного множества первых инжекционных отверстий 832. Первая лопатка 835 дополнительно содержит четвертый ряд 840D, смежный с третьим рядом 840С, содержащий множество инжекционных отверстий указанного множества вторых инжекционных отверстий 834. Каждая лопатка указанного множества лопаток 830 может быть, по существу, идентична первой лопатке 835. Дополнительно или в качестве альтернативы, в примере на фиг. 8В вторая лопатка 837 указанного множества лопаток 830 отличается от первой лопатки 835. Вторая лопатка 837 содержит первый ряд 841А, второй ряд 841В, третий ряд 841С и четвертый ряд 841D. Каждый ряд из первого, второго, третьего и четвертого рядов 841А-D содержит различное количество и расположение множества первых инжекционных отверстий 832 и вторых инжекционных отверстий 834. Например, первый ряд 841А содержит одно отверстие указанного множества первых инжекционных отверстий 832 рядом с первой продольной стороной 822 и множество вторых инжекционных отверстий 834 рядом со второй продольной стороной 824. Таким образом, инжекционные отверстия нескольких типов (например, форм и размеров) могут быть перемежаться вдоль одного ряда. Таким образом могут быть реализованы преимущества инжекционных отверстий щелевидной формы (например, прямоугольной формы) и инжекционных отверстий круглой форме.

В одном примере воздушный поток к указанному множеству первых инжекционных отверстий 832 может управляться независимо относительно воздушного потока к указанному множеству вторых инжекционных отверстий 834. В одном примере клапан может управлять воздушным потоком к соседним инжекционным отверстиям указанного множества первых и вторых инжекционных отверстий 832, 834. В таком примере соседние инжекционные отверстия могут составлять группу инжекционных отверстий, при этом один единственный клапан регулирует воздушный поток к группе инжекционных отверстий.

На фиг. 8С показан вариант 850 выполнения множества лопаток 860, содержащего первую лопатку 865 и вторую лопатку 867. Первая лопатка 865 и вторая лопатка 867 в примере, показанном на фиг. 8С, отличаются друг от друга. Однако следует понимать, что первая лопатка 865 и вторая лопатка 867 в других примерах могут быть идентичными. Дополнительно или в качестве альтернативы, лопатки 860 может содержать лопатки в дополнение к первой и второй лопаткам, при этом другие лопатки из указанного множества лопаток 860 могут быть идентичны первой лопатке 865 или второй лопатке 867.

Первая лопатка 865 содержит первое множество инжекционных отверстий 862 и второе множество инжекционных отверстий 864. Первое множество инжекционных отверстий 862 может быть расположено вдоль первого ряда 870А и третьего ряда 870С. Второе множество инжекционных отверстий 864 может быть расположено вдоль второго ряда 870В и четвертого ряда 870D. Отверстия первого ряда 870А, второго ряда 870В, третьего ряда 870С и четвертого ряда 870D могут принимать воздух из различных впускных отверстий указанного множества впускных отверстий 866, расположенных на длинной стороне 865А первой лопатки 865. Первое и второе множество инжекционных отверстий 862 и 864 расположены на наружной поверхности 865В, которая проходит от длинной стороны 865А, которая является первой длинной стороной 865А, до второй длинной стороны, противоположной первой. Первое множество инжекционных отверстий 862 может содержать отверстия щелевидной формы, форма которых аналогична отверстиям щелевидной формы, показанным на фиг. 8А и 8В. Однако в примере, изображенном на фиг. 8С, первое множество инжекционных отверстий 862 расположено под углом, меньшим или большим 90°, так что инжекционные отверстия щелевидной формы отдельных рядов расположены под углом друг к другу или друг от друга. Другими словами, инжекционные отверстия первого множества инжекционных отверстий 862 не параллельны друг другу. Как показано, первый ряд 870А содержит только одно инжекционное отверстие щелевидной формы, а третий ряд 870С содержит только одно инжекционное отверстие щелевидной формы. Инжекционные отверстия щелевидной формы проходят навстречу друг другу на первых крайних концах, а на вторых крайних концах - от друг друга. Второе множество инжекционных отверстий 864, расположенных во втором ряду 870В, расположено проксимально ко вторым крайним концам щелевидных инжекционных отверстий.

Как проиллюстрировано, второе множество инжекционных отверстий 864 может иметь множество форм, включая круг 864А, треугольник 864В, пятиугольник 864С, шеврон 864D, трапецию 864Е, ромб 864F, звезду 864G, бублик 864Н и плюс 864I. Второе множество инжекционных отверстий 864 может содержать любое количество форм из множества различных форм, так что более чем одна из каждой из форм может быть расположена внутри одного ряда или поперек множества рядов.

Во втором ряду 870В и четвертом ряду 870D второе множество инжекционных отверстий 864 расположено вдоль отдельных осей в пределах одного ряда, так что второе множество инжекционных отверстий 864, расположенное во втором ряду 870В, не совмещено вдоль одной оси. Аналогично, второе множество инжекционных отверстий 864, расположенных в четвертом ряду 870D, не совмещено вдоль одной оси.

Вторая лопатка 867 имеет другое расположение первого множества инжекционных отверстий 862 и второго множества инжекционных отверстий 864. Например, первый ряд 871А второй лопатки 867 со-

держит комбинацию инжекционного отверстия щелевидной формы первого множества инжекционных отверстий 862 и инжекционных отверстий 864А круглой формы, а также инжекционного отверстия 864G звездообразной формы второго множества инжекционных отверстий. Второй ряд 871В второй лопатки 867 содержит инжекционное отверстие щелевидной формы первого множества инжекционных отверстий 862, и содержит инжекционные отверстия 864А круглой формы и инжекционное отверстие 864Н в форме бублика второго множества инжекционных отверстий 864. Инжекционное отверстие щелевидной формы, расположенное во втором ряду, ориентировано в направлении, параллельном инжекционному отверстию, расположенному в первом ряду, тогда как каждое из них наклонено относительно центральной оси 899 под углом, отличным от 90°. Третий ряд 871С содержит только одно инжекционное отверстие щелевидной формы, ориентированное точно перпендикулярно центральной оси 899. Четвертый ряд 871D указанного второго множества инжекционных отверстий 864 содержит только инжекционные отверстия круглой формы и инжекционное отверстие 864I в форме плюса.

