

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2493437

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОМ

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012129646

Приоритет изобретения 12 июля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 сентября 2013 г.

Срок действия патента истекает 12 июля 2032 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Б.П. Симонов', is written over the printed name.





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012129646/06, 12.07.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.07.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.07.2012

(45) Опубликовано: 20.09.2013 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2418990 C1, 20.05.2011. RU 2341004 C1,  
10.12.2008. RU 2016252 C1, 15.07.1994. US  
7874808 B2, 25.01.2011. US 5844397 A,  
01.12.1998.

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
ФГБОУ ВПО "Национальный минерально-  
сырьевой университет "Горный", отдел  
интеллектуальной собственности и  
трансфера технологий (отдел ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

**Кабанов Олег Васильевич (RU),  
Самоленков Сергей Викторович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

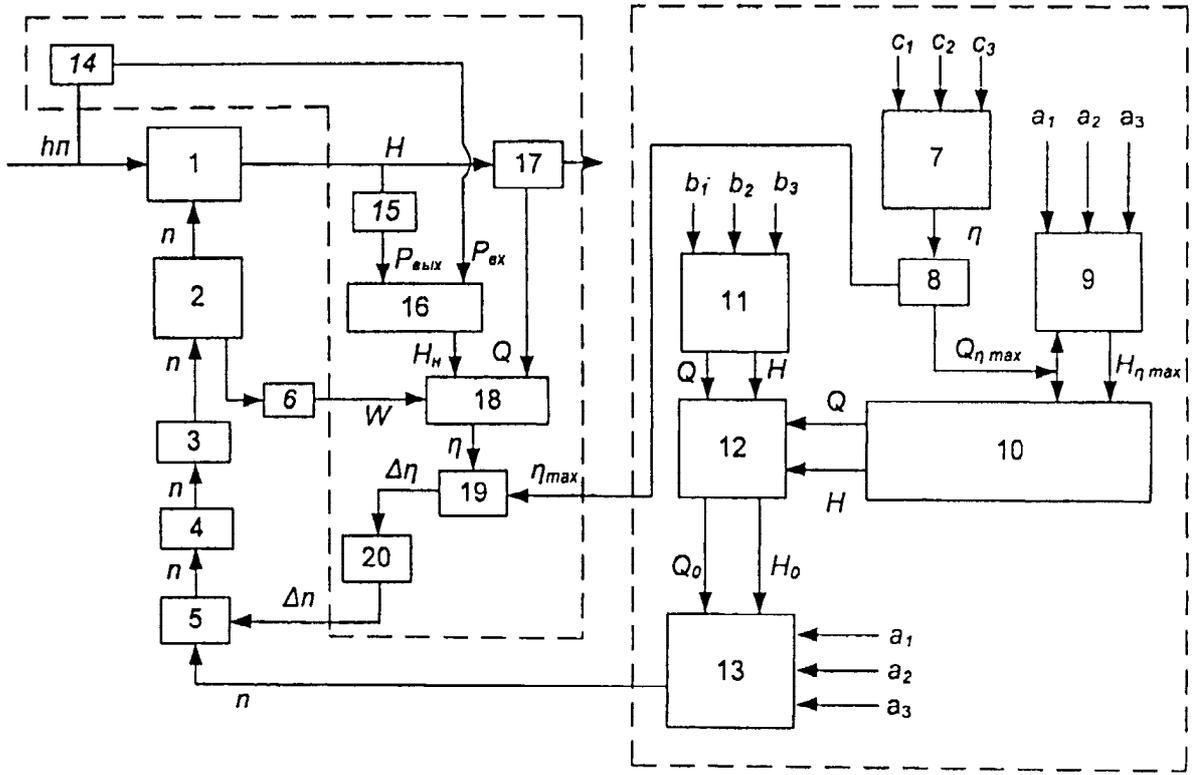
**федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Национальный минерально-сырьевой  
университет "Горный" (RU)**

