



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010111743/06, 07.08.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.08.2008

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
29.08.2007 GB 0716789.3

(45) Опубликовано: 10.11.2011 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 5284026 A, 08.02.1994. US 4405290 A,
20.09.1983. EP 1555438 A, 20.07.2005. SU
1666809 A1, 30.07.1991. SU 1590673 A1,
09.09.1990. SU 1687897 A1, 30.10.1991.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 29.03.2010

(86) Заявка РСТ:
GB 2008/002679 (07.08.2008)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2009/027623 (05.03.2009)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул.Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. А.В.Мишу, рег.№ 364

(72) Автор(ы):

ПАУЭЛЛ Джеффри Джордж (GB)

(73) Патентообладатель(и):

ГАРДНЕР ДЕНВЕР ДОЙЧЛАНД
ГМБХ (DE)

(54) УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ КОМПРЕССОРОМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к усовершенствованию компрессоров, и более конкретно к усовершенствованию способа управления динамическими компрессорами с регулируемой частотой вращения, для исключения перегрузки двигателя вследствие дросселирования. Изобретение предлагает способ управления компрессором для получения сжатого воздуха с заданным давлением нагнетания (P_t) и предотвращения чрезмерного потребления мощности двигателя, причем компрессор приводится в действие от двигателя с регулируемой частотой вращения,

имеющего обмотки двигателя, при котором температуру газа на входе (T_{in}), давление нагнетания газа на выходе (P_d), частоту вращения двигателя (V_m) и температуру обмоток двигателя (T_{mw}) непрерывно измеряют во время работы компрессора. Температуру газа на входе (T_{in}) используют для определения предварительно заданного предельного значения максимальной температуры обмотки двигателя (T_{mwmax}). Максимальную температуру обмотки двигателя (T_{mwmax}) используют для задания предельного значения частоты вращения двигателя (V_{mmax}). Максимальную частоту

вращения двигателя (V_{mmax}), заданное давление нагнетания (P_t) и давление нагнетания газа на выходе (P_d) используют для управления текущей частотой вращения двигателя (V_m), поддерживая ее ниже

предельного значения максимальной частоты вращения двигателя (V_{mmax}). Технический результат изобретения - исключение перегрузки двигателя. 3 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2 4 3 3 3 1 1 C 1

RU 2 4 3 3 3 1 1 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2010111743/06, 07.08.2008**

(24) Effective date for property rights:
07.08.2008

Priority:

(30) Priority:
29.08.2007 GB 0716789.3

(45) Date of publication: **10.11.2011 Bull. 31**

(85) Commencement of national phase: **29.03.2010**

(86) PCT application:
GB 2008/002679 (07.08.2008)

(87) PCT publication:
WO 2009/027623 (05.03.2009)

Mail address:

**129090, Moskva, ul.B.Spasskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. A.V.Mitsu, reg.№ 364**

(72) Inventor(s):

PAUEhLL Dzheffri Dzhordzh (GB)

(73) Proprietor(s):

**GARDNER DENVER DOJChLAND GMBKh
(DE)**

(54) IMPROVEMENT OF COMPRESSOR CONTROL METHOD

(57) Abstract:

FIELD: engines and pumps.

SUBSTANCE: invention proposes a method to control a compressor to produce compressed air with specified pressure of injection (P_1) and to prevent excessive consumption of engine capacity, besides, the compressor is actuated from the engine with controlled rotation frequency, with engine windings, at which the gas temperature at the inlet (T_{in}), gas injection pressure at the discharge (P_d), engine rotation frequency (V_m) and temperature of engine windings (T_{mw}) are continuously measured during operation of the compressor. Gas temperature at the

inlet (T_{in}) is used to determine previously specified limit value of maximum temperature of engine winding (T_{mwmax}). Maximum temperature of engine winding (T_{mwmax}) is used to specify the limit value of the engine rotation frequency (V_{mmax}). Maximum frequency of engine rotation (V_{mmax}), the specified pressure of injection (P_t) and pressure of gas injection at the discharge (P_d) are used to control the current frequency of engine rotation (V_m), keeping it below the limit value of the maximum engine rotation frequency (V_{mmax}).

EFFECT: avoidance of engine overload.