В одном примере вариант выполнения, показанный на фиг. 8С, иллюстрирует лопатки турбины, которые могут содержать множество инжекционных отверстий, выполненных с возможностью пропуска воздуха, чтобы создавать пограничный слой воздуха в горловине турбины для регулирования эффективной площади проходного сечения горловины. Указанное множество инжекционных отверстий может иметь множество различных форм и ориентаций для достижения широкого диапазона эффективных площадей, так что, несмотря на недостаточное производство выхлопных газов, могут быть реализованы требуемые рабочие параметры турбины.

Таким образом, геометрия турбины может регулироваться с помощью системы управления потоком, расположенной вне (например, снаружи корпуса) турбины, при этом система управления потоком может регулировать количество и/или скорость воздушного потока, подаваемого на множество лопаток, расположенных на сопловом кольце в турбине, и из инжекционных отверстий указанного множества лопаток. По мере того как лопатки вводят больше воздуха в сопловое кольцо, площадь проходного сечения горловины соплового аппарата уменьшается, тем самым изменяя геометрию турбины. Благодаря регулировке геометрии турбины без размещенных в ней движущихся частей ремонт и техническое обслуживание турбины и лопаток могут быть более простыми и менее дорогостоящими. Кроме того, изготовление турбины может быть менее затратным, чем сопоставимые турбины с подвижными бандажами и/или лопатками. Технический эффект поддержания лопаток в неподвижном состоянии и регулирования площади проходного сечения соплового аппарата турбины за счет воздушного потока из лопаток заключается в уменьшении сложности изготовления турбины при обеспечении большей степени управления геометрией турбины с помощью внешней системы управления потоком.

В одном варианте выполнения система для двигателя локомотива содержит турбину турбонагнетателя, содержащую сопловое кольцо, причем сопловое кольцо содержит множество неподвижных лопаток, каждая из которых содержит множество инжекционных отверстий, расположенных на наружной поверхности лопатки, и систему подачи газа для подачи изменяемого потока газа к указанному множеству инжекционных отверстий и из них. Первый пример системы дополнительно включает то, что система подачи газа выполнена с возможностью подачи изменяемого потока газа в зависимости от рабочих условий двигателя. Второй пример системы, необязательно включающий в себя первый пример, дополнительно включает систему подачи газа, содержащую клапанную систему с электронным управлением, проточно сообщающуюся с указанным множеством инжекционных отверстий и выполненную с возможностью регулирования количества воздуха, подаваемого через указанное множество инжекционных отверстий, на основании рабочих условий двигателя. Третий пример системы, необязательно включающий в себя первый и/или второй примеры, дополнительно включает то, что рабочим условием является уровень мощности двигателя. Четвертый пример системы, необязательно включающий в себя один или более примеров с первого по третий, дополнительно включает то, что множество инжекционных отверстий разделено на группы, включающие по меньшей мере первую группу инжекционных отверстий и вторую группу инжекционных отверстий. Пятый пример системы, необязательно включающий в себя один или более примеров с первого по четвертый, дополнительно включает то, что система подачи газа содержит первый клапан, выполненный с возможностью регулирования воздушного потока к первой группе инжекционных отверстий, и второй клапан, выполненный с возможностью регулирования воздушного потока ко второй группе инжекционных отверстий. Шестой пример системы, необязательно включающий один или более примеров с первого по пятый, дополнительно включает центральную ось первой неподвижной лопатки из указанного множества неподвижных лопаток, при этом центральная ось определяет длинную ось первой неподвижной лопатки, расположена под углом относительно центральных осей неподвижных лопаток, расположенных рядом с неподвижной лопаткой на сопловом кольце. Седьмой пример системы, необязательно включающий один или более примеров с первого по шестой, дополнительно включает то, что неподвижные лопатки являются закрепленными и неперемещаемыми.

В другом варианте выполнения, способ для двигателя локомотива включает регулировку количества воздуха, инжектируемого из множества инжекционных отверстий, расположенных на наружной поверхности лопатки соплового кольца турбины, для регулирования пограничного слоя на наружной поверхности и открытия горловины соплового кольца в зависимости от рабочего параметра двигателя.

Первый пример способа дополнительно включает регулировку количества воздуха, выполняемую при поддержании лопатки на сопловом кольце турбины неподвижной. Второй пример способа, необязательно включающий в себя первый пример, дополнительно включает то, что рабочим параметром является уровень мощности двигателя, и дополнительно включающий, по мере уменьшения уровня мощности двигателя, постепенное увеличение количества инжектируемого воздуха путем увеличения количества инжекционных отверстий множества отверстий для воздуха, через которые инжектируется воздух. Третий пример способа, необязательно включающий в себя первый и/или второй примеры, дополнительно включает то, что постепенное увеличение количества инжектируемого воздуха включает увеличение количества рядов множества инжекционных отверстий, через которые инжектируется воздух. Четвертый пример способа, необязательно включающий в себя один или более примеров с первого по третий, дополнительно включает то, что регулирование количества инжектируемого воздуха дополнительно включает приведение в действие клапанной системы, расположенной снаружи турбины, содержащей сопловое кольцо, чтобы обеспечить возможность протекания воздуха из компрессора к лопатке и увеличения количества открытых клапанов клапанной системы для увеличения количества инжектируемого воздуха, когда компрессор приводится во вращение турбиной. Пятый пример способа, необязательно включающий один или более примеров с первого по четвертый, дополнительно включает то, что клапанная система содержит ряд клапанов, причем первый клапан ряда клапанов регулирует воздушный поток через первый ряд инжекционных отверстий лопатки, а второй клапан ряда клапанов регулирует воздушный поток через второй ряд инжекционных отверстий лопатки. Шестой пример способа, необязательно включающий один или более примеров с первого по пятый, дополнительно включает то, что регулировка количества инжектируемого воздуха включает увеличение количества инжектируемого воздуха для увеличения пограничного слоя и уменьшения открытия горловины соплового кольца в ответ на уменьшение нагрузки двигателя и/или на увеличение температуры перед турбиной, и при этом регулировка количества инжектируемого воздуха включает уменьшение количества инжектируемого воздуха для уменьшения пограничного слоя и увеличения открытия горловины соплового кольца в ответ на увеличение нагрузки двигателя и/или на снижение температуры перед турбиной.

