

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201991878 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.01.09

(51) Int. Cl. F03B 11/00 (2006.01)
C02F 7/00 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.09.19

(54) СИСТЕМА АЭРАЦИИ ВОДЫ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТУРБИН

(31) A/00688

(32) 2017.09.20

(33) RO

(86) PCT/RO2018/000016

(87) WO 2019/059793 2019.03.28

(71) Заявитель:

ИНСТИТУТУЛ НАЦЬОНАЛ ДЕ
ЧЕРЧЕТАРЕ ДЕЗВОЛТАРЕ ПЕНТРУ
ИНДЖИНЕРИЕ (RO)

(72) Изобретатель:

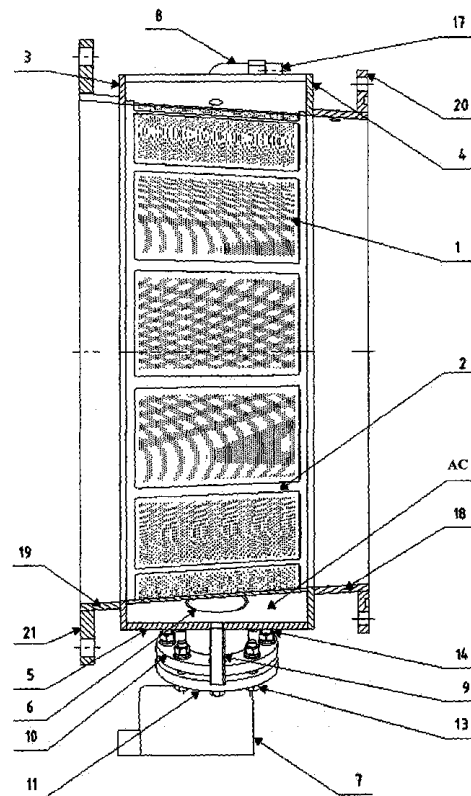
Буня Флорентина, Чокан Габриэль
Дан, Неделку Адриан, Букур Диана
Мария, Дунка Джорджана, Кодеску
Себастьян (RO)

(74) Представитель:

Ловцов С.В., Левчук Д.В., Вилесов
А.С., Коптева Т.В., Ясинский С.Я.,
Стукалова В.В., Гавриков К.В. (RU)

(57) Настоящее изобретение относится к системе аэрации воды для гидравлических турбин, которая может быть встроена в конусы отсасывающей трубы гидравлической турбины для увеличения содержания растворенного кислорода в воде, выпускаемой из гидроэлектростанций. Система аэрации воды для гидравлических турбин согласно настоящему изобретению представляет собой систему, содержащую устройство аэрации воды, которое осуществляет аэрацию посредством перфорированных пластин, которые вместе с опорной решеткой дублируют внутреннюю геометрию первоначального конуса отсасывающей трубы турбины, посредством отверстий, калиброванных относительно доли пустот, необходимой для аэрации потока в турбине. Впрыск воздуха в турбину ос-

нован на уровне давления в турбине и недостаточном значении содержания растворенного кислорода в воде, показания которых задействуют модуль управления процессом аэрации, что сводит к минимуму потребление энергии, необходимой для аэрации, за счет активации естественной аэрации без соответствующего потребления энергии или принудительной аэрации, осуществляемой с подачей сжатого воздуха.



201991878
A1

201991878
A1

СИСТЕМА АЭРАЦИИ ВОДЫ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТУРБИН

ОПИСАНИЕ

Настоящее изобретение относится к системе аэрации, предназначенной для использования на гидравлических турбинах, встраиваемой в конус отсасывающей трубы для повышения содержания растворенного кислорода (DOL) в воде, выходящей из гидравлической турбины.

Хорошо известно, что гидроэлектростанции (ГЭС) непосредственно или опосредованно влияют на флору, фауну и даже на микроклимат в местах их размещения. Однако ГЭС представляют собой основной источник возобновляемой энергии, полученной экологически чистым методом, поскольку, при надлежащем использовании, выработанная энергия не загрязняет окружающую среду. Для сохранения экологических свойств гидроэнергии необходимо принять надлежащие меры для ограничения влияния электростанций на окружающую среду. Одной из главных проблем природоохранных органов является качество воды, сбрасываемой через турбины в реки, особенно когда DOL (содержание растворенного кислорода) низкое, что может оказать негативное воздействие на окружающую среду и даже поставить под угрозу жизнь водных организмов. ГЭС являются основным источником полученной экологически чистым методом энергии, пока операторы и производители гидрооборудования учитывают экологические последствия эксплуатации турбины и принимают меры по смягчению их воздействия. Основной целью является качество сбрасываемой воды по отношению к DOL. Применение экологически безопасных норм во всех странах имеет важное значение для развития гидротехники. Для устойчивого развития ГЭС ухудшение экологического состояния водных путей недопустимо. Водозабор плотины высокого уровня находится в самом глубоком слое водохранилища, на такой глубине, где DOL минимально. Когда вода протекает через турбину, DOL снова понижается из-за снижения давления.

Основная цель Европейской политики водопользования – достижение «хорошего состояния» для всех почвенных и подземных вод в странах ЕС и сопутствующих территориях, а также достижение «хорошего экологического потенциала» для существенно модифицированных и искусственных вод.

Низкое DOL в реках является фактором загрязнения. В некоторых случаях DOL снижается до 0–2 мг/л, учитывая, что минимально необходимый DOL для существования водной жизни составляет приблизительно 6 мг/л. Подчеркивается, что

это значение изменяется в зависимости от температуры и/или преобладающего климата ГЭС, органических веществ в водохранилищах, глубины водозабора (чем ниже водозабор, тем ниже DOL), типа и режима работы ГЭС, уровня давления в турбине (особенно для турбин Френсиса, работающих при частичной нагрузке). Низкое DOL возникает при соблюдении следующих условий:

- глубина водохранилища больше 15 м;
- объем водохранилища больше $6 \cdot 10^7$ м³;
- вырабатываемая мощность больше 10 МВт; и
- скорость водообмена водохранилища больше 10 дней.

Существует несколько решений для внедрения во время модернизации гидравлических турбин с целью увеличения DOL в реке ниже по течению от ГЭС.

Обычные методы увеличения DOL тщательно выбираются из следующего:

- водозаборы, плотины, водосливы, насосы, диффузоры, компрессоры; и
- дефлекторы на корпусах рабочего колеса и отсасывающих трубах (например, съемные дефлекторы, установленные в турбинах, создают области низкого давления и направляют воздух в каналы ниже по потоку от ГЭС).

Эти методы использовались на ГЭС с различной степенью успешности в достижении аэрации. Вихревая аэрация считается самой эффективной технологией с точки зрения затрат для улучшения DOL. Тем не менее, аэрация, улучшающая качество воды ниже по течению, все еще игнорируется на большинстве существующих ГЭС.

Начиная с 1950 года основные поставщики энергии и производители гидрооборудования в Европе и США занимаются экологическими аспектами эксплуатации ГЭС. Два типа систем аэрации были испытаны на плотине Тимс-Форд [Harshharger et al, 1995] с целью достижения DOL 6 мг/л: одна с впрыском воздуха через турбину и одна с впрыском кислорода через пористые резиновые трубы в напорный водовод длиной 250 м и диаметром 6,7 м. Воздуходувки впрыскивали воздух либо под рабочее колесо, либо под отсасывающую трубу. Вспомогательная система была разработана для использования в случае, если DOL можно было достичь только посредством воздуходувки. Для DOL выше по течению максимум 1 мг/л, когда обе системы аэрации работали, DOL достигало 5,2 мг/л, а если работала только воздушная система, DOL увеличивалось до 4,2 мг/л. Обе системы проходили испытание в течение 52 недель с различными расходами воды, воздуха и кислорода, причем проводили измерения для контроля увеличения DOL и эффективности турбины. В каждом случае данные показали небольшое снижение эффективности турбины приблизительно на 1%, но целевое DOL (6 мг/л) не было достигнуто.

