

## Оценка энергосберегающего потенциала окружающей среды при производстве сжатого воздуха

Демин Ю. К., инж., Картавцев С. В., доктор техн. наук

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова

Дана оценка энергосберегающего потенциала окружающей среды в зимнее время для производства сжатого воздуха при охлаждении его в промежуточных охладителях до температуры ниже 0°C.

**Ключевые слова:** сжатый воздух, компрессор, промежуточное охлаждение, экономия энергии, окружающая среда.

Производство сжатого воздуха — масштабный и энергоемкий процесс. Только в черной металлургии на выработку 1 т проката расходуется около 5 т сжатого воздуха. Крупнейшими его потребителями являются доменное производство и установки для получения продуктов разделения воздуха (используется воздух, сжатый до 0,6 МПа). При этом около 20 % от всей производимой в России электроэнергии тратится на привод компрессорного оборудования (без учета парка центробежных машин, работающих от газовых турбин) [1]. Применение ступенчатого сжатия с охлаждением сжатого воздуха в охладителях между ступенями дает большую экономию энергии, расходуемой на привод компрессоров [2, 3]. Охлаждающей средой преимущественно служит вода, воздушное охлаждение малоэффективно и применяется в отдельных случаях для малых компрессоров [4].

При полном охлаждении сжатого воздуха, т. е. охлаждении до начальной температуры, и при равном распределении работы между

ступенями или группами ступеней (между холодильниками) экономия получается наибольшей [4]. Но в зимнее время температура окружающей среды ниже температуры воды, идущей на охлаждение, поэтому охлаждение сжатого воздуха до температуры окружающей среды может дать выигрыш в работе на сжатие. Из рис. 1 видно, что для условий Магнитогорска минимум 6 мес. существует потенциал энергосбережения в системах сжатого воздуха.

Используя формулы термодинамического расчета компрессорного процесса [2], определим удельный выигрыш в работе  $\Delta L$ , кДж/кг, для трехступенчатого сжатия до 0,6 МПа при охлаждении сжатого воздуха в промежуточных охладителях до температуры  $t$  вместо 5°C (минимальная температура охлаждающей воды):

$$\Delta L = 2 \left[ \frac{n}{n-1} R_t (5 + 273,15) \left( x^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \right] -$$



Рис. 1. График распределения средней температуры окружающей среды для Магнитогорска по месяцам и минимальная температура охлаждающей воды

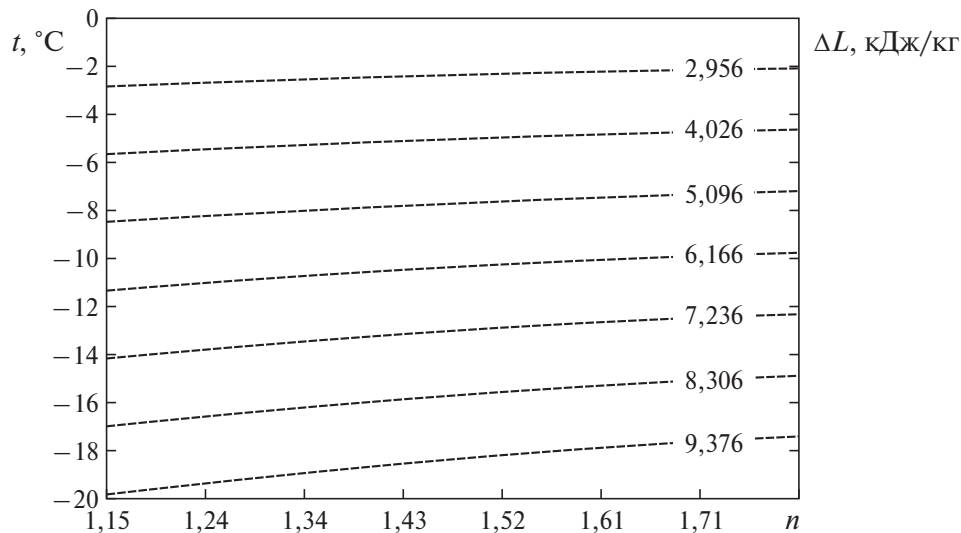


Рис. 2. Зависимости удельного выигрыша в работе на сжатие от температуры доохлаждения и показателя политропы