В качестве еще одного варианта выполнения, система для двигателя локомотива содержит турбо-нагнетатель, содержащий компрессор, приводимый в действие турбиной, которая содержит сопловое кольцо с множеством установленных на нем неподвижных лопаток, каждая из которых имеет множество рядов воздушных каналов внутри лопатки, при этом каждый воздушный канал заканчивается по меньшей мере у одного инжекционного отверстия, расположенного на наружной поверхности лопатки, систему управления воздушным потоком, проточно сообщаемую с компрессором и со множеством рядов воздушных каналов каждой лопатки, и контроллер, содержащий машиночитаемые инструкции, хранящиеся в памяти, которые при выполнении во время работы двигателя дают команду контроллеру активировать систему управления воздушным потоком для регулировки, для каждой лопатки, количества рядов из нескольких рядов воздушных каналов, принимающих воздух из компрессора через систему управления воздушным потоком при изменении уровня мощности двигателя. Первый пример системы дополнительно содержит инструкции, которые дополнительно дают команду контроллеру активировать систему управления воздушным потоком, чтобы блокировать воздушный поток из компрессора к воздушным каналам, когда уровень мощности двигателя превышает пороговый уровень мощности. Второй пример системы, необязательно включающий в себя первый пример, дополнительно включает то, что по меньшей мере одно инжекционное отверстие представляет собой множество инжекционных отверстий, причем каждый воздушный канал проточно сообщается с множеством инжекционных отверстий, и при этом соседние воздушные каналы нескольких рядов воздушных каналов проточно не сообщаются друг с другом. Третий пример системы, необязательно включающий в себя первый и/или второй примеры, дополнительно включает то, что инструкции дополнительно дают команду контроллеру увеличивать количество рядов нескольких рядов воздушных каналов, принимающих воздух из компрессора через систему управления воздушным потоком в ответ на повышение температуры газа перед турбиной выше пороговой температуры. Четвертый пример системы, необязательно включающий один или более примеров с первого по третий, дополнительно включает систему управления воздушным потоком, содержащую клапанную систему, причем клапанная система содержит клапан для каждого воздушного канала лопатки, и при этом только клапаны клапанной системы перемещаются, чтобы регулировать воздушный поток через воздушные каналы.

В одном варианте выполнения система для двигателя содержит турбину турбо-нагнетателя, имеющую сопловое кольцо. Сопловое кольцо содержит множество неподвижных лопаток. Одна или более лопаток множества неподвижных лопаток имеет одно или более инжекционных отверстий, расположенных на наружных поверхностях указанной одной или более лопаток. Система также содержит систему подачи газа, выполненную с возможностью подачи изменяемого потока газа в указанное одно или более инжекционных отверстий и из них по одному или более каналам через одну или более лопаток указанного множества неподвижных лопаток, например, каналы проходят через лопатку и оканчиваются на внешних поверхностях лопаток в виде инжекционных отверстий. В соответствии с различными аспектами, указанное одно или более инжекционных отверстий на поверхности(-ях) указанной одной или более

лопаток могут включать следующее: одна лопатка имеет одно инжекционное отверстие; каждая лопатка из указанного множества лопаток имеет одно соответствующее инжекционное отверстие; одна лопатка имеет множество инжекционных отверстий; или каждая лопатка из указанного множества лопаток имеет множество соответствующих инжекционных отверстий. В одном варианте выполнения каждая лопатка из по меньшей мере двух (т.е. двух или более) лопаток имеет множество соответствующих инжекционных отверстий. Во всех таких вариантах выполнения также могут иметься лопатки, не имеющие инжекционных отверстий. В другом варианте выполнения все лопатки турбины имеют одно или более соответствующих инжекционных отверстий, а в другом варианте выполнения все лопатки имеют соответствующее большое количество инжекционных отверстий.

Как упоминалось, сопловые кольца с прикрепленными к ним лопатками (и/или лопатки по отдельности), включая инжекционные отверстия и внутренние каналы, могут быть изготовлены с использованием процесса аддитивного производства, например, с помощью трехмерного принтера. Одним из примеров является струйный принтер на металлическом связующем, в котором металлический порошок наносится последовательными слоями в соответствии с конфигурацией конечной детали, причем последовательные слои связаны друг с другом жидким связующим. Другие примеры включают прямое лазерное спекание металлов (DMLS) и прямое лазерное плавление металлов (DMLM), где, например, лазеры используются для плавления последовательных, тонких (например, 20-60 микрон) слоев металлического порошка друг над другом. Другие этапы обработки могут включать спекание, отжиг, отверждение, химическую очистку и другую обработку, нанесение покрытия, полировку и т.д.

Используемый здесь элемент или этап, перечисленный в единственном числе, следует понимать как не исключающий множественное число указанных 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 перечисленные признаки. 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 "в котором". Более того, термины "первый", "второй", "третий" и т.д. используются просто как метки и не предназначены для наложения численных требований или определенного позиционного порядка для определяемых ими объектов.

Раскрытые в настоящем описании способы и процедуры управления могут храниться в виде исполняемых инструкций в энергонезависимой памяти и могут выполняться системой управления, включающей в себя контроллер, в сочетании с различными датчиками, исполнительными механизмами и другим аппаратным обеспечением двигателя. Конкретные процедуры, описанные здесь, могут представлять одну или более 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 быть опущены. Аналогично, для достижения характеристик и преимуществ описанных здесь иллюстративных вариантов выполнения не обязательно требуется порядок обработки, но предоставляется для простоты иллюстрации и описания. Одно или более проиллюстрированных действий, операций и/или функций могут выполняться многократно 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, включающей различные аппаратные компоненты двигателя в сочетании с электронным контроллером.