1 cl, 3 dwg

Изобретение относится к усовершенствованиям компрессоров, и более конкретно к усовершенствованию способа управления динамическими компрессорами с регулируемой частотой вращения двигателя, для исключения перегрузки двигателя вследствие дросселирования.

Динамические компрессоры с регулируемой частотой вращения двигателя, такие как центробежные компрессоры, используются для сжатия воздуха или других газов с 1960-х годов. Центробежные компрессоры, которые содержат цилиндрический узел лопаток компрессора, установленный на валу, широко используются во многих областях по ряду причин. Для них, как правило, характерно низкое электропотребление, низкие эксплуатационные расходы, так как они имеют мало подвижных частей, и они обычно дают более высокий расход воздуха, чем поршневой компрессор того же размера.

Рабочие характеристики компрессора в целом определяются соотношением между степенью сжатия и объемным или массовым расходом. Однако его полезный рабочий диапазон ограничивается такими явлениями, как помпаж, дросселирование, а также максимально допустимой частотой вращения компрессора.

В динамических компрессорах с регулируемой частотой вращения двигателя, работающих с заданным давлением нагнетания, расход воздуха через компрессор может быть увеличен путем увеличения частоты вращения компрессора. Состояние дросселирования встречается при больших потоках, когда увеличение частоты вращения компрессора дает убывающую зависимость увеличения расхода. Когда поток в любой точке компрессора достигает состояния дросселирования, дальнейшее увеличение расхода становится невозможным. Это состояние соответствует максимальному объемному расходу компрессора как функции степени сжатия. Конструкторы компрессоров пытались найти способы для предотвращения дросселирования во время работы компрессора, чтобы получить максимальную эффективность компрессора.

Температура воздуха (или другого сжимаемого газа) на входе определяет, сколько мощности потребуется для сжатия воздуха до заданной степени сжатия, т.е. для сжатия заданного объема холодного, более плотного воздуха может потребоваться больше мощности, чем для теплого, менее плотного воздуха. Таким образом, выходная мощность привода компрессора является функцией его частоты вращения и крутящего момента, причем крутящий момент является функцией давления на выходе компрессора и температуры воздуха на входе.

Увеличение частоты вращения приводного двигателя компрессора неизбежно влечет за собой увеличение мощности двигателя, что ведет к соответствующему увеличению температуры обмотки двигателя. Одна из проблем, встречающихся при попытке защитить компрессоры от дросселирования и избежать чрезмерно высоких температур обмотки двигателя, состоит в том, что мощность трудно измерить напрямую. Поэтому одним из предложенных решений по предшествующему уровню техники была работа компрессора с фиксированными предельными значениями частоты вращения и мощности. В случае выхода за границы этих предельных значений требуется вмешательство, причем идеальная защита обеспечивается путем останова машины при достижении предельных значений. Однако понятно, что это решение не применимо для нормальной коммерческой эксплуатации компрессора.

Поэтому технической задачей настоящего изобретения является создание способа управления мощностью, использующего измерения других параметров, как средства предотвращения дросселирования путем исключения перегрузки двигателя.

Соответственно изобретение предлагает способ управления компрессором для получения заданного давления нагнетания сжатого воздуха и предотвращения чрезмерного потребления мощности двигателя, причем компрессор приводится в действие от двигателя с регулируемой частотой вращения, имеющего обмотки двигателя, при котором температуру газа на входе, давление нагнетания газа на выходе, частоту вращения двигателя и температуру обмоток двигателя непрерывно измеряют во время работы компрессора; температуру газа на входе используют для определения предварительно заданного предельного значения максимальной температуры обмотки двигателя; максимальную температуру обмотки двигателя используют для задания предельного значения частоты вращения двигателя; и максимальную частоту вращения двигателя, заданное давление нагнетания и давление нагнетания газа на выходе используют для управления текущей частотой вращения двигателя, поддерживая ее ниже предельного значения максимальной частоты вращения двигателя.

Далее будет описан предпочтительный вариант воплощения настоящего изобретения, исключительно в качестве примера, со ссылкой на прилагаемые чертежи.

Фиг.1 - схема двойного контура обратной связи с пропорционально-интегрально-дифференциальным регулятором (ПИД-регулятором), используемого блоком управления по настоящему изобретению для управления работой компрессора.

Фиг.2 - график, показывающий зависимость температуры обмотки двигателя от мощности для различных значений температуры воздуха на входе.