Во-первых, на электростанции в Булл-Шолс, США [Harshbarger et al, 1999], оснащенной турбинами Френсиса, дефлекторы были установлены на рабочем колесе начиная с 1991 года. Дефлекторы были расположены таким образом, чтобы оптимизировать сброс давления с целью поддержания минимального значения DOL ниже по течению на уровне 4 мг/л. Во-вторых, на ГЭС Тейбл-Рок на периферии рабочего колеса было установлено дефлекторное кольцо, а диаметр существующих отверстий был увеличен с 2,5 до 3,75 см. Кроме того, вакуумная разрывная система была модифицирована, чтобы обеспечить поступление большего количества воздуха. В первом случае DOL увеличивалось на 2–3 мг/л при работе одной турбины и на 1–2 мг/л при работе всех турбин. Также мощность, вырабатываемая станцией, снизилась на 1,3–3%. Во втором случае DOL увеличился на 2,5–3 мг/л при работе одного блока и на 2–2,5 мг/л при работе обоих блоков.

Исследования и измерения влияния аэрации на мощность и механические свойства турбин были выполнены на водохранилище Дир-Крик (Wahl et al., 1994), чтобы получить данные для проектирования системы постоянной аэрации. В летние месяцы DOL в сбросной воде ГЭС снизился до 0–2 мг/л, что отрицательно повлияло на жизнь водных организмов в диапазоне 3–5 км. Новая система аэрации направлена на увеличение DOL до 3,5 мг/л. Воздух впрыскивался в отсасывающую трубу через существующие проходы (система срыва вакуума и патрубки двух турбин) с использованием двух компрессоров, так что воздух смешивался с водой турбины, таким образом увеличивая DOL.

Для расхода воздуха, меньшего или равного 4% ($\phi < 4\%$) расхода воды турбины, эффективность аэрации увеличивалась приблизительно на 10% с каждым дополнительным процентом расхода воздуха. При открытых направляющих лопатках в диапазоне от 55 до 77% было обнаружено, что снижение энергоэффективности из-за аэрации составило 0,5% для $\phi = 1\%$. В конце концов, действующая система аэрации была закрыта из-за высокой стоимости обслуживания электрического оборудования. Тем не менее, был сделан вывод, что каждая из альтернатив даст лучшие результаты, если ввести воздух с относительно высоким расходом в турбину при различных условиях эксплуатации.

Целью других исследований [March et al, 1992] было обеспечение до 6 мг/л DOL в воде ниже по течению, сводя к минимуму влияние аэрации на энергоэффективность и мощность ГЭС. Было проведено испытание ряда альтернативных вариантов, включая впрыск воздуха через рабочее колесо или измененный дефлектор, задние кромки лопаток турбины, коаксиальный диффузор, выпускное кольцо, отсасывающую трубу

или комбинации вышеперечисленного.

Администрация долины Теннесси предложила программу модернизации, в которой несколько турбин были заменены или улучшены для решения проблемы DOL ниже по течению от ГЭС. Гидравлический и экологический анализ производительности был выполнен, чтобы выбрать систему аэрации турбин, наиболее подходящую для конкретного места. Самовентилируемые турбины (SVT) были впервые внедрены на плотине Норрис вместе с тремя основными типами аэрации: центральная, распределенная и периферийная аэрация (на выходе из лопаток рабочего колеса турбины). Для оценки воздействия на окружающую среду и энергетических характеристик были проведены измерения. Каждый вариант (при отдельном использовании или в сочетании с другими) был испытан в широком диапазоне режимов работы турбины. Для одной группы было достигнуто увеличение DOL до 5,5 мг/л при использовании всех вариантов аэрации. В этом случае количество воздуха, поступающего в турбину, было более чем в два раза выше, чем при работе с первоначальной турбиной, снабженной дефлекторами на рабочем колесе. В зависимости от условий эксплуатации и варианта аэрации энергоэффективность снижалась с 0 до 4%. Эффективность самовентилируемых турбин анализируется и сравнивается в литературе [Rohland, 2010], где приводятся основные параметры аэрации: геометрия турбины, количество воздуха, место впрыска воздуха [Papillon et al, 2002], [Sullivan & Bennett, 2006] и т. д. В этих исследованиях размер и распределение пузырьков воздуха особенно не рассматриваются, хотя и упоминаются. Исследования и поиск продолжают математическое моделирование потоков SVT. Каждый метод имеет различные характеристики и влияет на размер и распределение пузырьков, протекающих через отсасывающие трубы при различных условиях эксплуатации [Perkinsin et al, 2013], [His et al, 2006].

Исследования по системам аэрации сбросной воды с турбин продолжаются, учитывая их значение для экосистем [Bunea et al, 2010 и 2014] и норм по качеству воды. Операторы ГЭС пытаются добиться оптимального соотношения между мерами по улучшению качества воды и энергоэффективностью.

Другие известные запатентованные технические решения:

- EP 2 873 851 A1, в котором аэрация осуществляется дефлекторами/гидрокрыльями, расположенными на лопатках рабочего колеса турбины.
- US 6 854 958 B2, в котором аэрация осуществляется через специальную камеру, расположенную вокруг ленты рабочего колеса в неподвижной части турбины. Впуск воздуха обеспечивается через несколько частей турбины: на впуске рабочего колеса,

между направляющей лопаткой и рабочим колесом, и на выпуске рабочего колеса между лентой рабочего колеса и конусом отсасывающей трубы через прорези, расположенные по окружности рабочего колеса.

- US 6 247 893 ВЗ, в котором аэрация обеспечивается с помощью лопаток рабочего колеса на внешней стороне направляющей. Это решение подходит для турбин Френсиса и Каплана.

- US 941628 А, в котором регулируемый круговой паз выполнен на выпуске рабочего колеса в верхней части отсасывающей трубы. Впрыск осуществляется через паз.

- US 5 823 740 А, в котором смесь воздуха и воды впрыскивается выше и ниже по потоку от рабочего колеса турбины. Вода втягивается со стороны высокого давления через каналы рабочего колеса или лабиринты, а воздух впрыскивается в смесительные камеры, расположенные в неподвижных частях вокруг ленты или крышки рабочего колеса.

- US 5 780 935 А, в котором рабочее колесо расположено и вытянуто так, что его край пересекает свободную поверхность воды, и, таким образом, происходит смешивание с атмосферным воздухом.

Недостатки известных решений заключаются в следующем:

Все эти патенты относятся к аэрации воды, протекающей через гидравлические турбины. Методы аэрации, а также их реализация отличаются от решения, предложенного в настоящем документе. Все запатентованные методы аэрации предусматривают модификацию рабочих колес или деталей, находящихся в непосредственной близости от нее, и не предусматривают впрыскивание калиброванных мелких пузырьков. Хотя большинство представленных методов не связаны с нарушением целостности оборудования, их применение в существующих турбинах будет связано с серьезными изменениями в существующих конструкциях и, следовательно, может использоваться только в новых машинах или в тех, которые подлежат капитальному ремонту. Преимущество предлагаемой методики состоит в том, что она может быть реализована во время обычных периодов технического обслуживания, включая интеграцию устройства аэрации в конус отсасывающей трубы турбины. Общая стоимость установки нового устройства аэрации явно меньше, чем у других запатентованных способов, и сама аэрация может выполняться без затрат энергии, когда давление внутри конуса отсасывающей трубы ниже атмосферного, в противном случае инициируется принудительная аэрация.