В этом описании используются примеры для раскрытия изобретения, 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 методов. Объем охраны изобретения определяется формулой изобретения и может включать другие примеры, которые приходят на ум обычным специалистам в данной области. Предполагается, что такие другие примеры входят в объем формулы изобретения, если они имеют конструктивные элементы, которые не отличаются от буквального языка формулы изобретения, или если они включают эквивалентные конструктивные элементы с несущественными отличиями от буквального языка формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для турбонагнетателя (120) с изменяемым потоком текучей среды для двигателя, содержащая:

по меньшей мере один цилиндр (101),

турбину (202) турбонагнетателя, принимающую выхлопной газ из указанного по меньшей мере од-

ного цилиндра через выхлопной канал (116), проточно сообщаемый с указанным по меньшей мере одним цилиндром и турбиной турбонагнетателя, содержащую сопловое кольцо (208), которое содержит множество неподвижных лопаток (210), причем каждая лопатка из указанного множества неподвижных лопаток имеет наружную поверхность, и каждая одна или более лопаток из указанного множества неподвижных лопаток имеет множество инжекционных отверстий (314), расположенных на наружной поверхности каждой указанной одной или более лопаток из указанного множества неподвижных лопаток, и систему подачи газа, выполненную с возможностью подачи изменяемого потока газа в указанное одно или более инжекционных отверстий и из них по одному или более каналам через указанную одну или более лопаток из указанного множества неподвижных лопаток.

2. Система по п.1, в которой каждая лопатка из указанного множества неподвижных лопаток имеет множество инжекционных отверстий, расположенных на наружной поверхности лопатки, причем отверстия из указанного множества инжекционных отверстий имеют одну или более форм, включая одну или более форм из щелевидной формы, круглой формы, прямоугольной формы, квадратной формы, ромбической формы, трапециевидной формы, звездообразной формы, пятиугольной формы, шестиугольной формы, формы плюса и формы бублика, и

каждая лопатка из указанного множества неподвижных лопаток имеет центральную ось, при этом центральная ось (262A) первой неподвижной лопатки из указанного множества неподвижных лопаток, определяющая длинную ось первой неподвижной лопатки, проходит под углом к центральным осям других неподвижных лопаток, расположенных рядом с первой неподвижной лопаткой на сопловом кольце, и указанное множество неподвижных лопаток закреплено и неподвижно относительно тела соплового кольца, к которому прикреплено указанное множество неподвижных лопаток, и

каждый канал из указанного одного или более каналов проточно сообщается с указанным множеством инжекционных отверстий, при этом соседние каналы указанного одного или более каналов не сообщаются проточно друг с другом, и

система подачи газа выполнена с возможностью подачи изменяемого потока газа в зависимости от рабочего состояния двигателя, при этом система подачи газа содержит клапанную систему с электронным управлением, проточно сообщаемую с указанным множеством инжекционных отверстий и выполненную с возможностью регулирования количества воздуха, подаваемого через указанное множество инжекционных отверстий, в зависимости от рабочего состояния, причем рабочее состояние представляет собой уровень мощности двигателя, и указанная клапанная система с электронным управлением содержит клапан для каждого канала из указанного одного или более каналов, при этом для регулировки воздушного потока через указанный один или более каналов перемещаются только клапаны, и

указанное множество инжекционных отверстий каждой лопатки из указанного множества неподвижных лопаток разделено на группы, включающие первую группу инжекционных отверстий и вторую группу инжекционных отверстий, причем система подачи газа содержит как первый клапан, выполненный с возможностью регулирования потока воздуха к первой группе инжекционных отверстий, так и второй клапан, выполненный с возможностью регулирования потока воздуха ко второй группе инжекционных отверстий, причем первый клапан управляется независимо от второго клапана, и первая группа инжекционных отверстий содержит по меньшей мере одно инжекционное отверстие, имеющее щелевидную форму, а вторая группа инжекционных отверстий содержит по меньшей мере одно инжекционное отверстие, имеющее круглую форму, при этом указанное по меньшей мере одно инжекционное отверстие, имеющее щелевидную форму, имеет высоту, меньшую его ширины, и проходит по меньшей мере на 75% ширины наружной поверхности лопатки.

3. Система по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащая контроллер (110), содержащий хранящиеся в памяти машиночитаемые инструкции, которые, при выполнении во время работы двигателя, дают команду контроллеру:

регулировать количество воздуха, инжектируемого из по меньшей мере одного первого инжекционного отверстия, для регулирования пограничного слоя на наружной поверхности первой лопатки и открытия горловины соплового кольца, при этом количество воздуха регулируется в зависимости от рабочего состояния двигателя,

причем регулирование количества воздуха выполняется при сохранении указанной первой лопатки на сопловом кольце неподвижной, и регулирование количества инжектируемого воздуха включает увеличение количества инжектируемого воздуха для увеличения пограничного слоя и уменьшения открытия горловины соплового кольца в ответ на уменьшение нагрузки двигателя и/или увеличение температуры перед турбиной, и регулирование количества инжектируемого воздуха включает уменьшение количества инжектируемого воздуха для уменьшения пограничного слоя и увеличения открытия горловины соплового кольца в ответ на увеличение нагрузки двигателя и/или уменьшение температуры перед турбиной.

4. Система по п.3, дополнительно содержащая турбонагнетатель, содержащий компрессор, приводимый в действие турбиной турбонагнетателя, при этом указанное по меньшей мере одно первое инжекционное отверстие содержит множество первых инжекционных отверстий, причем рабочее состояние представляет собой уровень мощности двигателя, а машиночитаемые инструкции, при выполнении, также дают команду контроллеру, по мере уменьшения уровня мощности двигателя, постепенно увеличи-