Фиг.3 - график, показывающий зависимость температуры обмотки двигателя от температуры воздуха на входе.

В настоящем изобретении динамический компрессор, такой как центробежный компрессор, приводится в действие от двигателя с регулируемой частотой вращения, и его работой управляет блок управления. Имеется человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) для обеспечения возможности задания определенных параметров.

Назначением компрессора является подача воздуха (или другого газа) с заданным давлением P_d нагнетания в количестве, соответствующем потребности в воздухе. Для обеспечения этого изменяют частоту вращения компрессора, и тем самым расход на выходе. Для защиты компрессора устанавливаются определенные предельные значения максимальных температуры обмотки, мощности и частоты вращения приводного двигателя. Максимальная частота V_{max} вращения задается такой, что она обеспечивает работу компрессора в границах его заданных предельных значений. Минимальная частота V_{min} вращения используется для обозначения точки, в которой в компрессоре возникает помпаж, и компрессор разгружается для уменьшения давления P_d нагнетания. Необходимо отметить, что эти значения приведены в качестве примера работы для одной конкретной комбинации компрессора и двигателя. Они, конечно, могут варьироваться для разных компрессоров и разных двигателей.

В настоящем изобретении блок управления программируется для использования двойного контура обратной связи с пропорционально-интегрально-дифференциальным регулятором (ПИД-регулятором), как показано на фиг.1, отдельные контуры которого описаны ниже.

Управление давлением

Первый контур обратной связи с ПИД-регулятором использует измеренное давление P_d нагнетания в качестве его входного сигнала управления и частоту V_m вращения двигателя в качестве его выходного сигнала управления. Данный контур

обратной связи с ПИД-регулятором находится в нижней части схемы на фиг.1. П-компонент и И-компонент (пропорциональная составляющая и интегральная составляющая) устанавливаются на ЧМИ (Д-компонент - дифференциальная составляющая - в данном случае не требуется), и измеренное давление P_d нагнетания является переменной процесса, которая сравнивается с заданным (требуемым) давлением P_t (также устанавливаемым на ЧМИ). Если давление P_d нагнетания превышает заданное давление P_t , частота V_m вращения двигателя уменьшается согласно уравнению ПИД-регулятора. Если давление P_d нагнетания падает ниже заданного давления P_t , частота V_m вращения двигателя увеличивается до максимальной частоты V_{mmax} вращения двигателя.

Управление максимальной частотой вращения

Измеренная температура T_{mw} обмотки двигателя используется в качестве входного сигнала управления (переменной процесса) во втором контуре обратной связи с ПИД-регулятором для регулировки предельного значения максимальной частоты V_{mmax} вращения двигателя (выходной сигнал управления), и тем самым удержания температуры T_{mw} обмотки двигателя в заданных пределах. Данный второй контур обратной связи располагается в верхней части на чертеже фиг.1. П-, И- и Д-компоненты также устанавливаются на ЧМИ, и измеренная температура T_{mw} обмотки двигателя является переменной процесса, которая сравнивается с максимальной температурой T_{mwmax} обмотки двигателя. Это позволяет при максимально возможной частоте V_{mmax} вращения двигателя поддерживать требуемое давление P_d нагнетания.

Управление максимальной мощностью

Как было указано выше, мощность W_m двигателя необходима, чтобы реагировать на требования конкретной ситуации в зависимости от температуры T_{in} воздуха на входе. Так как максимальная температура T_{mwmax} обмотки двигателя является также функцией температуры T_{in} воздуха на входе, мощностью W_m двигателя можно управлять, используя температуру T_{mw} обмотки двигателя.

В настоящем изобретении значения максимальной температуры T_{mwmax} обмотки двигателя получены на опытно-испытательной установке (ОИУ) и используются для построения графика на фиг.2, применяя измерения в стационарном режиме при различных условиях по давлению и температуре. График показывает, что для конкретного фиксированного значения температуры T_{in} воздуха на входе существует линейная зависимость между мощностью W_m двигателя и температурой T_{mw} обмотки двигателя. Кроме того, требуемая мощность W_m двигателя уменьшается линейно с температурой T_{in} воздуха на входе.

