

УДК 622.276

Ю. Ф. Коротков, О. В. Козулина, М. Г. Кузнецов,
А. Н. Николаев

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХТАКТНОГО ПОРШНЕВОГО АКУСТИЧЕСКОГО НАГНЕТАТЕЛЯ ГАЗА

Ключевые слова: акустический нагнетатель, производительность, мощность, энергоэффективность, КПД, энергосбережение.

Рассмотрен двухконтактный поршневой акустический нагнетатель газа и определены его энергетические характеристики. Показано, что на энергоэффективности и энергосбережении двухконтактный поршневой акустический нагнетатель лучше любого другого нагнетателя газа, работающего в стационарном режиме.

Keywords: Acoustic supercharger, productivity, capacity, power efficiency, efficiency, power savings.

The double-contact piston acoustic supercharger of gas is considered and its energetic characteristics are defined. It is shown that on power efficiency and to power savings the double-contact piston acoustic supercharger is better than any other supercharger of the gas working in a stationary mode.

Устройство и работа двухтактного поршневого акустического нагнетателя (далее двухтактный ПАН) рассмотрены в [1]. Двухтактный ПАН по сравнению с одноктактным обладает более высокой энергосберегающей способностью.

В двухтактном ПАН находящийся в общем цилиндре поршень колеблется по отношению к присоединенным к цилиндру с обоих концов трубам в противофазе, а вылетающие из противоположных концов труб газовые струи пересекаются под небольшим углом. Такое движение газовых струй обеспечивает непрерывное поступление газа в бокс за счет инжекции.

Энергетическими характеристиками двухтактного ПАН, как и одноктактного, являются мощность, энергоэффективность, коэффициент полезного действия и энергосбережение.

Производительность двухтактного ПАН будет в два раза выше производительности одноктактного ПАН, что можно записать уравнением [2]:

$$Q_1^* = 2Q_1 = 2br_1c_0S, \quad (1)$$

где b - параметр, равный для случая высокочастотных колебаний поршня 0,436; $r_1 = \frac{V_1}{c_0}$

- безразмерная амплитуда колебаний скорости газа (здесь: V_1 - амплитуда колебаний скорости газа на выходе из трубы; c_0 - скорость звука в невозмущенной среде);

S - площадь поперечного сечения трубы.

Вводимая в двухтактный ПАН поршнем мощность может быть рассчитана по уравнению:

$$N_1^* = 2N_1 = M_n V_1 \rho_0 c_0^2 \text{Sch} \beta_1, \quad (2)$$

где N_1 - мощность, вводимая поршнем в одноктактном ПАН [3]; ρ_0 - плотность невозмущенного газа; β_1 - параметр, определяемый по формуле [4]:

$$\beta_1 = mr_1 + b_2^* r_1^{0,6}, \quad (3)$$

здесь m - универсальная константа, равная для высокочастотных колебаний поршня 0,336;

b_2 - параметр, который является сложной функцией, зависящей от резонансной частоты колебаний, длины трубы и ее радиуса.

Энергоэффективность двухтактного ПАН можно оценить критерием, рассчитываемым по формуле:

$$K_1^* = \frac{Q_1^*}{N_1^*}. \quad (4)$$

или по формуле [5]:

$$K_1^* = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{L_{\dot{y}}}{\rho_0 c_0^2 \ell_{\dot{y}}}, \quad (5)$$

где $L_{\dot{y}}$ - эффективная длина двухтактного ПАН;

$\ell_{\dot{y}}$ - эффективная амплитуда смещения поршня.

Производительность любого другого нагнетателя, работающего в стационарном режиме, равна:

$$Q_2 = U_2 S, \quad (6)$$

где U_2 - средняя по сечению трубы скорость газового потока.

Если предположить, что $Q_1^* = Q_2$ и, следовательно, $U_2 = U_1$, то из (1) имеем:

$$U_2 = 2br_1c_0. \quad (7)$$

Вводимая в любой другой неакустический нагнетатель мощность расходуется на преодоление сил сопротивления трубы и на генерацию газовой струи.

Расход мощности N_{2T} на преодоление сил сопротивления трубы и N_{2S} на генерацию газовой струи, соответственно, равны:

$$N_{2T} = P_2 U_2 S, \quad (8)$$

$$N_{2S} = \frac{P_0 U_2^3 S}{2},$$

где P_0 , P_2 - давление на выходе и на входе трубы нагнетателя.

В турбулентном потоке давление P_2 можно вычислить по формуле [6]:

$$P_2 = \xi \frac{P_0 U_2^2}{2} \cdot \frac{L_2}{d_2}, \quad (9)$$

где L_2 , d_2 - длина и диаметр трубы неакустического нагнетателя;

ξ - коэффициент гидравлического сопротивления.

Энергоэффективность неакустического нагнетателя газа определяется соотношением:

$$K_2 = \frac{Q_2}{N_2}, \quad (10)$$

где $N_2 = N_{2T} + N_{2S}$ - суммарный расход мощности.

С учетом (1), (6), (7) получим уравнение:

$$K_2 = \frac{2}{\rho_0 U_2^2 \left(1 + \xi \frac{L_2}{d_2} \right)}, \quad (11)$$

Коэффициент ξ зависит от состояния внутренней стенки трубы. В случае гладких труб, согласно закону Блазиуса [6], имеем:

$$\xi = 0,3164 \cdot Re^{-0,25}, \quad (12)$$

где $Re = \frac{U_2 d_2}{\nu}$ - число Рейнольдса (здесь: ν - коэффициент кинематической вязкости).