вать количество инжектируемого воздуха путем увеличения количества первых инжекционных отверстий из указанного множества первых инжекционных отверстий, через которые инжектируется воздух, причем постепенное увеличение количества инжектируемого воздуха включает увеличение количества по меньшей мере одного из рядов и щелей из указанного множества первых инжекционных отверстий, которые инжектируют воздух, причем регулирование количества инжектируемого воздуха дополнительно включает активирование клапанной системы, расположенной снаружи турбины турбоагнетателя, для обеспечения возможности протекания воздуха из компрессора к первой лопатке, и увеличение количества открытых клапанов клапанной системы для увеличения количества инжектируемого воздуха, при этом компрессор приводится во вращение турбиной турбоагнетателя, и клапанная система содержит ряд клапанов, причем первый клапан из ряда клапанов регулирует поток воздуха через первый ряд и/или щель из указанного множества первых инжекционных отверстий первой лопатки, а второй клапан из ряда клапанов регулирует поток воздуха через второй ряд и/или щель из указанного множества первых инжекционных отверстий первой лопатки, и

регулирование количества воздуха включает регулирование количества инжектируемого воздуха из множества вторых инжекционных отверстий, расположенных на наружных поверхностях множества первых лопаток соплового кольца, причем система подачи газа содержит клапанную систему с электронным управлением, и регулирование количества инжектируемого воздуха дополнительно включает активирование указанной клапанной системы с электронным управлением, которая содержит множество клапанов, расположенных снаружи турбины турбоагнетателя, при этом первая группа клапанов из указанного множества клапанов регулирует количество инжектируемого воздуха только через вторые инжекционные отверстия щелевидной формы из указанного множества вторых инжекционных отверстий, а вторая группа клапанов из указанного множества клапанов регулирует количество воздуха, инжектируемого только через вторые инжекционные отверстия круглой формы из указанного множества вторых инжекционных отверстий, при этом вторые инжекционные отверстия щелевидной формы имеют криволинейные углы или углы, расположенные под углом 90° ,

причем регулирование количества воздуха выполняется при сохранении неподвижности указанного множества первых лопаток на сопловом кольце, причем указанное регулирование включает регулирование положения третьего клапана, выполненного с возможностью регулирования потока воздуха только к первой группе вторых инжекционных отверстий из указанного множества вторых инжекционных отверстий, и регулирование положения четвертого клапана, выполненного с возможностью регулирования потока воздуха только ко второй группе вторых инжекционных отверстий из указанного множества вторых инжекционных отверстий,

причем рабочее состояние представляет собой уровень мощности двигателя, а машиночитаемые инструкции, при выполнении, дают команду контроллеру, по мере того как уровень мощности двигателя уменьшается, постепенно увеличивать количество инжектируемого воздуха путем увеличения количества вторых инжекционных отверстий из указанного множества вторых инжекционных отверстий, которые инжектируют воздух, при этом увеличение количества вторых инжекционных отверстий из указанного множества вторых инжекционных отверстий включает установку четвертого клапана в более открытое положение после установки третьего клапана в полностью открытое положение,

при этом постепенное увеличение количества инжектируемого воздуха включает увеличение количества рядов и/или щелей из указанного множества вторых инжекционных отверстий, через которые инжектируется воздух,

при этом регулирование количества воздуха, инжектируемого из указанного множества вторых инжекционных отверстий, включает пропускание воздуха только через одно второе инжекционное отверстие щелевидной формы в одном ряду из указанного множества вторых инжекционных отверстий, при этом указанный один ряд проходит в направлении, перпендикулярном центральной оси первой лопатки, и

регулирование количества воздуха, инжектируемого из указанного множества вторых инжекционных отверстий, дополнительно включает пропускание воздуха через множество вторых инжекционных отверстий круглой формы, расположенных в одном ряду из указанного множества вторых инжекционных отверстий.

5. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой указанный один или более каналов содержит, для каждой лопатки из указанного множества неподвижных лопаток, множество рядов воздушных каналов внутри лопатки, при этом каждый воздушный канал из указанного множества рядов воздушных каналов заканчивается у по меньшей мере одного инжекционного отверстия из указанного одного или более инжекционных отверстий,

причем система также содержит турбоагнетатель, содержащий компрессор, приводимый в действие турбиной турбоагнетателя,

причем система подачи газа представляет собой систему управления воздушным потоком, проточно сообщаемую с компрессором и с указанным множеством рядов воздушных каналов каждой лопатки из указанного множества неподвижных лопаток, и

причем система также содержит контроллер, содержащий хранящиеся в памяти машиночитаемые

инструкции, которые при выполнении во время работы двигателя дают команду контроллеру:

активировать систему управления воздушным потоком, чтобы отрегулировать, для каждой лопатки из указанного множества неподвижных лопаток, количество рядов из указанного множества рядов воздушных каналов, принимающих воздух из компрессора через систему управления воздушным потоком, по мере изменения уровня мощности двигателя,

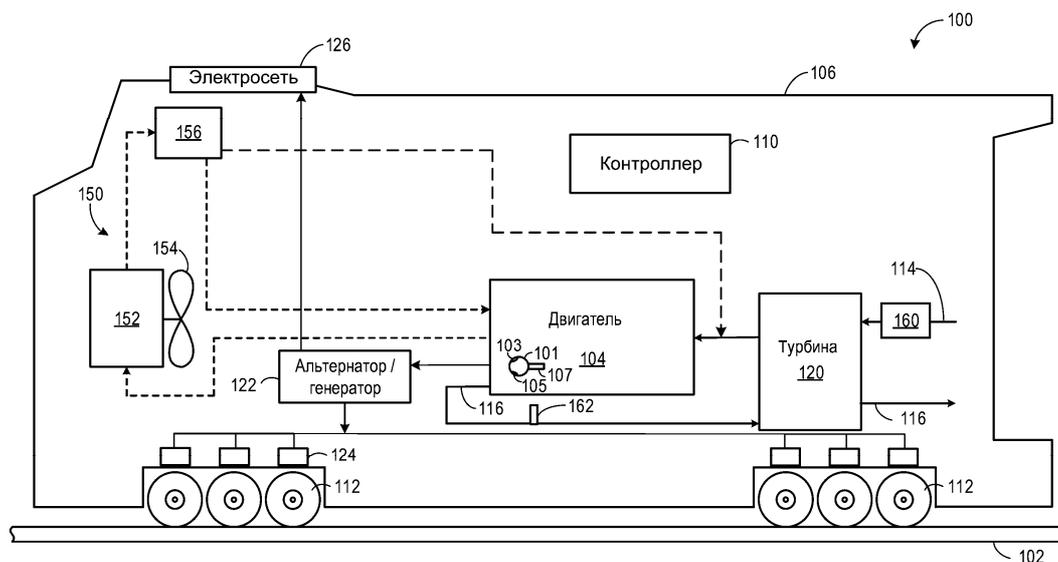
причем машиночитаемые инструкции, при выполнении, дополнительно дают команду контроллеру активировать систему управления воздушным потоком, чтобы блокировать воздушный поток из компрессора к указанному множеству рядов воздушных каналов, когда уровень мощности двигателя превышает пороговый уровень мощности, и