Таблица 1

Показатель	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Средняя температура, °С	2,8	– 6,9	– 12,1	– 14,5	– 13,8	– 7,1	4,8
Удельный выигрыш в работе на сжатие, кДж/кг	0,915	4,952	7,12	8,12	7,82	5,04	0,08
Число суток	31	30	31	31	28	31	30
Экономия электроэнергии для предприятия, тыс. кВт · ч	1079,9	5652,9	8393,9	9571,9	8335,3	5939,5	95

$$-\frac{n}{n-1} R_t (t+273,15) \left[ x^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] =$$

$$= 2 \frac{n}{n-1} R_t (5-t) \left[ x^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right],$$

где  $t$  — температура сжатого воздуха на выходе из промежуточного охладителя при его более глубоком охлаждении, °С;  $R_t = 0,287$  кДж/(кг · °С) — универсальная газовая постоянная для воздуха;  $n = 1,15 \div 1,8$  показатель политропы (изменяется в зависимости от внешних и внутренних условий [2]);  $x$  — степень сжатия (для трехступенчатого сжатия до 0,6 МПа оптимально  $x = 1,88$  [2]).

Из рис. 2 следует, что удельный выигрыш в работе на сжатие растет при уменьшении температуры  $t$  и увеличении показателя политропы  $n$ .

В табл. 1 приведены результаты расчета экономии электроэнергии для предприятия

черной металлургии с объемом годового производства 10 млн т стали (в среднем — около 27 тыс. т стали в сутки) по месяцам для условий Магнитогорска при охлаждении до среднемесячной температуры окружающей среды вместо 5 °С (показатель политропы — 1,8). Суммарная экономия — 39068,4 тыс. кВт · ч электроэнергии, что за вычетом потерь в местных сетях (15 %) и ЛЭП от электростанции (9 %) с учетом электрического КПД ТЭС (40 %) составит 84 181 кВт · ч или 10 340 т условного топлива. При средней цене 2000 руб. за 1 т топлива годовая экономия может достичь 21 млн руб.

Реализация этого резерва возможна при соответствующем подборе промежуточного теплоносителя между сжатым воздухом и воздухом окружающей среды, удовлетворяющего ряду требований, из которых определяющим является низкая температура затвердевания (табл. 2). Из приведенных здесь теплоносителей следует отметить сплав 22,8 % Na + 77,2 % K, имеющий наименьшую

Таблица 2

Теплоноситель [5]	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплоемкость, кДж/(кг · °С)	Кинетическая вязкость, 10 <sup>6</sup> м <sup>2</sup> /с	Температура, °С		Удельный выигрыш в работе на сжатие при охлаждении до температуры <i>t</i> вместо 5 °С (коэффициент политропы — 1,8), кДж/кг
				кипения	затвердевания	
Сплав 22,8 % Na + 77,2 % К	762	1,038	0,93	784	– 12,5	7,07
Гидротерм 700-130	862	2,68	1,55	204,4	– 85	18,72
Гидротерм 750-210	1176	3,182	22,1	315,6	– 15	8,32
Метанол	791,8	2,47	0,7	64,7	– 97	18,72
Пропиленгликоль	1036,3	2,483	5,4	187,4	– 60	18,72
Этанол	789,3	2,39	1,51	78	– 114	18,72
<b>Вода</b>	<b>998</b>	<b>4,18</b>	<b>1,003</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>2,08</b>

плотность, но у него малая теплоемкость и недостаточно низкая температура затвердевания. Наиболее предпочтительно применение гидротерма 700-130, метанола и этанола, обладающих сравнительно высокой теплоемкостью, низкой температурой затвердевания, малыми плотностью и кинетической вязкостью. Учитывая масштабы производства сжатого воздуха, применение данных теплоносителей может позволить использовать потенциал окружающей среды и сэкономить значительное количество энергии.

#### Список литературы

1. Сычков А. Е. Роль эффективных систем охлаждения в современных компрессорных установках. — Мегапаскаль, 2009, № 4.
2. Черкасский В. М. Насосы. Вентиляторы. Компрессоры. — М.: Энергия, 1977.
3. Кузнецов Ю. В., Кузнецов М. Ю. Сжатый воздух. — Екатеринбург: УрО РАН, 2007.
4. Карабин А. И. Сжатый воздух. Выработка, потребление, пути экономии. — М.: Машиностроение, 1964.
5. Чечеткин А. В. Высокотемпературные теплоносители. — М.: Энергия, 1971.

dyomin.ura@yandex.ru