Имеются также два фиксированных предельных значения, показанные на фиг.2. Они определяются реальной конструкцией машины и представляют собой конструктивно максимальную температуру T_{mwdes} обмотки двигателя и конструктивно максимальную мощность W_{mdes} двигателя.

График на фиг.2 используется для построения кривой на фиг.3 путем нанесения зависимости mT от T_{in} при конструктивно максимальной мощности двигателя W_{mdes} . При температурах на входе выше места пересечения конструктивно максимальной температуры и конструктивно максимальной мощности максимальная температура mT ограничивается конструктивно максимальной температурой T_{mwdes} , а температура на входе T_{in} не влияет на нее. Таким образом, значение максимальной температуры T_{mwmax} обмотки двигателя может быть вычислено для T_{in} ниже K_t по

следующей формуле:

$$T_{mwm\max} = m \cdot T_{in} + c,$$

где «m» - тангенс угла наклона кривой, зависящий от температуры воздуха на входе T_{in} , «c» - константа, зависящая от места пересечения конструктивно максимальной температуры и температуры на входе K_t на фиг.2:

$$m = (T_{mwdes} - T_{mw0}^{\circ C}) / K_t = (150 - 130) / 13 = 1,548 \text{ (для данного примера)}$$

$$c = T_{mw0}^{\circ C} \text{ (для данного примера)}$$

Как можно увидеть на фиг.3, чтобы обеспечить нахождение характеристики в заданных пределах, выше K_t ($13^{\circ}C$) предельным лимитирующим параметром является температура T_{mw} обмотки, тогда как ниже K_t ($13^{\circ}C$) предельным лимитирующим параметром является мощность W_m . Однако, принимая во внимание почти линейный характер кривых и температуру K_t ($13^{\circ}C$) в месте пересечения T_{mw} и W_m , можно увидеть, что максимальная температура обмотки двигателя $T_{mwm\max}$ при низких температурах может быть уменьшена пропорционально температуре T_{in} воздуха на входе, оставаясь при этом все еще равной абсолютному максимальному значению T_{setmax} при других температурах. Таким образом:

$$\text{если } T_{in} < K_t, T_{mwm\max} = m \cdot T_{in} + T_{mw0}^{\circ C},$$

$$\text{иначе } T_{mwm\max} = T_{setmax}$$

Изобретение, таким образом, основано на том принципе, что уменьшение максимальной температуры $T_{mwm\max}$ обмотки будет вызывать уменьшение максимальной частоты $V_{m\max}$ вращения, в результате чего будет уменьшаться текущая частота V_m вращения, и тем самым управлять текущей температурой T_{mw} обмотки, которая управляет мощностью W_m . Здесь контуры обратной связи с ПИД-регулятором объединены, как показано на фиг.1, чтобы обеспечить централизованное управление мощностью W_m двигателя, что дает возможность оператору предотвратить дросселирование. Первый контур обратной связи управляет частотой вращения двигателя и тем самым частотой V_m вращения компрессора в границах до максимального предельного значения частоты $V_{m\max}$ вращения, вычисленного вторым контуром обратной связи. Измеренная температура T_{mw} обмотки двигателя передается на второй контур обратной связи, который сравнивает ее с вычисленной максимальной температурой обмотки двигателя $T_{mwm\max}$, основанной на измеренной температуре T_{in} на входе, для обеспечения максимальной рабочей частоты $V_{m\max}$ вращения, которая передается обратно на первый контур обратной связи.

Способ по настоящему изобретению основан на измерениях в стационарном режиме и не может использоваться для условий пускового периода машины. Однако, если ограничение мощности является главным для управления температурой обмотки двигателя или состоянием дросселирования, это не будет являться проблемой. Если имеются другие ограничения из-за ускорения, не перекрываемого ограничителем тока частотно-регулируемого привода, то время пускового периода должно было бы регулироваться в частотно-регулируемом приводе.

