

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2476728

### СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОАГРЕГАТАМИ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011126578

Приоритет изобретения 28 июня 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 февраля 2013 г.

Срок действия патента истекает 28 июня 2031 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2011126578/06, 28.06.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 28.06.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.06.2011

(45) Опубликовано: 27.02.2013

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2157468 C1, 10.10.2000. RU 2016252 C1, 15.07.1994. RU 88167 U1, 27.10.2009. US 2011081255 A, 07.04.2011. DE 3225141 A1, 16.02.1984.

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2, ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный горный университет", отдел ИС и ТТ

(72) Автор(ы):

Кабанов Олег Васильевич (RU),  
Самоленков Сергей Викторович (RU),  
Ледовский Григорий Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

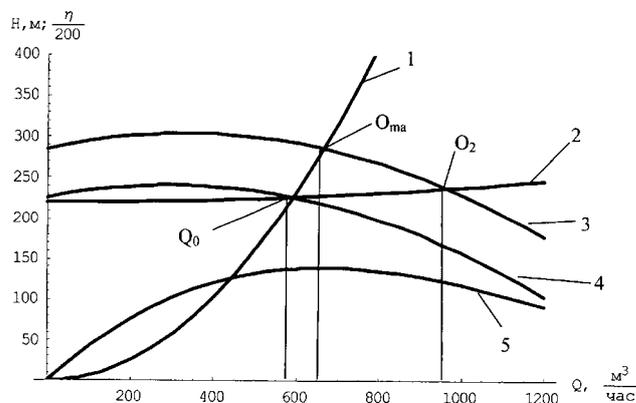
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный университет" (RU)

## (54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОАГРЕГАТАМИ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области управления турбоагрегатами, в частности нефтеперекачивающими, водоотливными и компрессорными установками, включающими центробежные или осевые машины. Для изменения скорости вращения роторов турбоагрегатов формируют управляющий сигнал, обеспечивающий максимальное значение КПД. Для этого паспортные характеристики турбоагрегатов аппроксимируют полиномами, по которым определяют аналитическое выражение для максимального КПД и уравнение линии равных КПД, которое решают совместно с уравнением нагрузки, в частности трубопровода. Результат этого решения используют для определения значения частоты вращения

турбоагрегатов путем решения уравнения их напорной характеристики относительно частоты вращения, которое используют в качестве задания для устройства изменения частоты вращения роторов. Изобретение направлено на получение максимально возможного КПД турбоагрегатов независимо от характеристики трубопровода. 1 ил.



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.

Известен "Способ определения расходной характеристики насосной установки" (патент RU N 1783869, опуб. 29.11.1990). Недостатками этого способа является то, что не предусмотрено регулирование заданного расхода путем изменения числа оборотов вала насоса, это не позволяет их использовать как регуляторы расхода. Поэтому их применение как регуляторов расхода требует дополнительной установки в потоке жидкости регуляторов давления, что ведет к дополнительным капитальным и эксплуатационным затратам.

Известен «Способ регулирования расхода центробежного электронасоса» (патент RU N 2157468, опубл. 10.10.2000), взятый за прототип. Согласно изобретению при регулировании расхода измеряют активную мощность, потребляемую электродвигателем привода из сети, и вычисляют мощность, действующую на валу насоса с учетом коэффициента полезного действия электродвигателя и эксплуатационного коэффициента полезного действия насосной установки, определяемого при ее работе на закрытую задвижку, измеряют давления на входе и выходе насоса, измеряют частоту питающей сети или число оборотов электродвигателя привода насоса. Расход жидкости, подаваемой центробежным электронасосом, регулируют путем изменения числа оборотов.

Недостаток способа заключается в отсутствии возможности поддержания максимального значения КПД при изменении характеристики трубопровода.

Техническим результатом является получение максимально возможного коэффициента полезного действия турбоагрегатов независимо от характеристики трубопровода.

Технический результат достигается тем, что в способе управления турбоагрегатами для перекачки жидкостей и газов, включающем использование рабочих характеристик турбоагрегатов H-Q при номинальной частоте вращения и изменение частоты вращения их роторов, формируют управляющий сигнал, для чего рабочие характеристики турбоагрегатов H-Q и КПД-Q аппроксимируют аналитическими зависимостями, по которым определяют значение максимального КПД и уравнение линии равных максимальных КПД, которое решают совместно с уравнением нагрузки, в частности трубопровода, и затем результат этого решения используют для определения значения частоты вращения роторов турбоагрегатов путем решения уравнения их напорной характеристики относительно частоты вращения роторов, которую используют в качестве задания для изменения частоты вращения роторов.

Суть способа заключается в следующем. Паспортную характеристику (H-Q) выбранного насоса и КПД аппроксимируют при номинальной частоте вращения аналитическими зависимостями, например полиномами,

$$H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2, \quad (1)$$

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

где  $a_0, a_1, a_2, c_1, c_2, c_3$  - постоянные коэффициенты, определяемые по паспортным характеристикам турбоагрегатов или при проведении регламентированных испытаний в процессе эксплуатации, Q - производительность, H - напор.

Исследуя формулу (2) на экстремум, получают значения производительности и напора турбоагрегата при максимальном КПД:

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

$$H_{\max} = a_0 + a_1 Q_{\max} + a_2 Q_{\max}^2, \quad (3)$$

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

Используя законы подобия турбомашин, определяют уравнение линии максимальных значений КПД для выбранного насоса:

$$H = \frac{H_{\max}}{Q_{\max}^2} Q^2. \quad (4)$$

Используя известные формулы для разных зон гидравлического трения характеристику трубопровода получают в аналитической форме, например в виде полинома второй степени:

$$H = b_0 + b_1 Q + b_2 Q^2, \quad (5)$$

где  $b_0, b_1, b_2$  - постоянные коэффициенты, определяемые при проектном расчете трубопровода или регламентированных испытаниях.