Известные решения для аэрации сбросной воды ориентированы на количество

вводимого воздуха и не учитывают площадь поверхности раздела фаз воздух-вода и время контакта между фазами. Эффективность аэрации на ГЭС обычно выражается долей пустот (уравнение 1).

$$\phi = \frac{Q_{air}}{Q_{water}} \quad (1)$$

В целом, чтобы увеличить DOL на 1 мг/л, требуется количество воздуха, составляющее 1% от объема воды. И наоборот, чтобы ограничить снижение энергоэффективности, расход воздуха не должен превышать 3–5% от расхода воды турбины (уравнение 2).

$$\phi = \frac{Q_{air}}{Q_{water}} < 3 - 5\%, \quad (2)$$

где Q_{air} и Q_{water} – расход воздуха и расход воды соответственно.

Однако введение воздуха в гидравлический контур турбины приводит к снижению эффективности турбины. Ограничение количества впрыскиваемого воздуха означает, что этого может быть недостаточно для достижения желаемого DOL, особенно когда начальное DOL в воде составляет <2–3 мг/л. Это важный вопрос для производителей и операторов гидравлических турбин, поскольку впрыск дополнительного воздуха в контур турбины снижает эффективность; следовательно, параметры впрыска воздуха (метод, место введения, количество и т. д.) важны для балансировки эффективности турбины и факторов окружающей среды.

Другим недостатком большинства известных способов аэрации является то, что они меняют конструкцию оборудования, что приводит к изменению характеристик потока и, следовательно, снижению эффективности, даже когда система аэрации не используется.

Еще одним недостатком известных способов аэрации является высокое количество энергии, расходуемой на впрыск.

Другим недостатком запатентованных способов аэрации является необходимость модификации рабочих колес или распределителей: сложные операции на существующих турбинах, сопровождающиеся высокими затратами на новые или отремонтированные турбины.

Техническим преимуществом настоящего изобретения является разработка системы аэрации, увеличивающей DOL сбросной воды турбины, которая требует естественной аэрации (NA), когда давление в конусе отсасывающей трубы ниже атмосферного, или принудительной аэрации (FA), обеспечиваемой компрессорами, когда давление в конусе отсасывающей трубы выше или равно атмосферному давлению. Впрыск воздуха из устройства в гидравлический контур турбины осуществляется через

перфорированные пластины, которые вместе с опорной решеткой дублируют внутреннюю геометрию исходного конуса отсасывающей трубы. Отверстия характеризуются диаметром от 0,2 до 5 мм и расположены на одинаковом расстоянии с шагом от 3 до 7 диаметров во избежание слияния пузырьков в зависимости от доли пустот потока. Впрыск зависит от уровня давления ниже по потоку от рабочего колеса и недостаточного значения DOL воды и запускается модулем управления. Цель состоит в том, чтобы свести к минимуму потребление энергии для аэрации, выбирая между NA или FA.

Система аэрации воды для гидравлических турбин согласно настоящему изобретению устраняет вышеуказанный недостаток следующим образом: чтобы увеличить DOL воды ниже по потоку от турбины, устройство аэрации воды дублирует поток в конусе отсасывающей трубы. Она состоит из воздушной камеры с внутренней стенкой, образованной перфорированными пластинами, которые закреплены на опорной решетке и полностью или частично охватывают внутреннюю стенку. Таким образом, поток в отсасывающей трубе не изменяется из-за внесения возмущений, и гидравлические характеристики турбины сохраняются после установки устройства аэрации: использование NA или FA зависит от режима работы турбины.

Преимущества настоящего изобретения заключаются в следующем:

Впрыскиваемый воздух рассеивается в форме мелких пузырьков для увеличения поверхности и времени контакта воздух-вода. Для увеличения аэрации также учитываются другие параметры: распределение размеров пузырьков воздуха в воде, градиент давления в конусе отсасывающей трубы, перепад давления на устройстве аэрации, режим работы турбины, недостаточное значение DOL в воде.

Увеличение DOL в воде, используемой ГЭС, может потребоваться для соблюдения стандартов качества воды, установленных европейскими/мировыми экологическими нормами. Для достижения максимально возможной площади межфазного контакта воздух в турбине рассеивается через небольшие отверстия в стенке отсасывающей трубы турбины. Расстояние между отверстиями и их количество определяются таким образом, чтобы количество впрыскиваемого воздуха соответствовало уравнению (2) и требованиям, предъявляемым операторами ГЭС. Время контакта увеличивается, мелкие воздушные пузырьки движутся потоком воды по сравнению с воздушными карманами, которые стремятся выйти из гидравлического контура за более короткое время.

Устройство аэрации согласно настоящему изобретению соответствует существующей внутренней геометрии конусов отсасывающих труб турбины, где оно

реализовано, при этом воздух вводится без напора.

Система может использоваться как с новыми, так и с существующими турбинами, поскольку требует установки устройства аэрации в конусе отсасывающей трубы турбины, что может быть осуществлено в течение периода технического обслуживания турбины. Пневматическое соединение для подачи сжатого воздуха и модуль управления процессом аэрации легко крепятся к устройству аэрации.

Система сводит к минимуму влияние на производительность турбины, и, когда система не используется, на производительность турбины это не влияет, тогда как другие известные системы аэрации существенно снижают эффективность турбины, как показано в уровне техники.

Другим параметром, который был рассмотрен, является потребление энергии, связанное с впрыском, для поддержания общей производительности ГЭС. Соответственно, способ введения воздуха и использование мелких пузырьков сводят к минимуму воздействие на структуры потока в зависимости от расхода впрыскиваемого воздуха (регулируется клапанами и пневматической системой).

Система может использовать НА без дополнительного потребления энергии, связанного с FA.

Далее описан пример системы аэрации воды для гидравлических турбин согласно настоящему изобретению, представленный со ссылками на фиг. 1–12, на которых:

на фиг. 1 показана система аэрации воды для гидравлических турбин в сечении А-А;

на фиг. 2 показан вид в изометрии сечения А-А;

на фиг. 3 показан трехмерный вид системы аэрации воды для гидравлических турбин согласно настоящему изобретению;

на фиг. 4 показан вид сверху системы аэрации воды для гидравлических турбин согласно настоящему изобретению;

на фиг. 5 показан вид снизу системы аэрации воды для гидравлических турбин согласно настоящему изобретению;

на фиг. 6 показаны воздушная камера и труба впуска атмосферного воздуха в сечении F-F;

на фиг. 7 показан внешний вид воздушной камеры и расположение кранов для впуска воздуха для НА и FA;

на фиг. 8 показан вид перфорированной пластины;

на фиг. 8А показан местный вид А согласно фиг. 8;

на фиг. 8b показан трехмерный вид перфорированной пластины;

- на фиг. 9 показана система аэрации воды;
- на фиг. 10 показано схематическое изображение узла пневматического соединения, подающего сжатый воздух в систему аэрации воды;
- на фиг. 11 показана демонстрационная модель;
- на фиг. 12 показаны фотографии области впрыска устройства аэрации воды для работы турбины при $Q_{\text{water relative}} = 57,1\%$ и $\phi = 1\%$;
- на фиг. 12 а) показаны перфорированные пластины перед впрыском воздуха;
- на фиг. 12 б) показаны перфорированные пластины в начальный момент впрыска воздуха;
- на фиг. 12 с) показаны перфорированные пластины во время впрыска воздуха;
- на фиг. 13 показано изменение КПД генератора турбины в зависимости от доли пустот, обеспечиваемой впрыском через систему аэрации воды для гидравлических турбин согласно настоящему изобретению для различных режимов работы с частичной нагрузкой (B–F)

Согласно настоящему изобретению система аэрации воды для гидравлических турбин встроена в конус отсасывающей трубы с точным соблюдением внутренней геометрии отсасывающей трубы.

Система аэрации воды содержит:

- Устройство аэрации воды, оснащенное клапанами для подачи воздуха под атмосферным давлением для NA;
- Пневматическое соединение в сборе для подачи сжатого воздуха для FA;
- Автоматический модуль управления для процесса аэрации.