Формула изобретения

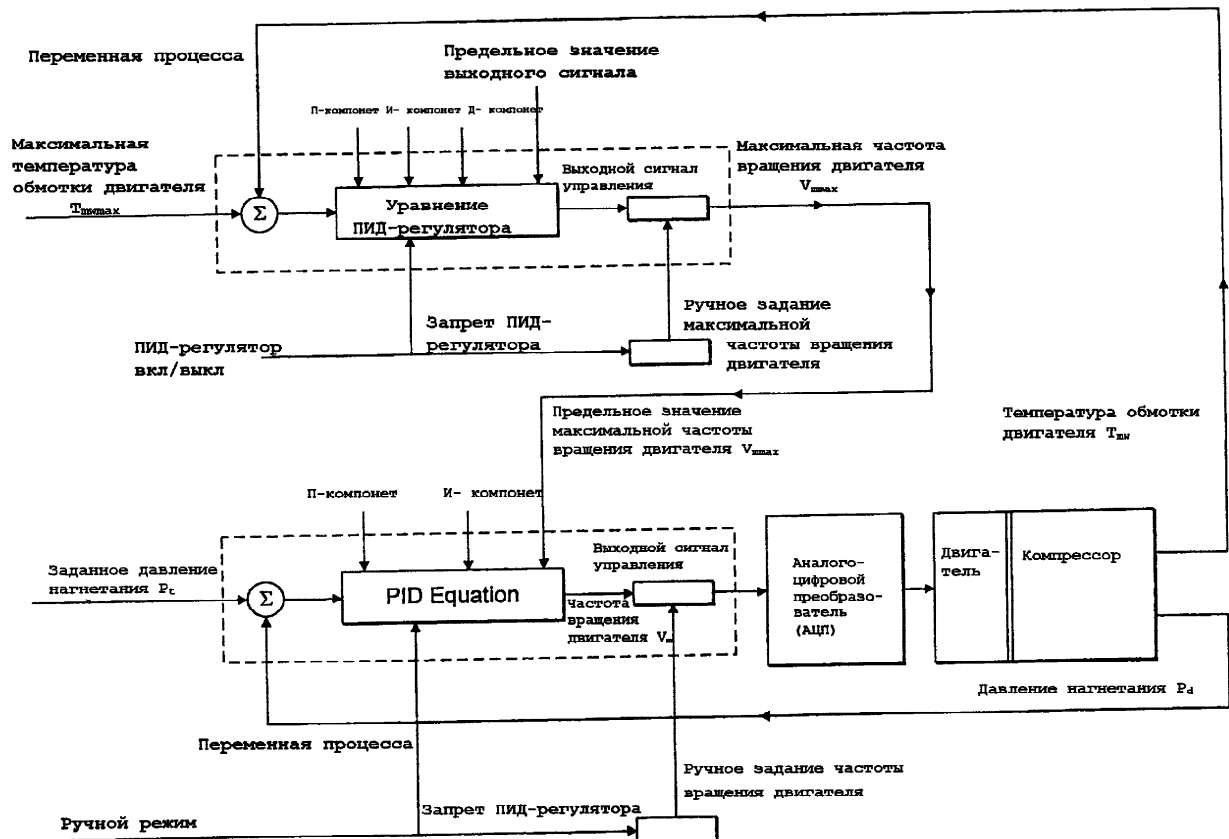
1. Способ управления компрессором для получения сжатого воздуха с заданным давлением нагнетания и предотвращения чрезмерного потребления мощности двигателя, причем компрессор приводится в действие от двигателя с регулируемой частотой вращения, имеющего обмотки двигателя, при котором температуру газа на входе, давление нагнетания газа на выходе, частоту вращения двигателя и

температуру обмоток двигателя непрерывно измеряют во время работы компрессора; температуру газа на входе используют для определения предварительно заданного предельного значения максимальной температуры обмотки двигателя; максимальную температуру обмотки двигателя используют для задания предельного значения максимальной частоты вращения двигателя; и максимальную частоту вращения двигателя, заданное давление нагнетания и давление нагнетания газа на выходе используют для управления текущей частотой вращения двигателя, поддерживая ее ниже предельного значения максимальной частоты вращения двигателя.