Совместное решение уравнений (4) и (5) определяет режимные параметры ( $H_0$ ,  $Q_0$ ) турбоагрегата установки при ее работе с максимальным КПД на трубопровод с заданными параметрами.

$$H_0 = b_0 + \frac{b_2 b_3 H_{\max} Q_{\max}^2}{(-H_{\max} + b_2 Q_{\max}^2)^2} + \frac{b_1^2 b_2 Q_{\max}^4}{2(-H_{\max} + b_2 Q_{\max}^2)^2} - \frac{b_0 b_2^2 Q_{\max}^4}{(-H_{\max} + b_2 Q_{\max}^2)^2} - \frac{b_1^2 Q_{\max}^2}{2(-H_{\max} + b_2 Q_{\max}^2)} +$$

$$+ \frac{b_1 b_2 Q_{\max} \sqrt{4b_0 H_{\max} Q_{\max}^2 + b_1^2 Q_{\max}^4 - 4b_0 b_2 Q_{\max}^4}}{2(-H_{\max} + b_2 Q_{\max}^2)^2} - \frac{b_1 \sqrt{4b_0 H_{\max} Q_{\max}^2 + b_1^2 Q_{\max}^4 - 4b_0 b_2 Q_{\max}^4}}{2(-H_{\max} + b_2 Q_{\max}^2)}$$

$$Q_0 = \frac{-b_1 Q_{\max}^2 - \sqrt{4b_0 H_{\max} Q_{\max}^2 + b_1^2 Q_{\max}^4 - 4b_0 b_2 Q_{\max}^4}}{2(-H_{\max} + b_2 Q_{\max}^2)}. \quad (6)$$

При переменной частоте вращения ротора насоса уравнение напорной характеристики приобретает вид:

$$H = a_0 \left( \frac{n}{n_{\text{пасп}}} \right)^2 + a_1 \frac{n}{n_{\text{пасп}}} Q + a_2 Q^2. \quad (7)$$

Подставляя величины ( $H_0$ ,  $Q_0$ ) в это уравнение (7) и решая его относительно  $n/n_{\text{пасп}}$ , получаем значение частоты вращения роторов турбоагрегатов, при которой они будут работать с максимальным КПД:

$$n = n_{\text{пасп}} \frac{-Q_0 a_1 + \sqrt{Q_0^2 (a_1^2 - 4a_0 a_2) + 4a_0 H_0}}{2a_0}. \quad (8)$$

Это значение частоты вращения используется в качестве задания для устройств, обеспечивающих работу турбоагрегатов при переменной скорости вращения ротора. Оно может быть определено как на стадии проектирования насосных и компрессорных станций, так и при эксплуатации.

В качестве примера возьмем данные по одной из насосных водоотливных установок, включающих насос ЦНСГ 850-240.

Для этого насоса  $a_0=285$  м,  $a_1=0,1143$  ч/м<sup>2</sup>,  $a_2=0,0001694$  ч<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>,  $c_1=0,237 \cdot 10^{-2}$ ,  $c_2=0,024 \cdot 10^{-4}$ ,  $c_5=0,62 \cdot 10^{-9}$ .

По формулам (3)  $Q_{\max}=665$  м<sup>3</sup>/ч,  $H_{\max}=286$  м,  $\eta_{\max}=0,691$ .

$$H = \frac{286}{665^2} Q^2$$

По формуле (4)

Для характеристики трубопровода получим  $b_0=220$  м,  $b_1=0$ ,  $b_2=0,0000186$  ч<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>.

Совместное решение уравнений (4) и (5) определит режимные параметры регулируемого турбоагрегата  $H_0=226,5$  м,  $Q_0=592$  м<sup>3</sup>/ч,  $\eta_{\max}=0,697$ .

Подставляя эти значения в формулу (8), получим  $n=0,89n_{\text{пасп}}$ .

Для нерегулируемого турбоагрегата  $H=237$  м,  $Q_2=965$  м<sup>3</sup>/ч,  $\eta = 0,609$ ,  $n=n_{\text{пасп}}$ .

При изменении характеристики трубопровода режимные параметры регулируемого насоса изменятся, а КПД останется равным своему максимальному значению. Результаты расчета показаны на чертеже. Определение режимных параметров работы насосной установки: 1 - линия рабочих режимов, 2 -

характеристика трубопровода, 3 - естественная характеристика насосной установки ( $\bar{\omega} = 1$ ), 4 -

регулирующая характеристика насосной установки ( $\bar{\omega} \neq 1$ ), 5 - график КПД.

### Формула изобретения

Способ управления турбоагрегатами для перекачки жидкостей и газов, включающий использование рабочих характеристик турбоагрегатов  $H-Q$  при номинальной частоте вращения и изменение частоты вращения их роторов, отличающийся тем, что формируют управляющий сигнал, для чего рабочие характеристики турбоагрегатов  $H-Q$  и КПД- $Q$  аппроксимируют аналитическими зависимостями, по которым определяют значение максимального КПД и уравнение линии равных максимальных КПД, которое решают совместно с уравнением нагрузки, в частности трубопровода, и затем результат этого решения используют для определения значения частоты вращения роторов турбоагрегатов путем решения уравнения их напорной характеристики относительно частоты вращения роторов, которую используют в качестве задания для изменения частоты вращения роторов.