Устройство аэрации воды согласно настоящему изобретению состоит из воздушной камеры (АС) с внутренней стенкой, образованной перфорированными пластинами 1, через которые осуществляется впрыск воздуха, которые установлены на опорной решетке 2 и полностью или частично закрывают внутреннюю стенку, которая находится в контакте с водой, выпускаемой из турбины. Перфорированные пластины 1 выполнены из нержавеющей стали и перфорированы отверстиями диаметром 0,2–5 мм, которые расположены на расстоянии 3–5 диаметров друг от друга, с учетом того, что доля пустот $\phi < 35\%$. Воздушная камера АС также ограничена верхней стенкой 3, нижней стенкой 4 и наружной стенкой 5, на которой на равном расстоянии друг от друга расположены трубы 6 для впуска воздуха для NA. Трубы для впуска оснащены клапанами 7 для управления расходом воздуха, проходящим под атмосферным давлением. Другие трубы 8 для впрыска воздуха расположены на равном расстоянии от труб 6 для впуска воздуха и с чередованием с ними, через которые осуществляется FA,

для управления расходом воздуха с помощью пневматического соединения в сборе для подачи сжатого воздуха. Воздушная камера АС также содержит сливную пробку 9 для слива воды, входящей из гидравлического контура турбины в воздушную камеру из-за колебаний давления при неустойчивом расходе. На трубах 6 для впуска воздуха снаружи расположены плоские фланцы 10, которые входят в зацепление с фланцами 11 клапана. Соединения плоского фланца 10, фланца 11 клапана и прокладки 12 фиксируются с помощью болтов 13 с шестигранной головкой, шестигранной гайки 14, шайбы А 15 и шайбы R 16 Гровера. Труба 8 впрыска воздуха оснащена переходником 17, который соединяется с системой подачи сжатого воздуха. Воздушная камера АС продолжается верхней секцией 18 и нижней секцией 19, которые соединяются с конусом отсасывающей трубы турбины, на которой устройство аэрации воды установлено с помощью верхнего фланца 20 и нижнего фланца 21, а также не показанных гаек и болтов.

Система аэрации работает в соответствии с двумя параметрами: уровнем относительного давления в конусе отсасывающей трубы выше по потоку от секции впрыска воздуха и значением DOL ниже по потоку. Таким образом, в устройстве аэрации используется штуцер для отбора давления (не показан) и измерительный преобразователь, измеряющий давление на стенке конуса отсасывающей трубы выше по потоку от устройства аэрации, а ниже по потоку, на выходе из турбины также расположен датчик DOL (не показан).

Автоматический модуль управления для системы аэрации работает следующим образом: он задействует NA, если давление в конусе отсасывающей трубы ниже атмосферного давления, и FA, если давление выше или равно атмосферному давлению. Он содержит программируемый контроллер (ПК), принимающий данные от измерительного преобразователя давления устройства аэрации, измерительный преобразователь атмосферного давления и расположенный ниже по потоку измерительный преобразователь DOL, а также инициирует закрывание или открывание (частичное или полное) воздушного клапана, а также управляет расходом воздуха, который подается компрессором.

Чтобы свести к минимуму энергию, необходимую для насыщения кислородом, для программирования ПК требуются следующие параметры:

- начальный предел/конечный предел DOL;
- расход воды турбины от системы управления турбиной;
- общая площадь забора воздуха;
- перепад давления на перфорированных пластинах;

- пределы доли пустот: максимум/минимум, гистерезис и максимальное отношение сторон.

Кроме того, контролируются следующие параметры (средние значения за период работы):

- расход воды турбины от системы управления ГЭС;
- расход впрыскиваемого воздуха.

Программа вычисляет расход воздуха, который должен быть взят из атмосферы при NA, используя соотношение (3):

$$Q_{air} = S_{max} \cdot \sqrt{\frac{2|p_{atm}-p_{turbine}|}{\rho_{air}}} \cdot \frac{|p_{atm}-p_{turbine}|}{p_{atm}-p_{turbine}} \quad (3)$$

Если вычисленный расход воздуха недостаточен для получения доли пустот в пределах, указанных в уравнении (2), клапаны закрывают, и требуемый расход воздуха обеспечивается за счет подачи сжатого воздуха при FA.

Данные могут быть переданы по радиосвязи, по GPRS/3G или по кабелю.

Пневматическое соединение в сборе для подачи сжатого воздуха, которое управляет FA, показано на фиг. (10) и содержит: BV1, BV2 – краны отсечки воздуха; BV3 – дренажный клапан; PR1 – фильтр-регулятор давления; F1 - ротаметр; R1, R2, R3, R4 – соединения секций аэрации; D1 – распределитель; TP1 – измерительный преобразователь давления.

Система может управляться вручную или автоматически. В ручном режиме вводят параметры и система работает соответствующим образом. В автоматическом режиме система аэрации согласно настоящему изобретению работает только если DO_L в воде ниже по потоку ниже 6 мг/см², значения согласно стандарту качества воды. Система автоматически включается или выключается согласно указанным критериям.

На основании результатов, полученных на экспериментальной установке, «Setup for the study of biphasic, rotational, with adverse pressure gradient», заявка на патент OSIM № A/00704/29.09.2015 г., изобретение «Система аэрации воды для гидравлических турбин» была разработана для введения воздуха в гидравлическую турбину через отверстия с оптимизированными диаметрами и геометрией для достижения максимального переноса кислорода с минимальным потреблением энергии.

Система аэрации воды для гидравлических турбин согласно настоящему изобретению была установлена на турбине Френсиса на ГЭС, и были получены параметры, показанные на фиг. 13. Было отмечено небольшое снижение КПД турбины (потеря КПД до 2% при максимальной доле пустот 5%, принятой оператором ГЭС) по сравнению с КПД при использовании решений из известного уровня техники

(характеризующихся снижением КПД до 4%). Более того, при некоторых условиях работы с частичной нагрузкой турбины КПД возрастал (до 1,4%). Впрыски воздуха также были испытаны при долях пустот более 5%, но никаких существенных изменений на кривых КПД не наблюдалось, как и в случае с известными решениями.

Таблица 1. Рабочие режимы турбины, в которых была испытана система аэрации согласно настоящему изобретению

Рабочие режимы турбины	Q _{water relative} , (%)	φ (%)								
		1	2	3	4	5	7	8	9	
F	57,1	√	√	√	√	√	-	√	-	
E	51,9	√	√	√	√	√	√	-	-	
D	44,8	√	√	√	√	√	√	-	-	
C	33,5	√	√	√	√	√	-	-	√	
B	21,7	-	-	√	-	√	√	-	-	

$$Q_{water\ relative} = \frac{Q_{operation}}{Q_{rated}}$$

Список использованных источников

Bunea F., Ciocan G.D., Bucur D.M., Dunca G., 2014, *Aeration solution of water used by hydraulic turbines to respect the environmental policies*, "Electrical and Power Engineering", 2014 International Conference and Exposition on, publisher IEEE, p. 1015-1020, DOI 10.1109/ICEPE.2014.6970062, ISSN 978-1-4799-5849-8,

Bunea F., Ciocan G.D., Oprina G., Baran G., 2010, *Hydropower impact on water quality*, *Environmental Engineering and Management Journal*, v.9, No. 11, p. 1459-1464, ISSN 1582-9596,

Harshbarger E.D., Mobley M.H., Brock W.G., 1995, *Aeration of hydroturbine discharges at Tims Ford Dam*, San Francisco; ASCE, 9 p., Waterpower '95 - Proc. of the Conf. on Hydropower, San Francisco, 1, 11-19,

Harshbarger E.D., Herrold B., Robbins G., Carter J., 1999, *Turbine venting for dissolved oxygen improvements at Bull Shoals, Norfolk and Table Rock Dams*, Waterpower '99 - Hydro's Future: Technology, Markets, and Policy,

March P. A., Brice, T.A., Mobley, M.H, Cybularz, J.M., 1992, *Turbines for solving the DO dilemma*, *Hydro Review*; 11(1), U.S., 30-36, ISSN 0884-0385.