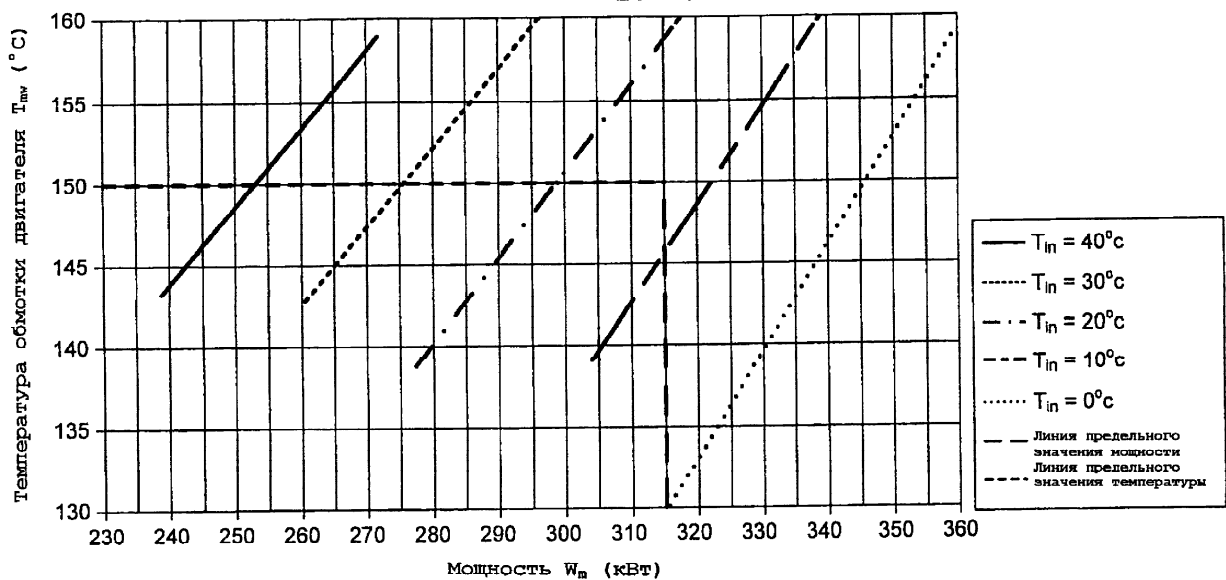
2. Способ по п.1, при котором для определения предельного значения максимальной частоты вращения двигателя используют двойной контур обратной связи с ПИД-регулятором.

3. Способ по п.2, при котором давление нагнетания газа на выходе передают в качестве входного сигнала управления на первый контур обратной связи, выходным сигналом управления которого является частота вращения двигателя.

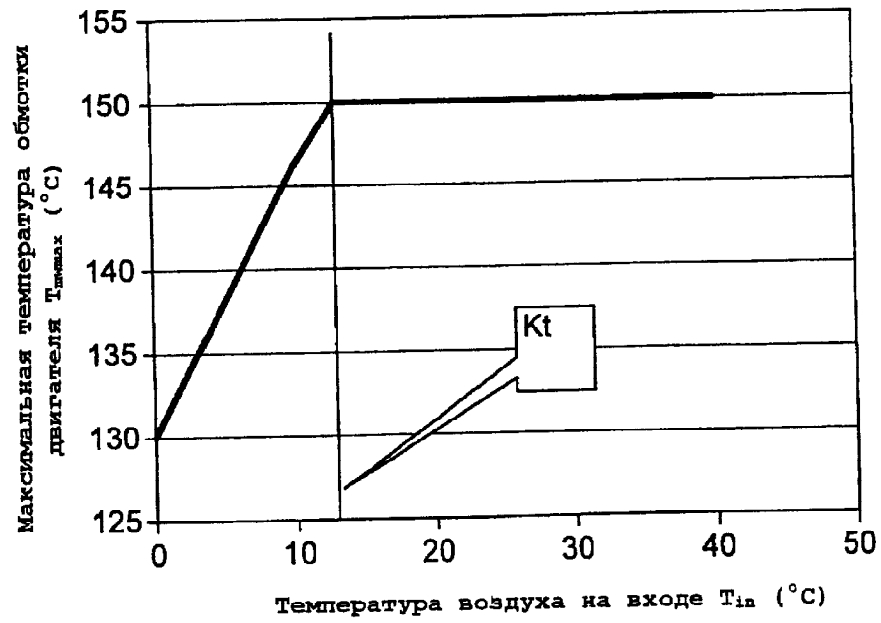
4. Способ по любому из пп.2 и 3, в котором измеренную температуру обмотки двигателя передают в качестве входного сигнала управления на второй контур обратной связи, выходным сигналом управления которого является максимальная частота вращения двигателя.



ФИГ. 1



ФИГ. 2



— «Для всех давлений»
 — Зависит от конкретной машины

ФИГ.3