

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2498115

### СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОМ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012142803

Приоритет изобретения **08 октября 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **10 ноября 2013 г.**

Срок действия патента истекает **08 октября 2032 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2012142803/06, 08.10.2012**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**08.10.2012**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **08.10.2012**(45) Опубликовано: **10.11.2013** Бюл. № 31(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):

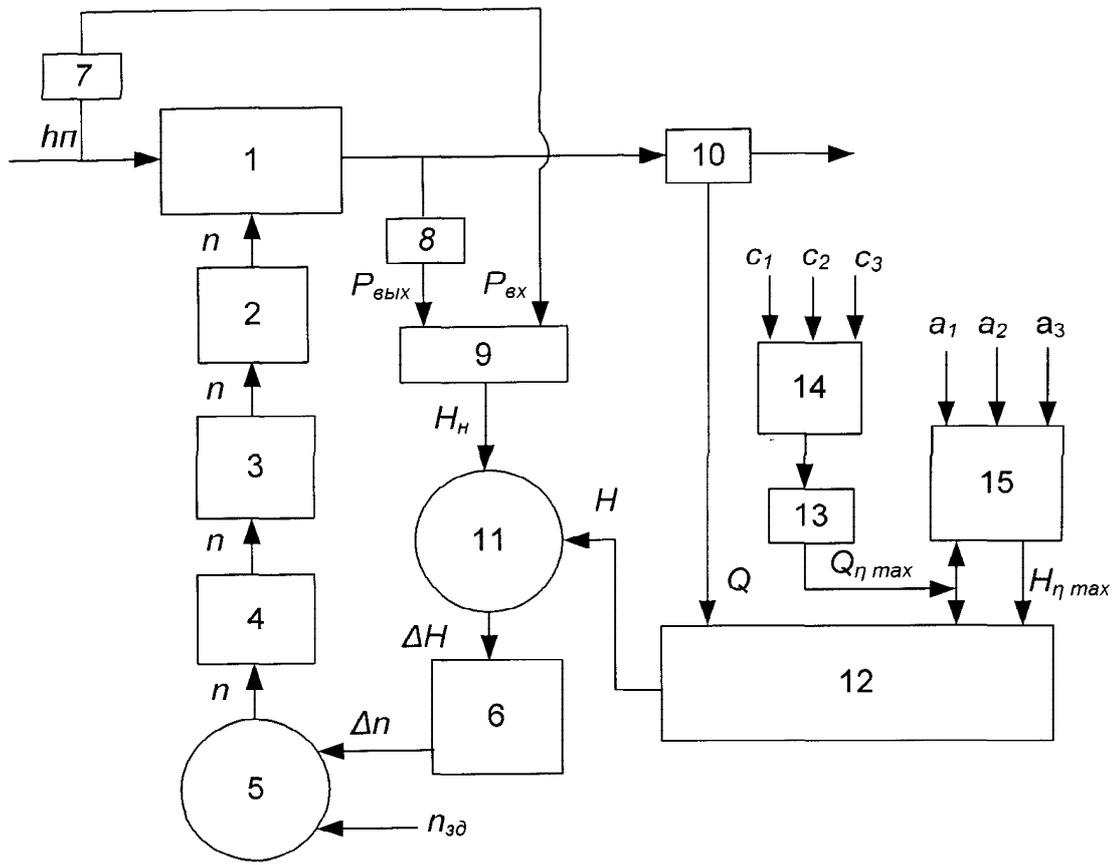
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (RU)**

**(54) СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОМ**

(57) Реферат:

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 независимо от изменения характеристики трубопровода. Система оптимального управления турбоагрегатом содержит: центробежный насос, электродвигатель, блок изменения частоты вращения ротора центробежного насоса, систему автоматического регулирования, обеспечивающую заданную частоту вращения

ротора центробежного насоса, сумматор частот вращения ротора центробежного насоса, блок автоматического регулятора, датчик давления на входе в центробежный насос и датчик давления на выходе из центробежного насоса, блок определения напора центробежного насоса, устройство измерения расхода жидкости, элемент сравнения напоров, блок определения линии максимальных КПД центробежного насоса, вычислитель максимального КПД центробежного насоса, блок аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса, блок аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса. 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: 2012142803/06, 08.10.2012

(24) Effective date for property rights:  
08.10.2012

Priority:

(22) Date of filing: 08.10.2012

(45) Date of publication: 10.11.2013 Bull. 31

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 OPTIMAL CONTROL SYSTEM**

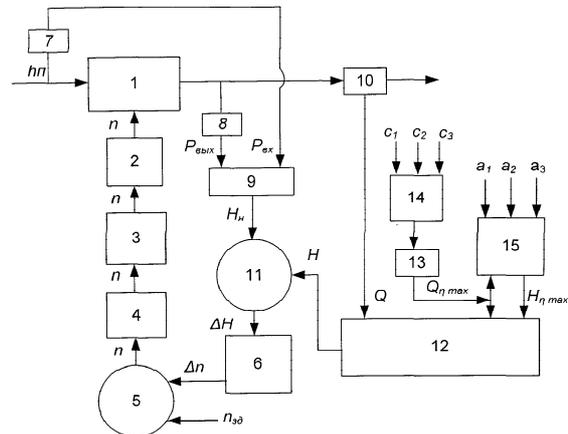
(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: turbine unit optimal control system comprises: a centrifugal pump, an electric motor, a device to change the speed of the centrifugal pump rotor, an automatic control system providing for the specified centrifugal pump rotor speed, a centrifugal pump rotor speed summer, an automatic controller unit, a pressure sensor at the pump inlet and a pressure sensor at the pump outlet, a centrifugal pump head metre, a liquid flow metre, a heads' comparing element, a unit to define the maximum efficiency lines of the centrifugal pump, a calculator of the maximum efficiency of the centrifugal pump, a unit for the approximation of the efficiency characteristic of the centrifugal pump, a unit for the approximation of the head characteristic of the centrifugal pump.

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

1 dwg



RU 2 4 9 8 1 1 5 C 1

RU 2 4 9 8 1 1 5 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 погружным электроцентробежным насосом (патент RU №2341004, опубл. 10.12.2008), содержащая блок задания диаграммы динамического 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 коэффициента 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 со вторым входом программного 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 со вторым блоком дифференцирования, выход которого соединен с первым входом сумматора, датчик регулируемого параметра соединен с входом блока дифференцирования, выход которого соединен со 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 коэффициента полезного действия турбоагрегата до максимально возможного.

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

регулирования, обеспечивающую заданную частоту вращения ротора центробежного насоса, датчик давления выходе из центробежного насоса, согласно изобретению установлены блок определения напора центробежного насоса, сумматор частот вращения ротора центробежного насоса, блок автоматического регулятора, блок  
5 определения напора центробежного насоса, устройство измерения расхода жидкости, элемент сравнения напоров, блок определения линии максимальных КПД центробежного насоса, вычислитель максимального КПД центробежного насоса, блок аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса, блок  
10 аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса, при этом выход блока аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса соединен с входом вычислителя максимального КПД центробежного насоса, выход которого соединен с входами блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса и определителя линии максимальных КПД, вход которого соединены с выходами  
15 датчика расхода и блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса, а выход с входом блока определения линии максимального КПД центробежного насоса, вход которого соединен с выходом элемента сравнения напоров, вход которого соединен с блоком определения напора центробежного  
20 насоса, а выход соединен с входом блока автоматического регулятора, который соединен с сумматором частот вращения ротора центробежного насоса, его выход соединен с входом системы автоматического регулирования, выход которой соединен с блоком изменения частоты вращения ротора центробежного насоса, его выход которого соединен с электродвигателем, который механически связан с центробежным  
25 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  
30 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  
35 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, сумматор 5 частот вращения ротора центробежного насоса 1, блок автоматического регулятора 6, датчик 7 давления на входе в центробежный насос 1 и  
45 датчик 8 давления на выходе из центробежного насоса 1, блок 9 определения напора центробежного насоса 1, устройство 10 измерения расхода жидкости, элемент 11 сравнения напоров, блок 12 определения линии максимальных КПД центробежного насоса 1, вычислитель 13 максимального КПД центробежного насоса 1, блок 14  
50 аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса 1, блок 15 аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса 1.

Устройство работает следующим образом. На блок 14 аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса 1 подают сигналы коэффициентов

характеристики КПД центробежного насоса  $c_1, c_2, c_3$ , где формируют сигнал характеристики КПД центробежного насоса по формуле:

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

5 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 регламентированных испытаний в процессе эксплуатации, соответственно  $c/m^3, c^2/m^6, c^3/m^9$ ;

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

Для паспортной частоты вращения сигнал характеристики КПД центробежного насоса подают на вычислитель 13 максимального КПД центробежного насоса, который вычисляет производительность центробежного насоса при максимальном

15 КПД  $Q_{\eta \max}$  по формуле:

$$Q_{\eta \max} = \frac{-c_2 - \sqrt{c_2^2 - 3c_1c_3}}{3c_3}$$

20 где  $Q_{\eta \max}$  - подача при максимальном КПД центробежного насоса,  $m^3/c$ .