Для технических труб с зернистой шероховатостью $\frac{h U_{\bar{n}0}}{\nu} > 70$ (здесь: h - высота шероховатости стенки трубы; $U_{\bar{n}0}$ - скорость касательных напряжений) имеет место соотношение:

$$\xi = \left(0,88 \ln \frac{R}{h} + 1,74 \right)^{-2}, \quad (13)$$

где R - радиус трубы нагнетателя.

Расчеты энергоэффективности нагнетателей произведены для трубы, имевшей $R = 0,022$ м и $L = (3-8)$ м. Параметр «b» для случая высокочастотных колебаний поршня равен 0,436 [2].

На рис. 1 показано влияние эффективной длины трубы на энергоэффективность нагнетателей.

Можно заключить, что энергоэффективность как двухтактного ПАН, так и обычного нагнетателя газа растет с увеличением длины трубы. Энергоэффективность двухтактного ПАН выше, чем обычного нагнетателя, у которого она падает с ростом высоты шероховатости. Так,

при $\frac{R}{h} = 500$ для обычного нагнетателя его энергоэффективность в 2 раза ниже энергоэффективности двухтактного ПАН.

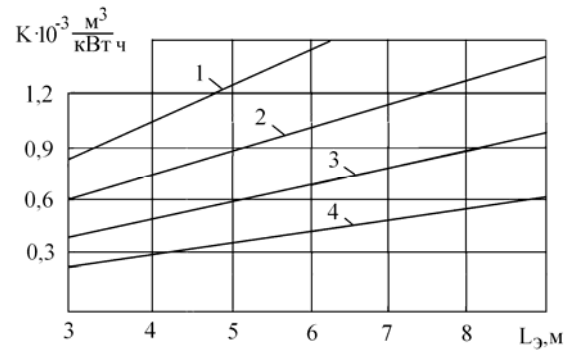


Рис. 1 - Зависимость K от L_2 : 1 - двухтактный ПАН; 2-4 - нагнетатель, работающий в стационарном режиме; 2 - гладкая труба; 3 - $\frac{R}{h} = 500$; 4 - $\frac{R}{h} = 100$

Что касается КПД сравниваемых двухтактного ПАН и нагнетателя, работающего в стационарном режиме, то в работе [2] показано, что $\eta_1^* > \eta_2$.

Энергосберегающую способность двухтактного ПАН можно оценить критерием E , представляющим собой отношение затрачиваемых мощностей двухтактного ПАН и любого другого нагнетателя газа. Если для сравнения взять поршневой компрессор, то критерий E можно вычислить по формуле:

$$E = \frac{M_p c h \beta_1}{4 \left(2 \xi \frac{L}{R} + 1 \right) \cdot r_1^2 b^3}, \quad (14)$$

где M_p - параметр, рассчитываемый по формуле [4].

Результаты расчета $E = \frac{N_1^*}{N_2}$ для $b = 0,436$,

$R = 0,022$ м, $L = 3$ м и $M_p = 0,033$ приведены в таблице 1.

Таблица 1

$\frac{R}{h}$	100	200	300	400	500
E	0,264	0,281	0,292	0,3	0,306

Из таблицы 1 видно, что при применении шероховатых труб энергосберегающая способность двухтактного ПАН в три с лишним раза выше энергосбережения любого другого нагнетателя газа, работающего в стационарном режиме. Можно также отметить рост критерия E при увеличении высоты шероховатости h .

Литература

1. А. с. 1346855 СССР, МКИ F 04 F 7/00. Нагнетатель газа /Ф.Ю. Коротков, Р.Г. Галиуллин, В.Н. Подымов, Ю.Ф. Коротков (СССР). - № 3969616; заявл. 25.10.85; опубл. 23.10.87, Бюл. № 39. - 3 с.

2. Коротков Ю.Ф., Ермаков Р.А., Зиятдинов Р.Х., Архипов В.П., Галиуллин Р.Г., Николаев А.Н. Оценка энергосберегающей способности поршневого акустического нагнетателя газа //Вестник Казан. технол. ун-та. – 2012. - Т.15, № 9. - С. 172-174.
3. Кузнецов М.Г., Ермаков Р.А., Галиуллин Р.Г., Козулина О.В., Овчинников А.А., Ларионов В.М. Расчет энергоэффективности поршневого акустического нагнетателя газа //Вестник Казан. технол. ун-та. – 2012. – Т. 15, № 2. – С. 25-27.
4. Коротков Ю.Ф., Козулина О.В., Кузнецов М.Г. Резонансные колебания пульсирующих течений //Вестник Казан. технол. ун-та. – 2011. - Т. 14, № 3. - С. 146-152.
5. Ермаков Р.А., Ермаков Р.А., Садыков А.Ф., Галиуллин Р.Г., Ларионов В.М. Оценка энергоэффективности нагнетателя газа, выполненного на базе акустического резонатора //Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.Ф. Гидродинамика - М.: Наука, 1986. – 720 с.

© Ю. Ф. Коротков - к.т.н., доц. каф. оборудования пищевых производств КНИТУ, opp-srv@rambler.ru; О. В. Козулина - к.т.н., доц. той же кафедры; М. Г. Кузнецов - к.т.н., доц. той же кафедры; А. Н. Николаев – д-р тех. наук, проф., зав. каф. оборудования пищевых производств КНИТУ.