Rohland K.M., Foust J.M., Lewis G.D., Sigmon J.C., 2010, *Aerating Turbines for Duke Energy's New Bridgewater Powerhouse*, *Hydro Review*, 29, No.3, p. 58-64,

Perkinsin A., Dixon D., Dham R., Fous J., 2013, *Development Status of the Alden Fish-Friendly Turbine*, March, *Hydro Review - the Magazine of the North American Hydroelectric Industry*, p.46-55,

Sale M.J., Cada G.F., Dauble D.D., 2006, *Historical Perspective on the US Department of Energy's Hydropower Program*, Proceeding of Hydro Vision International, HCI Publication, Kansas City,

Sullivan A., Bennet K., 2006, *Retrofit Aeration System (RAS) for Francis Turbine*, Final Report, Ameren UE and MEC Water Resources Inc., contract FC36-02ID14408, US,

Wahl T.L. and Young, D., 1995, *Dissolved oxygen enhancement on the Provo River*, Waterpower '95, Proc, Int. Conf. on Hydropower, ASCE, San Francisco,

Wahl T.L., 1994, *Aerating Powerplant Flows to Improve Water Quality*, Currents - Transferring Information on Water Technology and Environmental Research, Research and Laboratory Services Division, Bureau of Reclamation,

Wahl T.L., Miller, J. and Young, D., 1994, *Testing turbine aeration for dissolved oxygen enhancement*, Fundamentals and Advancements in Hydraulic Measurements and Experimentation, ASCE Symp., New York.

Патенты:

Bunea F., Ciocan G.D., *Test bench for study of rotational biphasic flow study with adverse pressure gradient, (in romanian: Stand pentru studiul curgerilor bifazice, rotationale, cu gradient advers de presiune)*, Patent application registration, OSIM no. A/00704/29.09.2015,

Cybularz J.M., Fisher R.K., Franke G.F., Grubb R.G., *Dissolved gas augmentation with mixing chambers*, Patent No. 5 823 740, US005823740A,

Cybularz J.M., Steele R.D., Scott I.E., Fisher R.K., *Draft tube peripheral plenum*, Patent No. 5 941 682, US005941682A,

Kao D.T., Iowa A., *Hydropowered turbine system*, Patent No. 5 780 935, US005780935A,

Beywem J.R., Fisher R.K., Grubb R.G., *Hydraulic turbine for enhancing the level of dissolved gas in water*, Patent No. US 6 247 893, US006247893B1,

Desy N., *Hydraulic turbine with enhanced dissolved oxygen*, Patent No. US 6 854 958 B2, US006854958B2.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система аэрации воды для гидравлических турбин, увеличивающая DOL в воде, подаваемой на гидравлическую турбину, содержащая встроенное устройство аэрации воды, соответствующее внутренней геометрии конуса отсасывающей трубы турбины, причем система включает воздушную камеру (АС) с внутренними стенками, образованными из перфорированных пластин (1), прикрепленных на опорной решетке (2) таким образом, что они полностью или частично закрывают внутреннюю стенку при контакте с водой, при этом АС содержит:

верхнюю стенку (3), нижнюю стенку (4) и наружную стенку (5), на которой на равном расстоянии друг от друга расположены трубы (6) для впуска воздуха для НА, причем трубы оснащены клапанами (7) для регулирования расхода воздуха,

трубы (8) для впрыска воздуха для FA в воду, текущую через гидравлический контур турбины,

сливной кран (9), предусмотренный для выпуска воды, входящей из гидравлического контура турбины в воздушную камеру (АС), и

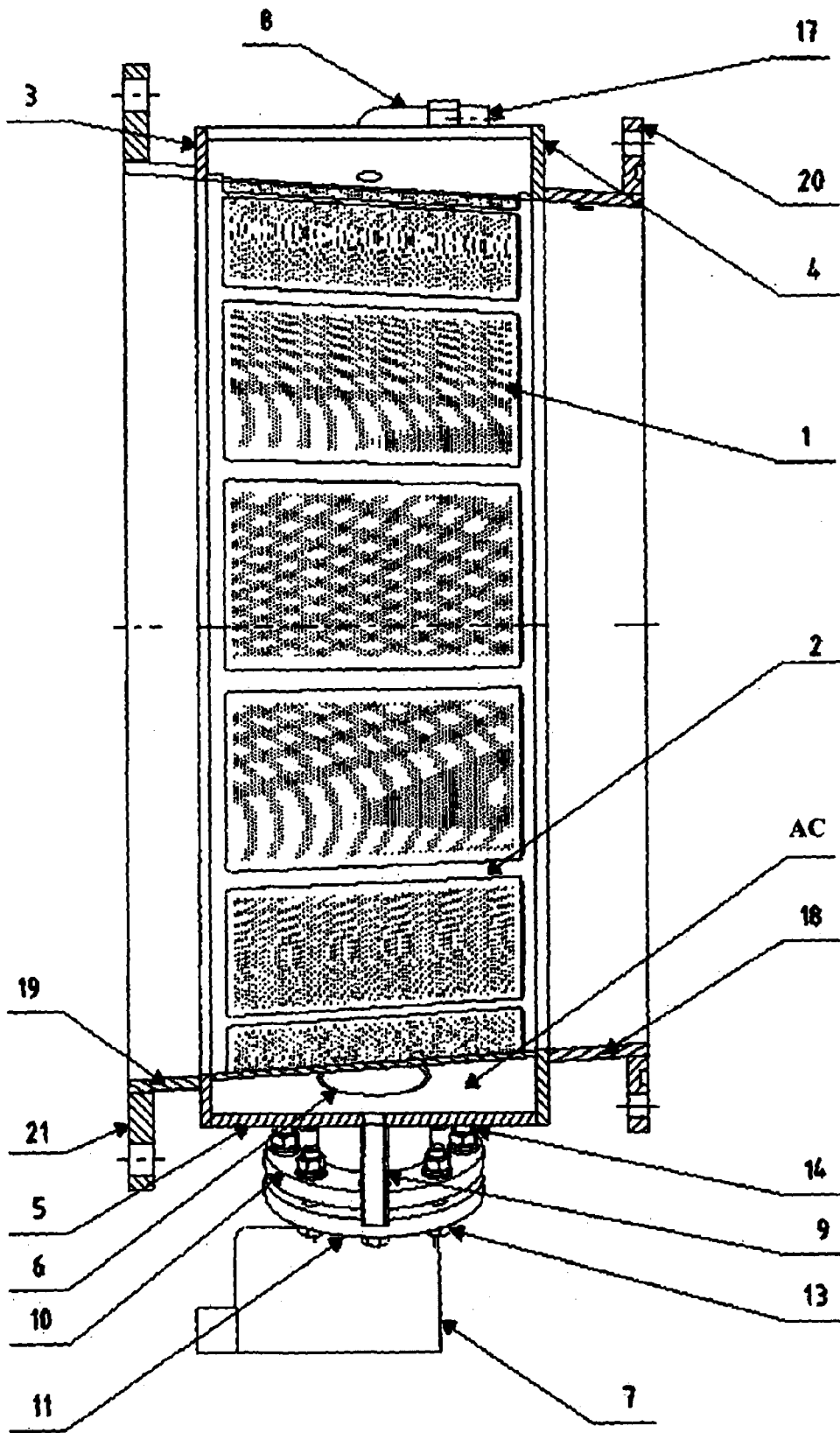
верхнюю секцию (18), оснащенную измерительным преобразователем, и нижнюю секцию (19),

причем АС прикреплена к конусу отсасывающей трубы посредством верхнего (20) и нижнего фланцев (21).

2. Система аэрации воды для гидравлических турбин по п. 1, отличающаяся тем, что перфорированные пластины (1), которые вместе с опорной решеткой (2) дублируют внутреннюю геометрию первоначального конуса отсасывающей трубы, содержат калиброванные отверстия диаметром 0,2–5 мм, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга, равном 3–7 диаметрам, чтобы избежать слияния пузырьков в потоке турбины, в зависимости от доли пустот, допустимой при расходе от турбины.

