

А. Г. Сайфетдинов, И. И. Шарапов, А. Г. Сайфетдинов,
А. М. Хамидуллина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПОЛИТРОПЫ СЖАТИЯ РОТОРНЫХ КОМПРЕССОРОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Ключевые слова: Роторный компрессор, сжатие, температура, давление, политропа сжатия.

Работа посвящена определению величин политропы сжатия роторных компрессоров с внешним и внутренним сжатиями на основе экспериментальных данных по термометрированию и индицированию рабочей полости машин.

Keys words: Rotary compressor, pressure, temperature, pressure, polytropic of compression.

Work is to define values of polytropic compression rotary compressors with internal and external compression on the basis of experimental data on the measurement of temperature and indexing work space vehicles.

В теоретическом цикле работы компрессора предполагается, что линия сжатия представляет собой адиабату с переменным показателем. В действительном цикле процесс сжатия протекает сложнее. Он характерен непрерывным изменением температуры рабочего вещества и наличием теплообмена между сжимаемой средой и стенками цилиндра, т. е. является политропным.

При расчетах, с некоторым приближением, принято считать показатель политропы сжатия постоянным и равным среднему значению n . Но ввиду наличия в рабочей полости компрессора теплообмена, различного не только по величине, но и по знаку, значение показателя n в течение процесса сжатия меняется. Рассмотрим характер изменения показателя политропы сжатия на примере рабочего процесса поршневого компрессора, описанного также в работе [1]. Так, в начале сжатия, до момента, пока не сравняется температура газа и стенок цилиндра, газ нагревается. При этом показатель политропы сжатия повышается. В последующий период за счет более высокой температуры газа происходит обратный переход тепла к стенкам цилиндра. Это вызывает понижение показателя политропы сжатия.

Для анализа рабочих процессов, а также в практике инженерных расчетов компрессоров следует применять мгновенные значения показателя политропы, но их применение связано с использованием экспериментальных данных по термометрированию и индицированию рабочих полостей машин.

До настоящего времени в практике расчетов роторных компрессоров [2, 3] использовался средний показатель политропы. Это было связано с отсутствием данных по значениям температур внутренних стенок и меняющейся в ходе рабочего процесса температуры газа в рабочей полости.

На основании работ, посвященных экспериментальному исследованию теплообмена между газом и стенками роторных компрессоров внешнего сжатия [4] и внутреннего сжатия [5, 6], имеется возможность рассчитать моментальные значения показателя политропы сжатия n для этих машин.

Величина n вычисляется на основании уравнения политропы идеального газа:

$$p \cdot v^n = \text{const}, \quad (1)$$

где p – давление, v – объем газа.

Уравнение (1) может быть записано в виде:

$$p \cdot v^n = (p + dp) \cdot (v + dv)^n. \quad (2)$$

С учетом уравнения состояния идеального газа $p \cdot v = R \cdot T$ выражение (2) примет вид:

$$p \left(\frac{RT}{p} \right)^n = (p + dp) \cdot \left(\frac{RT}{p} + \frac{RpdT - RTdP}{p^2} \right)^n, \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная, T – температура.

После соответствующих преобразований уравнения (3) получаем выражение для определения моментальных значений показателя политропы сжатия:

$$n = \frac{\ln \left(1 + \frac{dp}{p} \right)}{\ln \left(\frac{T}{T + \frac{pdT - TdP}{p}} \right)}. \quad (4)$$

В расчетах по формуле (4) бесконечно малые приращения dP и dT заменялись, конечно, разностными приращениями dP и dT , которые соответствовали углу поворота ротора 1° .

В работах [5, 6] исследовался теплообмен в рабочей полости роторного компрессора с внутренним сжатием (РКВНС) и проведено индицирование. Рабочим телом являлся воздух. На рис. 1 для наглядности показаны полученные величины температуры газа t_r (1) и давления P_r (2) в камере в зависимости от угла поворота ротора $\phi_{\text{до}}$

при частоте вращения ротора $n = 2000$ об/мин и отношении давлений в компрессоре $\Pi = 1,4$.

На основании экспериментальных значений температуры и давления в рабочих полостях роторных компрессоров по формуле (4) рассчитываем мгновенные величины показателя политропы сжатия n для воздуха.

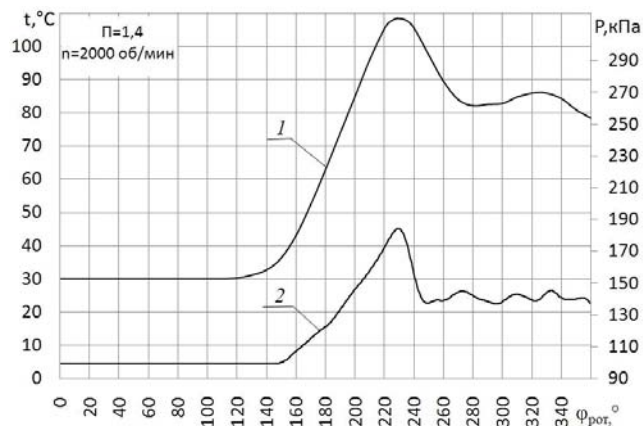


Рис. 1 - Графики зависимостей $t_r = f(\varphi_{\text{РОТ}})$ и $P_r = f(\varphi_{\text{РОТ}})$

На рис. 2 представлены полученные для РКВнС значения показателя n при различных параметрах его работы в зависимости от угловых координат процесса сжатия ($171^\circ \leq \varphi_{\text{рот}} \leq 229^\circ$).

