

УДК 622.691.4

А.А. Коршак, Т.В. Козлова

## ЗАВИСИМОСТИ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Предложен метод обработки характеристик центробежных нагнетателей (ЦН) природного газа для получения универсальных зависимостей объемной производительности, к.п.д. и мощности от степени сжатия и относительного числа оборотов ротора ЦН.

Ключевые слова: газопровод, центробежный нагнетатель, объемная производительность, к.п.д., мощность, степень сжатия.

**Р**асчет режимов работы компрессорной станции магистрального газопровода и загрузки газоперекачивающих агрегатов ведется с использованием характеристик ЦН, построенных по результатам стендовых испытаний при нормальных физических параметрах газа и частот вращения ротора нагнетателя. Один из вариантов характеристик для ЦН, эксплуатируемых на станциях магистральных газопроводов по состоянию на 1985 г., [1] представлен на рис. 1 в виде зависимости степени сжатия  $\epsilon$ , приведенной относительной внутренней мощности  $[N_i/\rho_{в}]_{пр}$  и к.п.д. ЦН  $\eta_{пол}$  от приведенной подачи  $Q_{пр}$ , при различных значениях приведенных относительных оборотов  $(n/n_H)_{пр}$ .

Характеристики такого вида позволяют относительно легко решать прямую задачу, т.е. определить степень сжатия, к.п.д. и мощность при известном расходе газа на входе нагнетателя и числе оборотов ротора ЦН.

Однако на практике при аналитическом расчете режимов работы компрессорных станций часто приходится решать обратную задачу – определение оптимального числа оборотов ротора ЦН при известном расходе газа и заданной степени сжатия нагнетателя. Эта задача обычно решается методом последовательных приближений, что приводит к существенным ошибкам как за счет погрешности измерения, так и за счет вычислений.

В связи с этим было предложено обрабатывать результаты стендовых испытаний ЦН в специальных асимптотических координатах для полу-

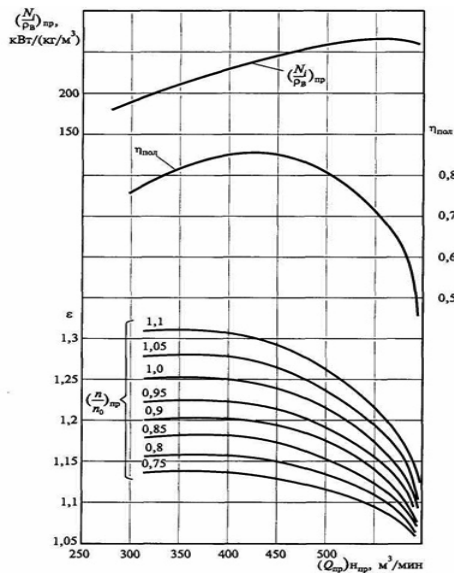


Рис. 1. Вид приведенных характеристик ЦН по каталогу 1985 г.

чения универсальной аппроксимирующей зависимости оптимального числа оборотов ротора ЦН от расхода газа и степени сжатия нагнетателя [2].

Нами были получены универсальные зависимости для определения степени сжатия нагнетателя и оптимального числа оборотов ротора ЦН для всех типов ЦН, представленных в [1], которые имеют следующий вид

$$\varepsilon = A + B \cdot \left( \frac{n}{n_n} \right)_{np} + C \cdot \exp\left( \frac{D}{Q_{np}} \right) \cdot \left( E - F \cdot \left( \frac{n}{n_n} \right)_{np} \right), \quad (1)$$

Где  $A, B, C, D, E, F$  - безразмерные коэффициенты, полученные в результате аппроксимации.

Искомое значение  $(n/n_n)_{np}$  при известных  $Q_{вс}$  и  $\varepsilon$  будет являться решением уравнения

$$A + B \cdot \left( \frac{n}{n_n} \right)_{np} + C \cdot \exp\left( \frac{D \cdot (n/n_n)_{np}}{Q_{вс} \sqrt{\frac{z_{np} \cdot R_{np} \cdot T_{np}}{z_{вс} \cdot R_{вс} \cdot T_{вс}}}} \right) \cdot \left( E - F \cdot \left( \frac{n}{n_n} \right)_{np} \right) - \varepsilon = 0 \quad (2)$$

Помимо этого, были получены зависимости для определения приведенной относительной внутренней мощности и политропического к.п.д. от приведенной объемной производительности:

$$\eta_{пол} = G \cdot Q_{np}^3 + H \cdot Q_{np}^2 + I \cdot Q_{np} + J, \quad (3)$$

Газодинамические характеристики компрессора 370-18-1,  
расчётные величины:  $k = 1.312, Z = 0.888, R = 507.9$  Дж/(кг.К),  $T_n = 288$ К,  $n_{ном} = 4800$  об/мин