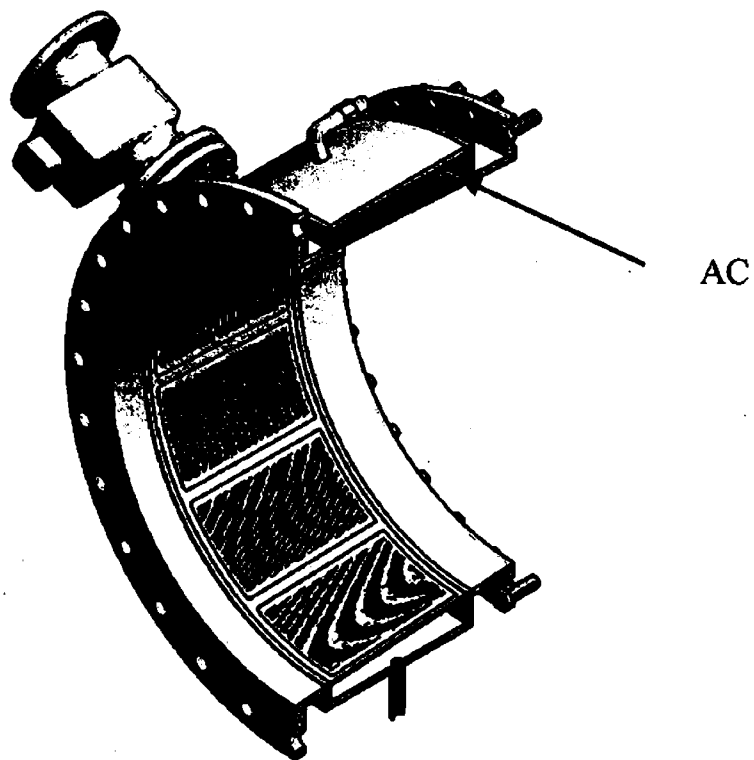
3. Система аэрации воды для гидравлических турбин по п. 1, отличающаяся тем, что она активируется модулем управления с автоматическим управлением процессом аэрации для сведения к минимуму энергии, потребляемой при управлении НА за счет задействования клапана (7) и FA за счет задействования сжатого воздуха в зависимости от разниц давления между отсасывающей трубой турбины и атмосферным давлением, а также от DOL ниже по потоку от турбины.