**(54) СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОМ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области управления турбоагрегатами и направлено на обеспечение их работы с максимально возможным коэффициентом полезного действия не зависимо от изменения характеристики трубопровода. Система управления включает центробежный насос, электродвигатель, блок изменения частоты вращения ротора центробежного насоса, систему автоматического регулирования, обеспечивающую заданную частоту вращения ротора насоса. На входе системы автоматического регулирования установлены элемент сравнения частот, блок формирования задания и блок автоматической корректировки. Блок формирования задания

состоит из блока вычисления частоты вращения ротора, решателя, блока определения линии максимального КПД насоса, вычислителя максимального КПД насоса, блока аппроксимации характеристики КПД насоса, блока аппроксимации напорной характеристики насоса и блока аппроксимации напорной характеристики трубопровода. Блок автоматической корректировки состоит из датчика давления на входе в центробежный насос, датчика давления на выходе из насоса, блока определения дифференциального напора насоса, устройства измерения расхода жидкости через насос, блока определения рабочего КПД насоса, элемента сравнения КПД насоса, преобразователя сигнала, ваттметра. 1 ил.





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*F04D 15/00* (2006.01)  
*F04D 27/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012129646/06, 12.07.2012

(24) Effective date for property rights:  
12.07.2012

Priority:

(22) Date of filing: 12.07.2012

(45) Date of publication: 20.09.2013 Bull. 26

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 linija, 2,  
FGBOU VPO "Natsional'nyj mineral'no-syr'evoj  
universitet "Gornyj", otdel intellektual'noj  
sobstvennosti i transfera tekhnologij (otdel IS i TT)

(72) Inventor(s):

**Kabanov Oleg Vasil'evich (RU),  
Samolenkov Sergej Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Natsional'nyj  
mineral'no-syr'evoj universitet "Gornyj" (RU)**

(54) **TURBINE UNIT CONTROL SYSTEM**

(57) Abstract:

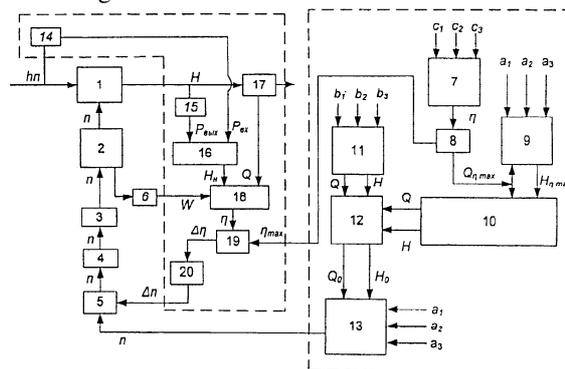
FIELD: machine building.

SUBSTANCE: control system includes a centrifugal pump, an electric motor, a rotation frequency variation unit of a centrifugal pump rotor, an automatic control system providing the specified rotation frequency of the pump rotor. At the automatic control system inlet there installed is a frequency comparison element, a demand formation unit and an automatic correction unit. Demand formation unit consists of a rotor rotation frequency calculation unit, a solver, a unit for determining maximum efficiency line of the pump, a calculator of pump maximum efficiency, and approximation unit of pump efficiency characteristic, an approximation unit of pump pressure characteristic and an approximation unit of pipeline pressure characteristic. Automatic correction unit consists of pressure sensor at centrifugal pump inlet, pressure sensor at pump outlet, unit for determining

differential head of pump, measuring device of liquid flow rate through pump, unit for determining pump operating efficiency, comparison element of pump efficiency, signal converter and watt-metre.

EFFECT: providing operation of turbine units with maximum possible efficiency coefficient irrespective of variation of pipeline characteristic.

1 dwg



RU 2 4 9 3 4 3 7 C 1

RU 2 4 9 3 4 3 7 C 1

Изобретение относится к области управления турбоагрегатами, в частности нефтеперекачивающими, водоотливными и компрессорными установками, включающими центробежные или осевые машины, и предназначено для обеспечения их работы с максимально возможным коэффициентом полезного действия не зависимо от изменения характеристики трубопровода.