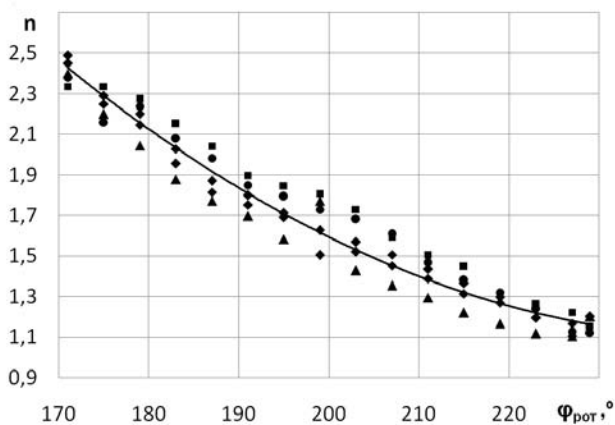


Рис. 2 - График зависимости $n = f(\varphi_{\text{РОТ}})$

На основе множества рассчитанных величин показателя политропы сжатия проводим аппроксимирующую кривую, которую для режимов работы с $\Pi = 1,4 \dots 1,8$ и $n = 2000 \dots 3500$ об/мин можно описать уравнением вида

$$n = 0,0002 \cdot \varphi_{\text{рот}}^2 - 0,118 \cdot \varphi_{\text{рот}} + 15,55. \quad (5)$$

Уравнение (5) представляется возможным использовать для предварительного построения действительной индикаторной диаграммы при проектировании компрессоров со схожим характером протекания рабочего процесса

Проведем анализ полученных величин политропы сжатия. В начале процесса сжатия осредненная температура газа в рабочей полости РКВнС меньше, чем средняя температура внутренних стенок, так как стенки из-за тепловой инерции ещё не успевают остыть после нагрева во время сжатия в предыдущем цикле. В этот период сжатие происходит с подводом теплоты от стенок рабочей полости. Как известно, процесс сжатия с подводом теплоты характеризуется политропой с показателем, большим, чем показатель адиабаты. Видно, что при $\varphi_{\text{рот}} = 171^\circ$ величина n имеет максимальное значение, равное приблизительно 2,5. При сжатии газа происходит рост его температуры, разность температур сжимаемого газа и внутренних стенок уменьшается и падает интенсивность подвода теплоты к сжимаемой среде, т.е. показатель политропы уменьшается. В момент равенства средней температуры сжимаемого газа и средней температуры стенок рабочей камеры теплообмен между ними прекращается. При дальнейшем сжатии температура рабочего тела продолжает увеличиваться. При этом температура стенок рабочей полости из-за их тепловой инерции будет меньше температуры газа. Таким образом, процесс сжатия происходит с отводом теплоты, т.е. характеризуется политропой, показатель которой меньше, чем показатель адиабаты. Этим объясняется то, что мгновенные значения показателя политропы сжатия в РКВнС являются переменными, изменяясь от $n > k$ в начале процесса сжатия до $n < k$ в конце процесса.

Рабочий процесс шестеренчатого компрессора внешнего сжатия (ШКВС) существенно отличается от процесса РКВнС. Период сжатия занимает незначительную долю продолжительности всего рабочего цикла (порядка 10 град. по углу поворота ротора) и представляет собой раскрытие и соединение переносимой рабочей полости низкого давления со стороны нагнетания [4]. В этот период происходит резкое натекание газа высокого давления и температуры в рабочую полость компрессора и повышение давления в рабочей камере до давления нагнетания. Расчеты по уравнению (4) показали, что для диапазона режимов с $n = 1800 \dots 3000$ об/мин и $\Pi = 1,2 \dots 2,0$ с достаточной точностью можно принять значение $n = 1,4$.

Литература

1. Пластилин, П.И. Поршневые компрессоры. Т.1. Теория и расчет.— 3-е изд., доп.— М.: КолосС, 2006.— 456 с.
2. Ибраев, А. М. Повышение эффективности работы роторных нагнетателей внешнего сжатия на основе анализа влияния геометрических параметров на их характеристики: дис. ... канд. техн. наук. Казан. химико-технол. ин-т им. С. М. Кирова, 1987.
3. Хамидуллин, М.С. Разработка и исследование роторного компрессора внутреннего сжатия на основе геометрического анализа и моделирования процессов в рабочих камерах: дис. ... канд. техн. наук / М.С.

Хамидуллин. – Казань: Изд-во Казан. химико-технол. ин-та им. С.М. Кирова., 1992.–193 с.

4. *Шарапов, И.И.* Разработка методики измерения и расчета параметров процесса теплообмена в шестеренчатом компрессоре с целью повышения точности расчета рабочего процесса: дис. ... канд. техн. наук / И.И. Шарапов. – Казан. Гос. Технол. ун-т им. С.М. Кирова., 2009. – 146 с.
5. *Сайфетдинов, А.Г.* Исследование теплообмена между стенками и газом рабочей полости в роторном

компрессоре внутреннего сжатия / А.Г. Сайфетдинов, М.С. Хамидуллин, И.Г. Хисамеев, А.Ю. Кирсанов // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2011. - №5. – С. 27-32.

6. *Сайфетдинов, А.Г.* Результаты термометрирования рабочей полости роторного компрессора внутреннего сжатия / А.Г. Сайфетдинов, М.С. Хамидуллин, И.Г. Хисамеев // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2012. - №12. – С. 159-160.

© **А. Г. Сайфетдинов** - асс. каф. холодильной техники и технологий КНИТУ, almazy_kstu@mail.ru; **И. И. Шарапов** – доц. той же кафедры; **А. Г. Сайфетдинов** – магистр той же кафедры; **А. М. Хамидуллина** – магистр КНИТУ.