машиночитаемые инструкции, при выполнении, дополнительно дают команду контроллеру увеличить количество рядов из указанного множества рядов воздушных каналов, принимающих воздух из компрессора через систему управления воздушным потоком, в ответ на повышение температуры газа перед турбиной турбоагрегата выше пороговой температуры, и

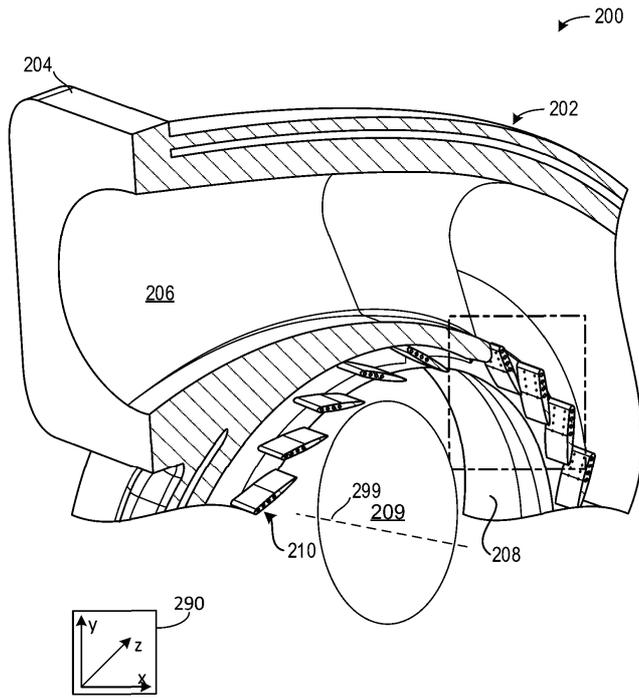
первый ряд из указанного множества рядов воздушных каналов содержит по меньшей мере одно инжекционное отверстие щелевидной формы, у которого заканчивается, соответственно, по меньшей мере один воздушный канал первого ряда, а второй ряд из множества рядов воздушных каналов содержит множество инжекционных отверстий круглой формы, у которых заканчивается, соответственно, множество воздушных каналов второго ряда, и

инжекционные отверстия, расположенные в первом ряду и втором ряду, имеют одну или более форм из трапецевидной формы, квадратной формы, ромбической формы, пятиугольной формы и шестиугольной формы, и

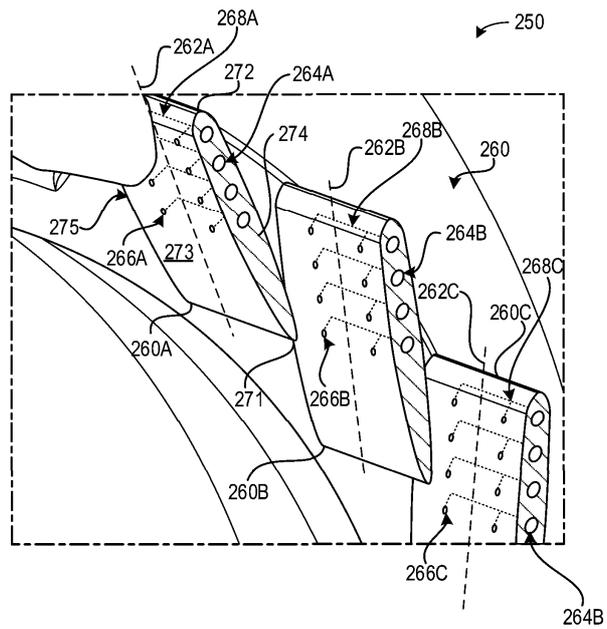
указанный первый ряд представляет собой ряд из множества первых рядов, а указанный второй ряд представляет собой ряд из множества вторых рядов, при этом множество первых и вторых рядов чередуются вдоль центральной оси лопатки, причем каждый второй ряд из множества вторых рядов разделяет соседние первые ряды из множества первых рядов, и при этом смежные воздушные каналы из множества рядов воздушных каналов не сообщаются проточно друг с другом.