Известна система управления наружным электроцентробежным насосом (патент RU №2341004, опубл. 10.12.2008), содержащая блок задания диаграммы динамической уровня жидкости, блок сравнения, датчик динамического уровня жидкости, блок расчета требуемой частоты, частотный преобразователь, погружной электроцентробежный насос, блок дифференцирования, сумматор.

Недостатком этого устройства является уменьшение коэффициент полезного действия при изменении производительности или напора.

Известно устройство управления насосной установкой (патент RU №2095633, опубл. 10.11.1997), содержащее датчик давления и магнитный пускатель, которым включается электропривод насосной установки. Оно снабжено блоком преобразования сигналов, блоком задания уставок, программным и запоминающим блоками и усилителем. При этом датчик давления выполнен аналоговым и соединен с первым входом блока преобразования сигналов, второй вход которого соединен с выходом блока задания уставок, а третий вход с первым выходом программного блока, первый вход его соединен с выходом блока преобразования сигналов, второй выход программного блока соединен с входом запоминающего блока, выход которого соединен с вторым входом программной блока, третий выход которого соединен с входом усилителя, выход которого с магнитным пускателем.

Недостатками этого устройства является то, что не предусмотрено регулирование заданного расхода путем изменения числа оборотов вала насоса, это не позволяет его использовать как регулятор расхода. Поэтому его применение как регулятора расхода требует дополнительной установки в потоке жидкости регулятора давления, что ведет к дополнительным капитальным и эксплуатационным затратам.

Известна система управления центробежным насосом (патент RU №2418990, опубл. 20.05.2011), принятая за прототип. Система содержит блок задания параметра регулирования, выход которого соединен с первым входом блока сравнения, выход центробежного насоса соединен с датчиком регулируемого параметра, датчик регулируемого параметра, сумматор, блок дифференцирования, второй вход блока сравнения соединен с выходом сумматора, блок интегрирования присоединен к выходу блока сравнения, выход блока интегрирования соединен с входом асинхронного электродвигателя, выход которого соединен с входом центробежного насоса, асинхронный электродвигатель соединен с датчиком частоты вращения, выход которого соединен с вторым блоком дифференцирования, выход которого соединен с первым входом сумматора датчик регулируемого параметра соединен с входом блока дифференцирования, выход которого соединен с вторым входом сумматора, третий вход которого соединен с выходом датчика регулируемого параметра.

Недостатком этого устройства является уменьшение коэффициента полезного действия при изменении производительности или напора.

Техническим результатом является повышение коэффициент полезного действия турбоагрегата до максимально возможного.

Технический результат достигается тем, что в системе управления турбоагрегатом, включающая центробежный насос, электродвигатель, блок изменения частоты вращения ротора центробежного насоса, систему автоматического регулирования,

обеспечивающую заданную частоту вращения ротора центробежного насоса, на входе системы автоматического регулирования установлены элемент сравнения частот, блок формирования задания, состоящий из блока вычисления частоты вращения ротора, решателя, блока определения линии максимального КПД центробежного насоса, вычислителя максимального КПД центробежного насоса, блока аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса, блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса и блока аппроксимации напорной характеристики трубопровода, и блок автоматической корректировки, состоящий из датчика давления на входе в центробежный насос, датчика давления на выходе из центробежного насоса, блока определения дифференциального напора центробежного насоса, устройства измерения расхода жидкости через насос, блока определения рабочего КПД центробежного насоса, элемента сравнения КПД центробежного насоса, преобразователя сигнала, ваттметра, при этом один выход блока аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса соединен с вычислителем максимального КПД центробежного насоса, который соединен с входами блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса, блока определения линии максимального КПД центробежного насоса и с элементом сравнения КПД центробежного насоса, выход блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса соединен с входом блока определения линии максимального КПД центробежного насоса, который соединен с входом решателя, вход решателя соединен с блоком аппроксимации напорной характеристики трубопровода, а выход с блоком вычисления частоты вращения ротора, вход которого соединен с элементом сравнения частот, вход блока определения дифференциального напора центробежного насоса соединен с выходами датчиков давления на входе в насос и выходе из насоса, выход соединен с входом блока определения рабочего КПД центробежного насоса, вход которого соединен с выходом устройства измерения расхода жидкости через насос и с ваттметром, а выход соединен с элементом сравнения КПД центробежного насоса, вход которого соединен с выходом вычислителя максимального КПД центробежного насоса, а выход соединен с преобразователем сигнала, выход которого соединен с элементом сравнения частот, который соединен с входом системы автоматического регулирования, вход которой соединен с блоком изменения частоты вращения ротора центробежного насоса, соединенного с электродвигателем, а электродвигатель с центробежным насосом.