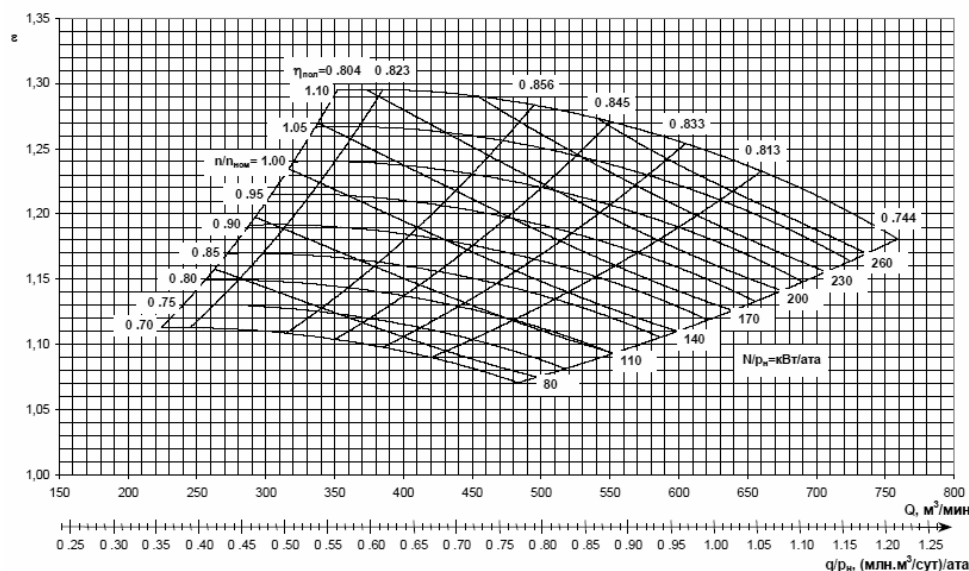
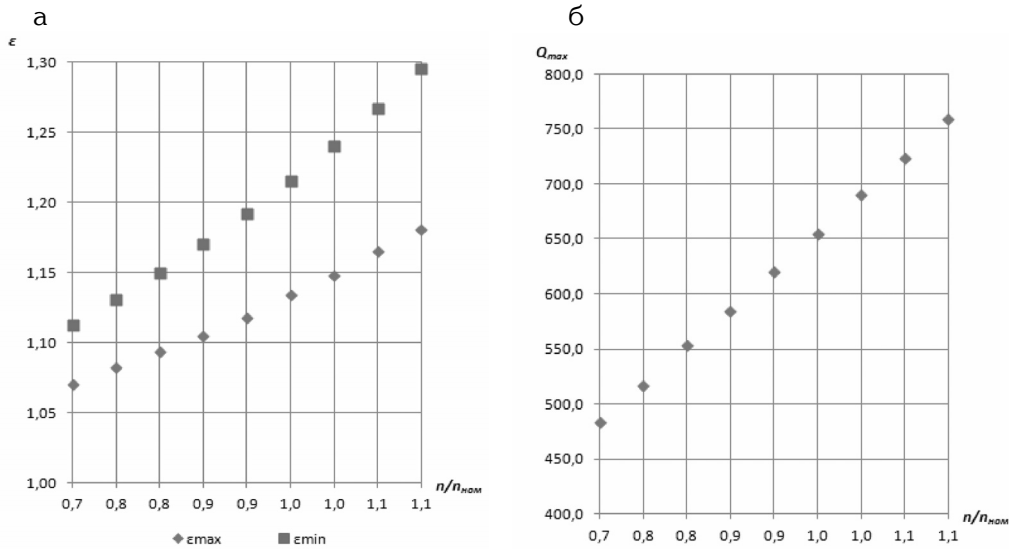


Рис. 2. Вид характеристик ЦН по каталогу 2005 г.

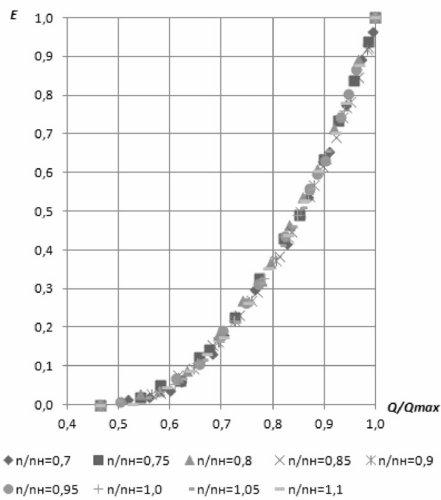


**Рис. 3. Графики зависимостей:** а -  $\epsilon_{\text{min}}$  и  $\epsilon_{\text{max}}$  от  $n/n_{\text{НОМ}}$ ; б -  $Q_{\text{max}}$  от  $n/n_{\text{НОМ}}$

$$\left( \frac{N_i}{\rho_e} \right)_{np} = K \cdot Q_{np}^3 + L \cdot Q_{np}^2 + M \cdot Q_{np} + N, \quad (4)$$

где  $G, H, I, J, K, L, M, N$  - безразмерные коэффициенты, полученные в результате аппроксимации.