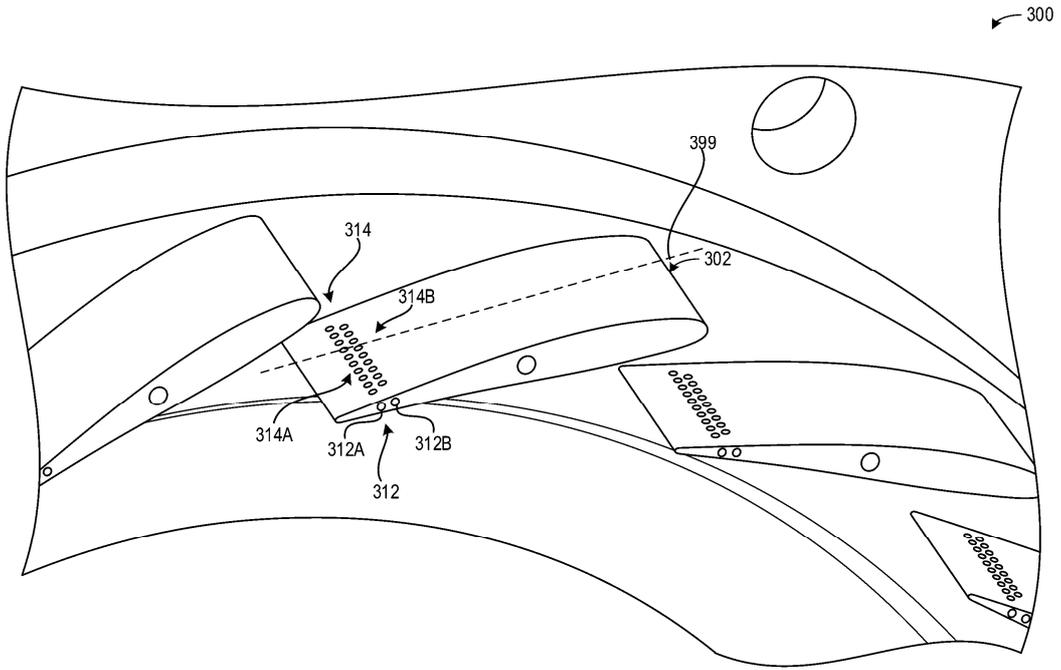
Фиг. 1



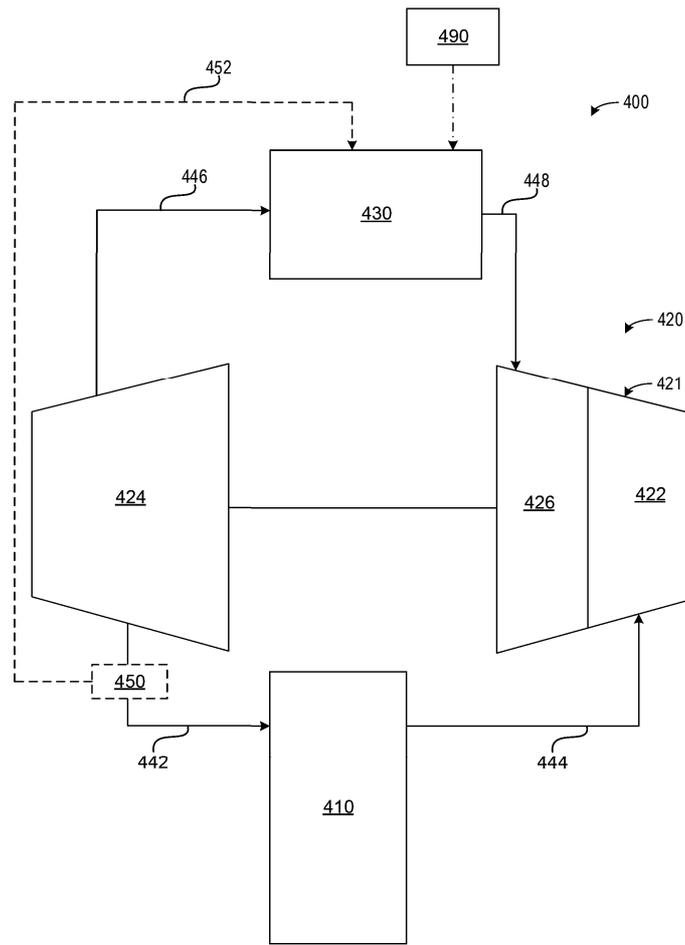
Фиг. 2А



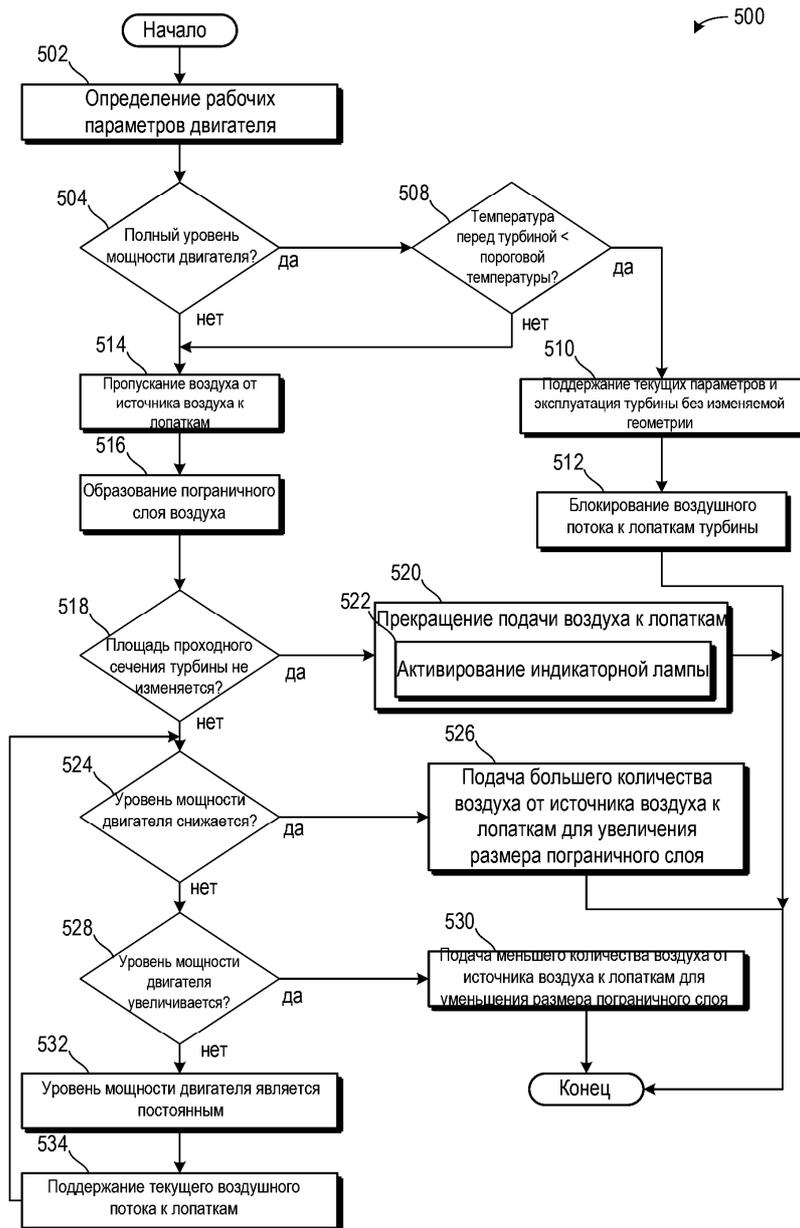
Фиг. 2В



Фиг. 3

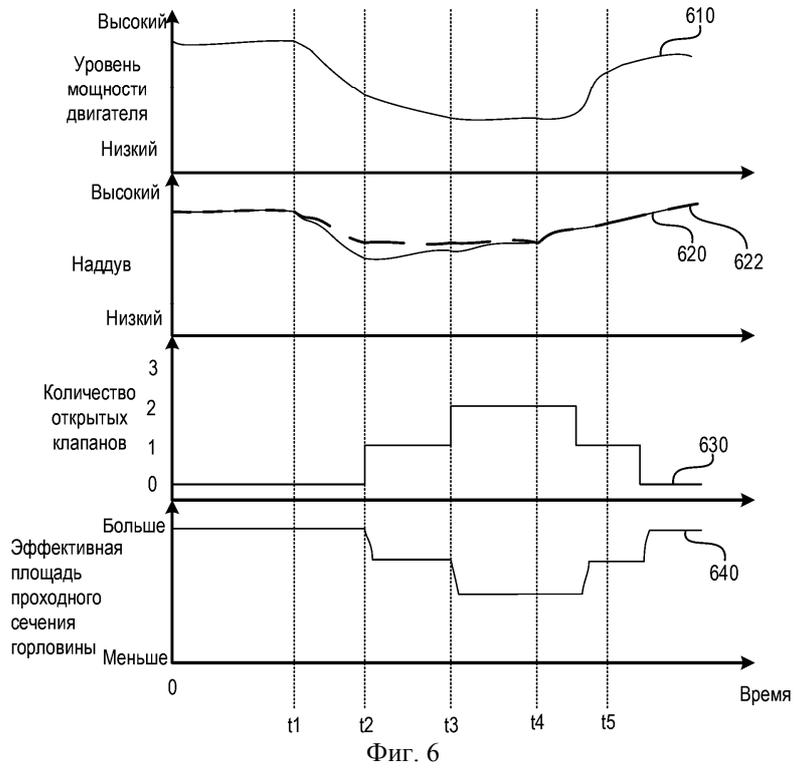


Фиг. 4



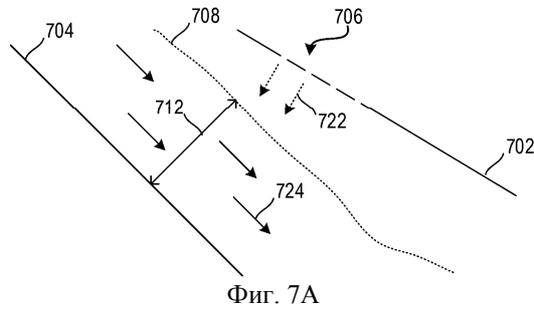