Турбоагрегат - совокупность центробежного компрессора, насоса с электрическим приводом или турбины и приводимого ею в действие электрогенератора. В данном случае турбоагрегат включает центробежный насос, электродвигатель в качестве привода и блок изменения частоты вращения ротора центробежного насоса.

По предложенным формулам, известным из уровня техники, в блоке формирования задания рассчитывают регулирующий параметр - частоту вращения ротора насоса в зависимости от паспортных параметров, затем в блоке автоматической коррекции рассчитанную частоту вращения ротора насоса корректируют его фактической частотой вращения и далее откорректированное значение частоты вращения подают на блок изменения частоты вращения. Это обеспечивает повышение коэффициента полезного действия турбоагрегата до максимально возможного.

Система поясняется чертежом, где показана функциональная схема. Система включает: центробежный насос 1, электродвигатель 2, блок 3 изменения частоты вращения ротора центробежного насоса 1, систему 4 автоматического регулирования, обеспечивающую заданную частоту вращения ротора центробежного насоса 1,

элемент 5 сравнения частот, ваттметр 6, блок формирования задания частоты вращения ротора, соответствующей максимальному КПД центробежного насоса, и блок автоматической коррекции максимального КПД при изменении внешних факторов, влияющих на режимы работы турбоагрегата.

5 Блок формирования задания частоты вращения ротора включает блок 7 аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса, вычислитель 8 максимального КПД центробежного насоса, блок 9 аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса 1 и блок 10 определения линии максимальных  
10 КПД центробежного насоса 1, блок 11 аппроксимации характеристики трубопровода, решатель 12, блок 13 вычисления частоты вращения ротора, выполненные в виде набора известных элементов сложения, умножения, дифференцирования соответственно используемой для вычисления формулы.

15 Блок автоматической коррекции включает датчик 14 давления на входе в центробежный насос 1 и датчик 15 давления на выходе из центробежного насоса 1, блок 16 определения дифференциального напора центробежного насоса 1, устройство 17 измерения расхода жидкости, блок 18 определения рабочего КПД центробежного насоса 1, измеритель электрической мощности - ваттметр 6, элемент 19  
20 сравнения значений КПД центробежного насоса 1, преобразователь 20 сигнала.

Система работает следующим образом. На блок 7 аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса оператором вводят значения коэффициентов характеристики КПД центробежного насоса  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ , и формируют сигнал характеристики КПД центробежного насоса по формуле:

$$25 \quad \eta = c_1 Q + c_2 Q^2 + c_3 Q^3,$$

где  $\eta$  - КПД магистрального насоса;

$c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ , - постоянные коэффициенты характеристики КПД центробежного насоса, определяемые по паспортным характеристикам турбоагрегатов или при проведении  
30 регламентированных испытаний в процессе эксплуатации, соответственно  $c/m^3$ ,  $c^2/m^6$ ,  $c^3/m^9$ ;

$Q$  - фактическая подача центробежного насоса,  $m^3/c$ .