Далее формируют сигнал, подаваемый на блок 15 аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса 1 и блок 12 определения линии максимальных КПД центробежного насоса 1. На блок 15 аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса 1 подаются сигналы коэффициентов напорной характеристики

25  $a_0, a_1, a_2$ , где формируют характеристика насоса по формуле:

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

где  $a_0, a_1, a_2$  - постоянные коэффициенты напорной характеристики центробежного насоса, определяемые по паспортным характеристикам турбоагрегатов или при

30 проведении регламентированных испытаний в процессе эксплуатации, соответственно  $m, c/m^2, c^2/m^5$ ;

$Q_{\eta \max}$  - подача при максимальном КПД центробежного насоса,  $m^3/c$  для паспортной частоты вращения напора. Далее вычисляют сигнал напора центробежного насоса 1 при максимальном КПД  $H_{\eta \max}$ , подаваемый на блок 12

35 определения линии максимального КПД центробежного насоса 1, где рассчитывается значение напора центробежного насоса 1 на линии максимального КПД, по формуле:

$$40 H = \frac{H_{\eta \max}}{Q_{\eta \max}^2} Q^2$$

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

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

45  $H$  - напор центробежного насоса на линии максимального КПД,  $m$ ;

на который подается сигнал расхода центробежного насоса  $Q$  с устройства 10 измерения расхода жидкости. Датчик 7 давления на входе в центробежный насос 1 и датчик 8 давления на выходе из центробежного насоса 1 подают сигналы

50 соответственно  $P_{вх}$  и  $P_{вых}$  на блок 9 определения напора центробежного насоса 1 по формуле:

$$H_H = b_0 + b_1 Q + b_2 Q^2,$$

где  $b_0, b_1, b_2$  - постоянные коэффициенты характеристики трубопровода,

соответственно м, с/м<sup>2</sup>, с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>.

Сигнал  $H_H$  подают на элемент 11 сравнения напоров центробежного насоса 1, который корректирует значение напора центробежного насоса 1 и формирует его в сигнал рассогласования  $\Delta H$ , подаваемый на блок автоматического регулятора 6. Блок автоматического регулятора 6 формирует корректирующее значение частоты вращения ротора центробежного насоса  $\Delta n$  по формуле:

$$\left( H_H - \frac{H_{\eta_{\max}}}{Q_{\eta_{\max}}^2} Q^2 \right) k = \Delta \left( \frac{n}{n_0} \right)$$

где  $k$  - коэффициент усиления автоматического регулятора.

Сигнал корректирующего значения частоты вращения ротора центробежного насоса  $\Delta n$  подают на сумматор 5 частот вращения ротора центробежного насоса 1, где данный сигнал суммируются с заданным. На сумматоре 5 частот формируется сигнал частоты вращения  $n$ , подаваемый в систему 4 автоматического регулирования. Система 4 автоматического регулирования формирует сигнал изменения частоты вращения  $n$  и подает на блок 3 изменения частоты вращения ротора центробежного насоса 1, которое задает частоту вращения ротора электродвигателя 2, механически соединенного с центробежным насосом 1.

Таким образом, уравнения напорной характеристики центробежного насоса, автоматического регулятора совместно с уравнением характеристики трубопровода однозначно определяют режим работы с максимальным КПД, независимо от задания начальной скорости и характеристики трубопровода.

#### Формула изобретения

Система оптимального управления турбоагрегатом, включающая центробежный насос, электродвигатель, блок изменения частоты вращения ротора центробежного насоса, систему автоматического регулирования, обеспечивающую заданную частоту вращения ротора центробежного насоса, датчик давления на выходе из центробежного насоса, отличающаяся тем, что в ней установлены блок определения напора центробежного насоса, сумматор частот вращения ротора центробежного насоса, блок автоматического регулятора, блок определения напора центробежного насоса, устройство измерения расхода жидкости, элемент сравнения напоров, блок определения линии максимальных КПД центробежного насоса, вычислитель максимального КПД центробежного насоса, блок аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса, блок аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса, при этом выход блока аппроксимации характеристики КПД центробежного насоса соединен с входом вычислителя максимального КПД центробежного насоса, выход которого соединен с входами блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса и определителя линии максимальных КПД, вход которого соединен с выходами датчика расхода и блока аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса, а его выход соединен с входом блока определения линии максимального КПД центробежного насоса, вход которого соединен с выходом элемента сравнения напоров, вход которого соединен с блоком определения напора центробежного насоса, а его выход соединен с входом блока автоматического регулятора, который соединен с сумматором частот вращения ротора центробежного насоса, его выход соединен с входом системы автоматического регулирования, выход которой соединен с блоком изменения частоты вращения ротора центробежного насоса, его выход соединен с электродвигателем, который

механически связан с центробежным насосом.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50