1/8

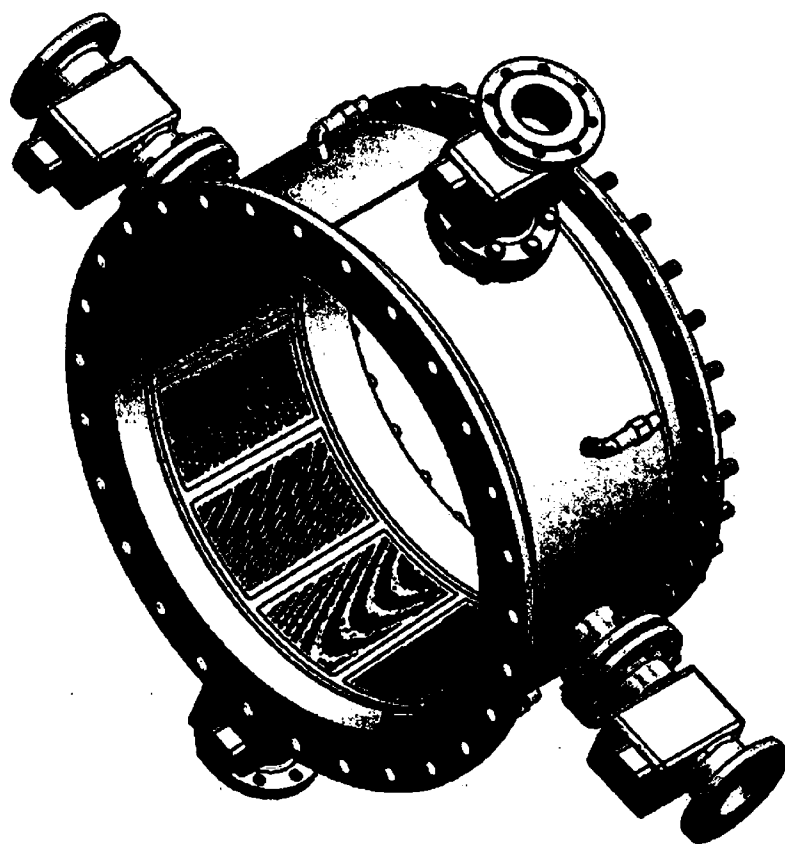


Фиг. 1

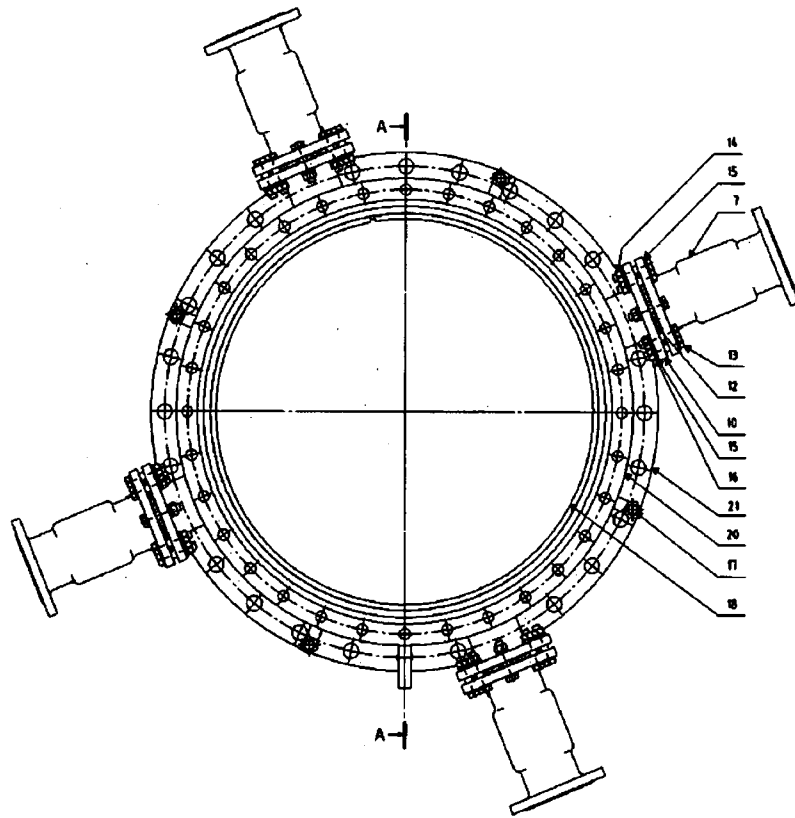
2/8



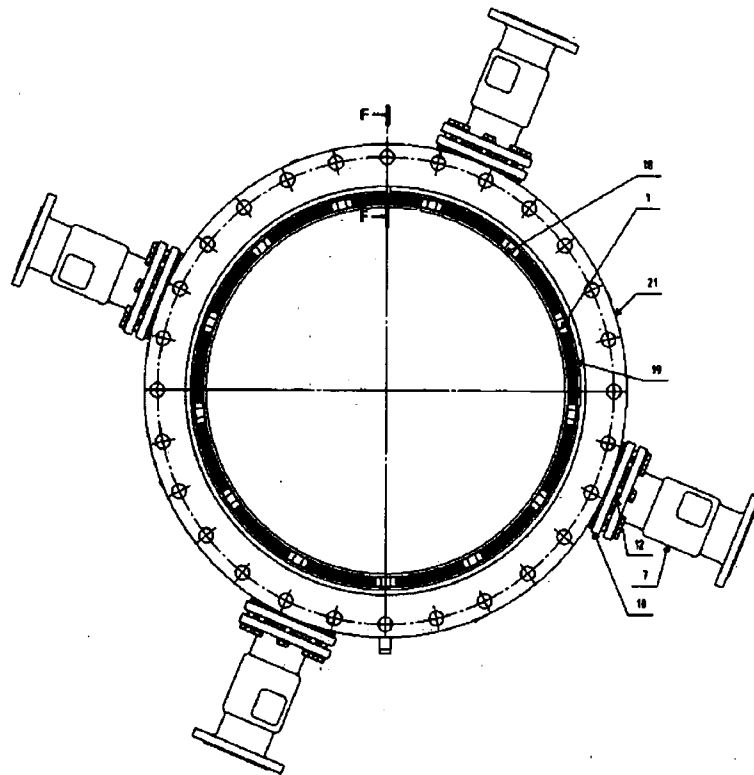
Фиг. 2



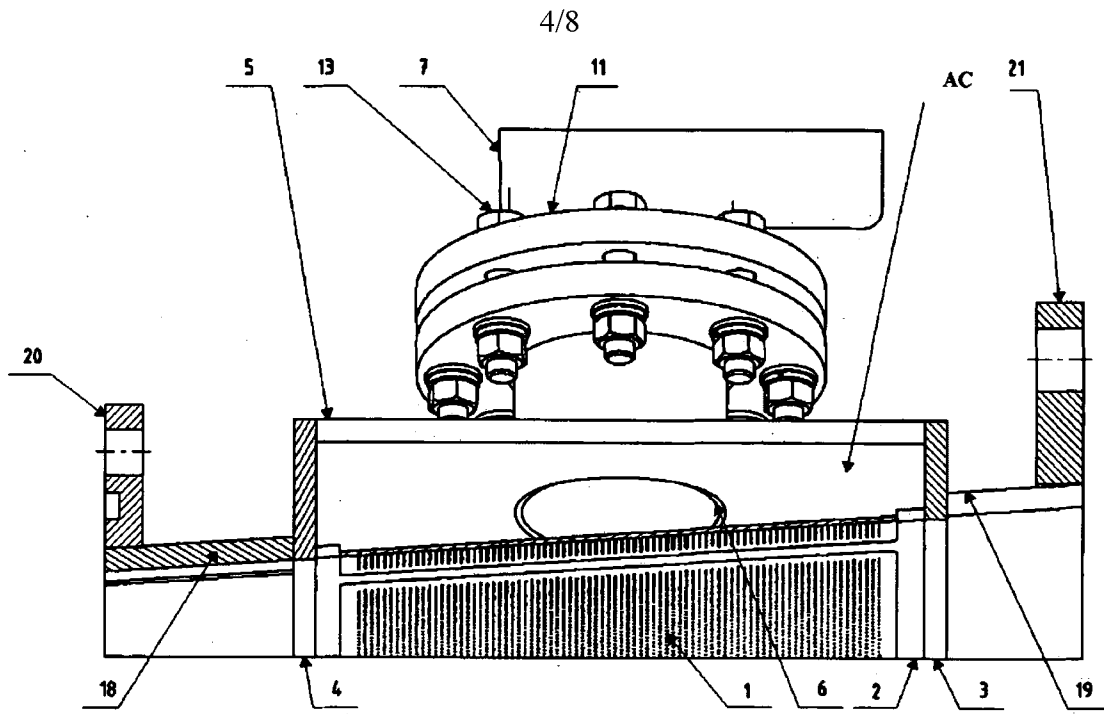
Фиг. 3



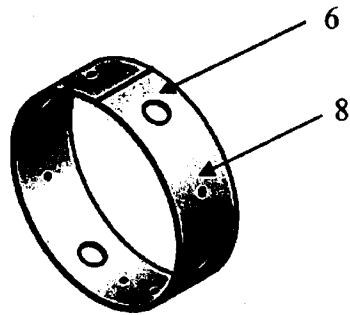
Фиг. 4



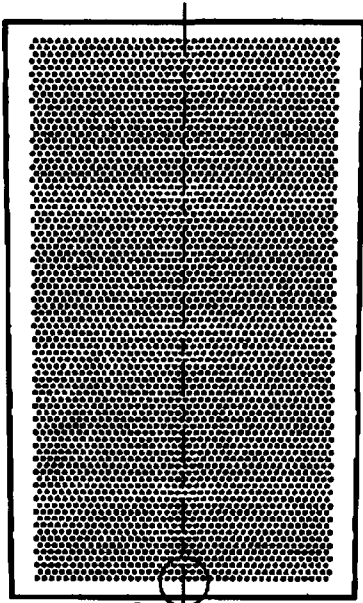
Фиг. 5



Фиг. 6

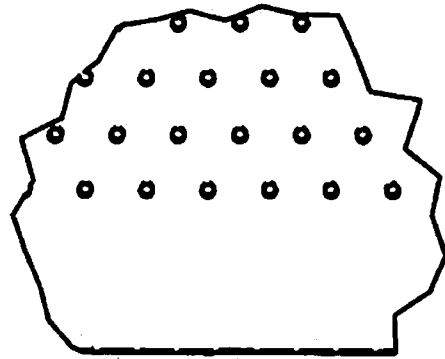