Фиг. 5

600



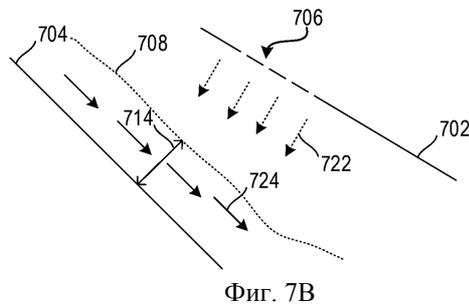
Фиг. 6

700

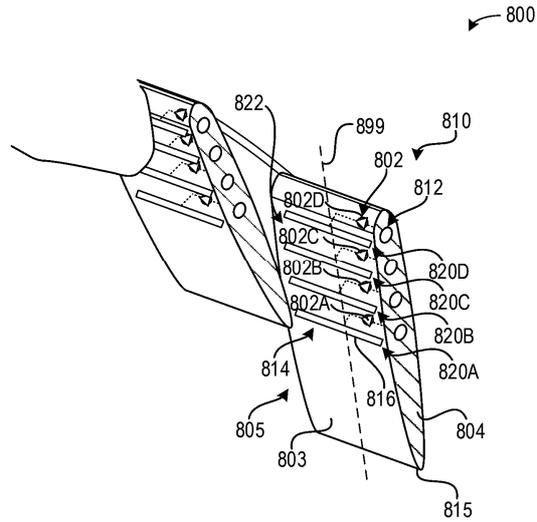


Фиг. 7А

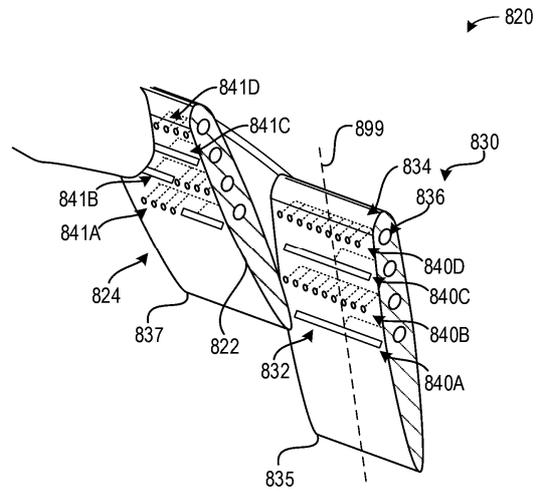
750



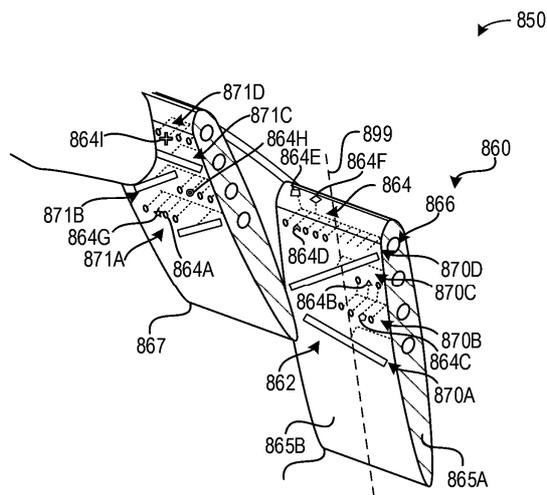
Фиг. 7В



Фиг. 8А



Фиг. 8В



865
Фиг. 8С