В 2005г. была разработана новая единая форма представления газодинамических характеристик для большинства ЦН, используемых в газовой промышленности по состоянию на 2005 г., в виде графических зависимостей степени сжатия  $\epsilon$  от объемной производительности  $Q$  по условиям всасывания и относительной коммерческой производительности  $q_k/p_H$ , представленная на рис. 2 [3].



**Рис. 4. График зависимости вспомогательной функции  $E$  от  $Q/Q_{\text{max}}$**

В связи с появлением новой формы характеристик было предложено, основываясь на методе асимптотических координат, обработать результаты стендовых испытаний, представленных в [3].

Рассмотрим порядок расчета величины степени сжатия ЦН на примере нагнетателя 370-18-1 (рис. 2).

Для этого введем вспомогательную функцию

$$E = (\epsilon - \epsilon_{\text{min}}) / (\epsilon_{\text{max}} - \epsilon_{\text{min}}), \quad (5)$$

где  $\epsilon_{\text{min}}$  - функция степени сжатия ЦН для различных  $n/n_{\text{НОМ}}$  при минимальных

объемных производительностях для каждого значения  $n/n_{НОМ}$ ;  $\varepsilon_{max}$  - функция степени сжатия ЦН для различных  $n/n_{НОМ}$  при максимальных объемных производительностях для каждого значения  $n/n_{НОМ}$ .

Таким образом серию кривых  $\varepsilon=\varepsilon(Q, n/n_{НОМ})$  удастся описать всего четырьмя плоскими кривыми, изображенными на рис. 3-4, которые с высокой точностью (до 0,001%) описываются следующими эмпирическими зависимостями:

$$\varepsilon_{min}=1,022-0,077(n/n_{НОМ})+0,296(n/n_{НОМ})^2, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{max}=1,015-0,045(n/n_{НОМ})+0,178(n/n_{НОМ})^2, \quad (7)$$

$$Q_{max}=-0,033+689,667(n/n_{НОМ}), \quad (8)$$

$$E=57,277 \exp(-4,051 Q_{max}/Q). \quad (9)$$

Подставляя (6)..(9) в уравнение (5), получим следующую универсальную зависимость величины степени сжатия  $\varepsilon$  от  $Q$  и  $n/n_{НОМ}$

$$\varepsilon = A_1 \exp \left( \frac{1}{Q} \left[ B_1 + C_1 \left( \frac{n}{n_{НОМ}} \right) \right] \right) \left[ D_1 + E_1 \left( \frac{n}{n_{НОМ}} \right) + F_1 \left( \frac{n}{n_{НОМ}} \right)^2 \right] + G_1 + H_1 \left( \frac{n}{n_{НОМ}} \right) + I_1 \left( \frac{n}{n_{НОМ}} \right)^2, \quad (10)$$

где  $A_1=57,277$ ;  $B_1=0,135$ ;  $C_1=-2793,978$ ;  $D_1=-0,007$ ;  $E_1=0,032$ ;  $F_1=-0,117$ ;  $G_1=1,022$ ;  $H_1=-0,077$ ;  $I_1=0,296$ .

Аналогичным способом можно получить и зависимость величины мощности  $N$  от  $Q$  и  $n/n_{НОМ}$

$$\varepsilon = \left[ A_2 + B_2 \exp \left( \frac{1}{Q} \cdot [C_2 + D_2 \cdot N + E_2 \cdot N^2] \right) \right] \cdot [F_2 + G_2 \cdot N] + H_2 + I_2 \cdot N, \quad (11)$$

где  $A_2=-0,644$ ;  $B_2=4,838$ ;  $C_2=-324,887$ ;  $D_2=-3,034$ ;  $E_2=0,005$ ;  $F_2=-0,028$ ;  $G_2=-0,0007$ ;  $H_2=1,058$ ;  $I_2=0,001$ .

Искомые значения  $n/n_{НОМ}$  и  $N$  в таком случае при известных  $Q$  и  $\varepsilon$  будут являться решениями данных трансцендентных уравнений (10) и (11) соответственно.

Таким образом, данные зависимости, построенные в асимптотических координатах, носят универсальный характер, имеют высокую точность (максимальная дисперсия расчета  $\varepsilon$  не превышает 1 %) и пригодны для количественного описания характеристик всех типов ЦН, используемых в газовой промышленности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбом характеристик центробежных нагнетателей природного газа. – М.: ВНИИГаз, 1985. – 87 с.
2. Коршак А.А., Козлова Т.В. Универсальные зависимости для центробежных нагнетателей природного газа, полученные методом асимптотических координат // Сборник тезисов 5-й международной учебно-практической конференции «Трубопроводный транспорт 2009». – 2009. – 93-95 с.
3. Каталог газодинамических характеристик ЦБК природного газа. – М.: ВНИИГаз, 2005. – 123 с. **ИВАС**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Коршак А.А. – доктор технических наук, профессор, зав. кафедры Транспорта и хранения нефти и газа, rectorat@spmi.ru,  
Козлова Т.В. – аспирант, кафедра Транспорта и хранения нефти и газа, ktvspb@mail.ru, Санкт-Петербургский государственный горный университет.