для паспортной частоты вращения, подаваемый на вычислитель 8 максимального  
35 КПД центробежного насоса, который вычисляет производительность центробежного насоса при максимальном КПД  $Q_{\eta \max}$  по формуле:

$$Q_{\eta \max} = \frac{-c_2 - \sqrt{c_2^2 - 3c_1 c_3}}{3c_3},$$

40 где  $Q_{\eta \max}$  - подача при максимальном КПД центробежного насоса,  $m^3/c$ ; и формирует сигнал, подаваемый на блок 9 аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса 1 и блок 10 определения линии максимальных КПД центробежного насоса 1,

$$45 \quad H = \frac{H_{\eta \max}}{Q_{\eta \max}^2} Q^2,$$

где  $Q_{\eta \max}$  и  $H_{\eta \max}$  - соответственно подача,  $m^3/c$  и напор, м при максимальном  
50 КПД центробежного насоса;

$Q$  и  $H$  - соответственно фактическая подача,  $m^3/c$  и фактический напор, м центробежного насоса.

а также определяет максимальный КПД  $\eta_{\max}$ , по формуле:

$$\eta_{\max} = c_1 Q_{\eta_{\max}} + c_2 Q_{\eta_{\max}}^2 + c_3 Q_{\eta_{\max}}^3,$$

который подается на элемент 19 сравнения значений КПД центробежного насоса 1. В блок 9 аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса 1 также  
5 вводят значения коэффициентов напорной характеристике насоса  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  где формируют характеристику насоса  $H$  по формуле

$$H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  - постоянные коэффициенты напорной характеристики центробежного  
10 насоса, определяемые по паспортным характеристикам турбоагрегатов или при проведении регламентированных испытаний в процессе эксплуатации, соответственно  $m$ ,  $c/m^2$ ,  $c^2/m^5$ ;

$Q$  - подача центробежного насоса,  $m^3/c$ .

15 для паспортной частоты вращения напора и вычисляют сигнал напора центробежного насоса 1 при максимальном КПД  $H_{\eta_{\max}}$ , по формуле

$$H_{\eta_{\max}} = a_0 + a_1 Q_{\eta_{\max}} + a_2 Q_{\eta_{\max}}^2,$$

20 подаваемый на блок 10 определения линии максимальной КПД центробежного насоса 1.

В блок 11 аппроксимации характеристики трубопровода вводятся значения коэффициентов характеристики трубопровода  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ , где формируется уравнение характеристики трубопровода

$$25 \quad H = b_0 + b_1 Q + b_2 Q^2,$$

где  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  - постоянные коэффициенты характеристики трубопровода, соответственно  $m$ ,  $c/m^2$ ,  $c^2/m^5$ .

30 Сигналы с блока 10 определения линии максимального КПД центробежного насоса 1 и с блока 11 аппроксимации характеристики трубопровода поступают на вход решателя 12, где происходит решение системы уравнений характеристики трубопровода и линии максимальных КПД. Получаемые в результате решения производительности,  $Q_0$  и напор  $H_0$  режима работы центробежного насоса 1 формируются в сигналы, подаваемые на вход блок 13 вычисления частоты вращения  
35 ротора, в котором производится определение частоты вращения ротора, соответствующей максимальному КПД центробежного насоса 1

$$n = n_{\text{пасп}} \frac{-Q_0 a_1 + \sqrt{Q_0^2 (a_1^2 - 4a_0 a_2) + 4a_0 H_0}}{2a_0},$$

40 где  $n_{\text{пасп}}$  - номинальная (паспортная) частота вращения ротора центробежного насоса,  $c^{-1}$ ;

$Q_0$  и  $H_0$  - соответственно рабочие подача,  $m^3/c$  и напор,  $m$ .

и который формирует сигнал частоты вращения ротора центробежного насоса 1,  
45 подаваемый на элемент 5 сравнения частот. Также в блок 13 вычисления частоты вращения ротора вводятся значения коэффициентов напорной характеристики  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ .

50 Блок автоматической коррекции работает следующим образом. Датчик 14 давления на входе в центробежный насос 1 и датчик 15 давления на выходе из центробежного насоса 1 подают сигналы соответственно  $P_{\text{вх}}$  и  $P_{\text{вых}}$  на блок 16 определения напора центробежного насоса 1, который подает сигнал  $H_n$  на блок 18 определения рабочей КПД центробежного насоса 1. Устройство 17 измерения расхода жидкости подает

сигнал Q на блок 18 определения рабочего КПД центробежного насоса 1. Также на этот блок 18 подается сигнал потребляемой мощности электродвигателя с ваттметра 6. Сигналы, формирующиеся в вычислителе 8 КПД центробежного насоса 1 в виде  $\eta_{\max}$  и в блоке 18 определения рабочего КПД центробежного насоса 1 в виде  $\eta$  подаются на элемент 19 сравнения значений КПД центробежного насоса 1, где формируются в сигнал  $\Delta\eta$ , который подается на преобразователь 20 сигнала, формирующий коррективное значение частоты вращения  $\Delta n$  ротора центробежного насоса 1, подаваемое на вход элемента 5 сравнения частот.

Элемент 5 сравнения частот формирует сигнал рабочей частоты вращения ротора центробежного насоса 1, который подается на систему 4 автоматического регулирования преобразователя частоты, где происходит формирование сигнала для преобразователя 3 частоты. Данный сигнал подается на электродвигатель 2, который механически соединен с центробежным насосом 1.

Таким образом, обеспечивается возможность работы турбоагрегата с максимально возможным коэффициентом полезного действия не зависимо от характеристики трубопровода.

#### Формула изобретения

Система управления турбоагрегатом, включающая центробежный насос, электродвигатель, блок изменения частоты вращения ротора центробежного насоса, систему автоматического регулирования, обеспечивающую заданную частоту вращения ротора центробежного насоса, отличающаяся тем, что на входе системы автоматического регулирования установлены элемент сравнения частот, блок формирования задания, состоящий из блока вычисления частоты вращения ротора, решателя, блока определения линии максимального КПД центробежного насоса, вычислителя максимального КПД центробежного насоса, блока аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса, блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса и блока аппроксимации напорной характеристики трубопровода, и блок автоматической корректировки, состоящий из датчика давления на входе в центробежный насос, датчика давления на выходе из центробежного насоса, блока определения дифференциального напора центробежного насоса, устройства измерения расхода жидкости через насос, блока определения рабочего КПД центробежного насоса, элемента сравнения КПД центробежного насоса, преобразователя сигнала, ваттметра, при этом один выход блока аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса соединен с вычислителем максимального КПД центробежного насоса, который соединен с входами блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса, блока определения линии максимального КПД центробежного насоса и с элементом сравнения КПД центробежного насоса, выход блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса соединен с входом блока определения линии максимального КПД центробежного насоса, который соединен с входом решателя, вход решателя соединен с блоком аппроксимации напорной характеристики трубопровода, а выход с блоком вычисления частоты вращения ротора, вход которого соединен с элементом сравнения частот, вход блока определения дифференциального напора центробежного насоса соединен с выходами датчиков давления на входе в насос и выходе из насоса, выход соединен с входом блока определения рабочего КПД центробежного насоса, вход которого соединен с выходом устройства измерения расхода жидкости через насос и с ваттметром, а выход соединен с элементом сравнения КПД центробежного

насоса, вход которого соединен с выходом вычислителя максимального КПД  
центробежного насоса, а выход соединен с преобразователем сигнала, выход  
которого соединен с элементом сравнения частот, который соединен с входом  
5 системы автоматического регулирования, вход которой соединен с блоком изменения  
частоты вращения ротора центробежного насоса, соединенного с электродвигателем,  
а электродвигатель с центробежным насосом.

10

15

20

25

30

35

40

45

50