Фиг. 7

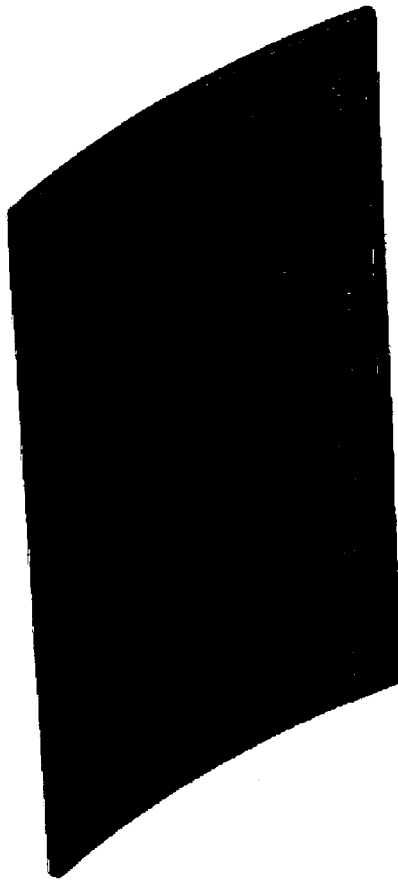


A

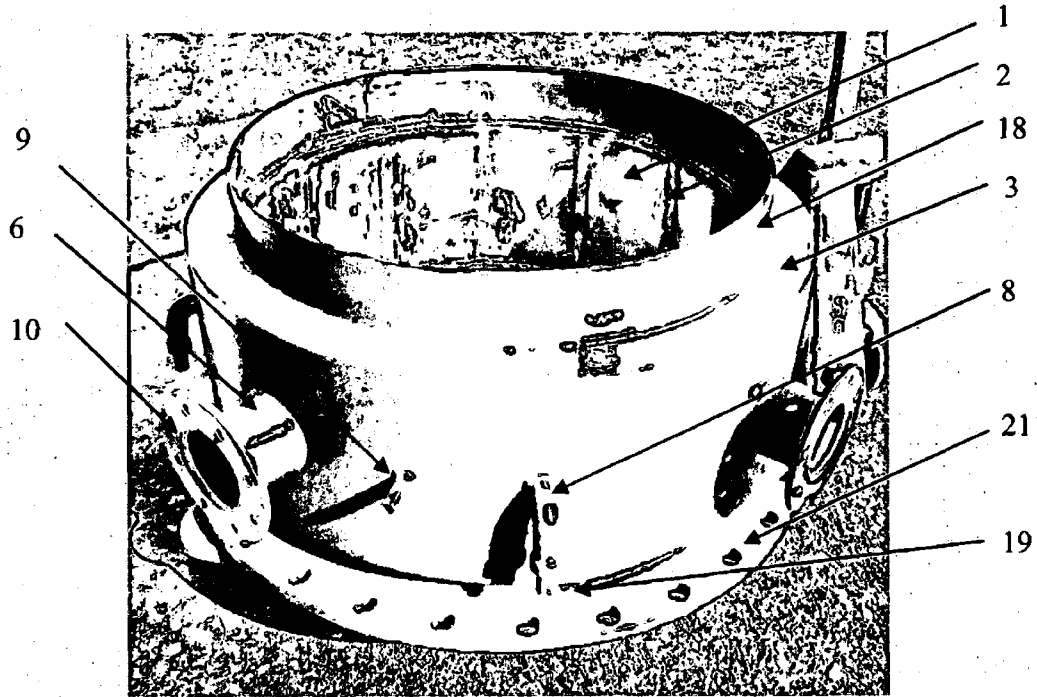
Фиг. 8



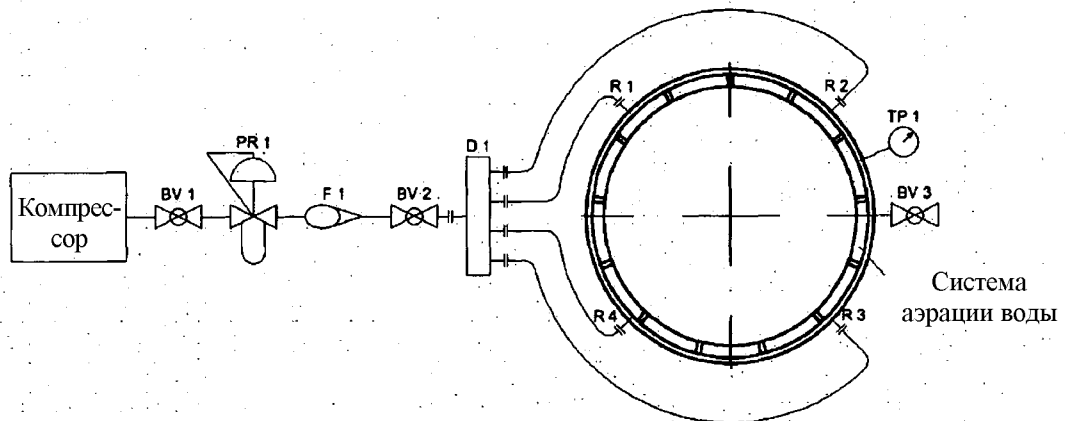
Фиг. 8a



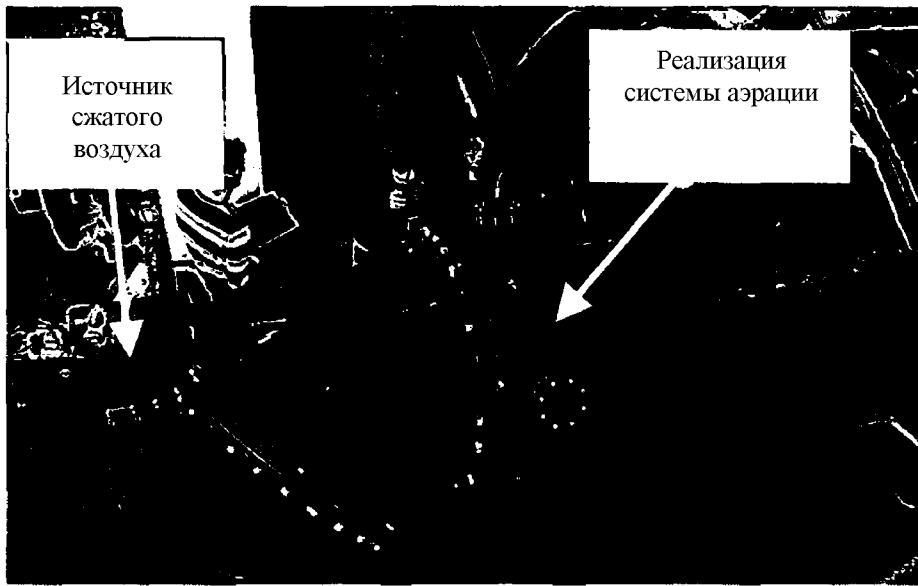
Фиг. 8b



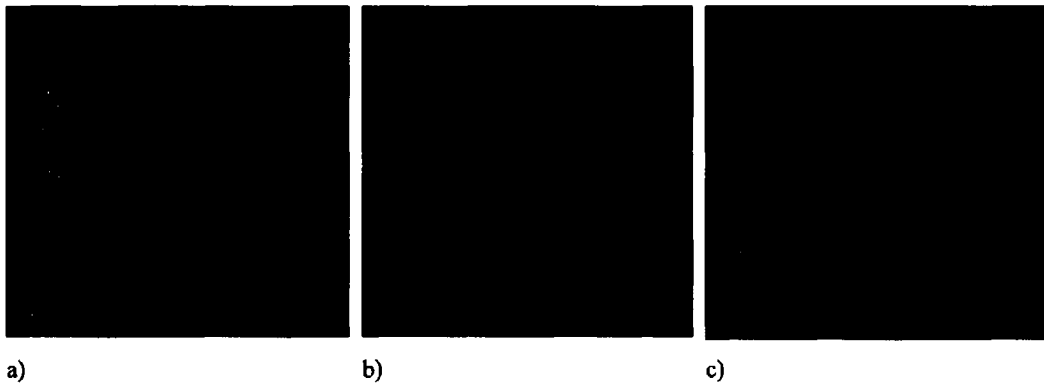
Фиг. 9



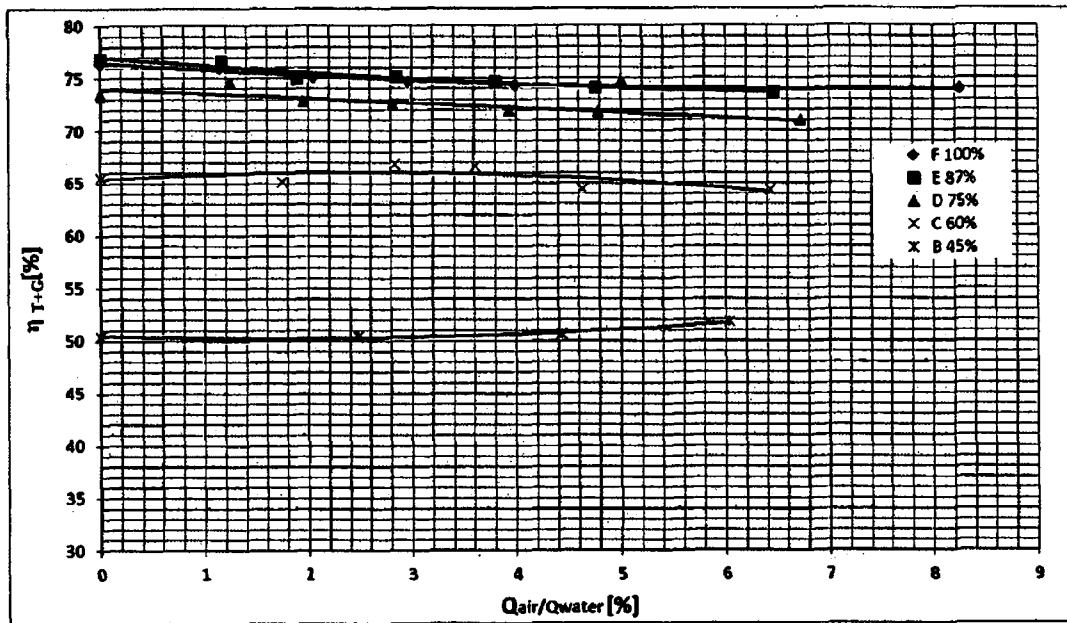
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13