

УДК 621.565; 621.574

Выбор и применение энергоэффективных чиллеров в системах кондиционирования воздуха с учетом климатических условий

А.А. СПАССКИЙ, anatole@acr.ru, А.В. СУШЕНЦЕВА, annasushentseva@gmail.com, ООО «Климавенета»

Выбор европейскими производителями энергоэффективных водоохлаждающих машин (чиллеров) для систем кондиционирования объясняется значительной экономией электроэнергии при их эксплуатации. В статье рассмотрены показатели энергоэффективности чиллеров и факторы, влияющие на ее повышение. Теоретически самыми энергоэффективными установками являются чиллеры на базе центробежных безмасляных компрессоров с частотным регулированием производительности, однако их стоимость почти вдвое выше стоимости обычного чиллера на базе спиральных или винтовых компрессоров. Кроме того, климатические условия в средней полосе России определяют гораздо меньшее среднегодовое время наработки компрессоров, что влияет на коэффициенты эффективности чиллеров.

Приведены расчеты потребления электроэнергии за 1 сезон работы чиллера в составе системы кондиционирования для четырех различных типов чиллеров примерно равной холодопроизводительности в условиях Московского региона и оценен срок окупаемости более энергоэффективных чиллеров (в сравнении с менее дорогим базовым вариантом с меньшей энергоэффективностью). Расчет позволяет определить, целесообразен ли выбор более дорогой энергоэффективной установки в условиях климата средней полосы России.

Ключевые слова: чиллеры для систем кондиционирования воздуха, энергоэффективность, срок окупаемости чиллера.

CHOICE AND APPLICATION OF POWER EFFICIENT CHILLERS IN AIR CONDITIONING SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT CLIMATIC CONDITIONS

A.A. SPASSKIY, A.V. SUSHENTSEVA, ООО "KLIMAVENETA"

European producers' choice of power efficient water cooling machines (chillers) for air conditioning systems is explained by significant electric power saving at exploitation. The paper examines the indices of power efficiency of chillers as well as the factors influencing its increase. Theoretically the most power efficient are the chillers on the base of centrifugal oil-free compressors at frequency regulation of capacity, but their cost is almost twice as much relative to an ordinary chiller on the base of spiral or screw compressors. Besides, under climatic conditions in Central-European Russia mid-annual running hours of compressors are significantly less that impacts the effectiveness ratio of chillers.

The calculations of the electric power consumption for one working season of a chiller in the air conditioning system for four different types of chillers at about the same refrigerating capacity under conditions of Moscow region are cited; the payback period of more power efficient chillers is estimated (in comparison with a less expensive basic variant at less power efficiency). The calculation allows defining if the choice of a more expensive power efficient plant is rational under conditions of Central-European Russia.

Key words: chillers for air conditioning systems, power efficiency, payback period.

Для чиллеров всех типов и моделей существует два варианта энергоэффективности:

✓ абсолютная энергоэффективность, т. е. отношение холодопроизводительности при заданных условиях к потребляемой электрической мощности (для моноблочных чиллеров с учетом мощности, потребляемой вентиляторами конденсатора), обозначаемая EER;

✓ взвешенная, или сезонная, энергоэффективность, которая рассчитывается либо по европейской формуле и обозначается ESEER, либо по американской и обозначается IPLV. Оба этих коэффициента определяют энергоэффективность установок при частичных холодильных нагрузках.

Сезонные коэффициенты, конечно, дают представление об общей эффективности установки при заданных условиях, но сами эти условия слишком далеки от реалий российского климата, так что при выборе того или иного чиллера нельзя целиком полагаться на максимальные значения этих коэффициентов.

Основным определяющим фактором является среднегодовое время наработки компрессоров, которое в средней полосе России составляет не более 1000 ч в год, в то время как для Южной Европы этот показатель доходит до 4000 ч в год.

В последнее время проектируется и строится множество зданий с неоткрывающимися глухими окнами. Проектировщики эту концепцию то ли ошибочно, то ли по злему умыслу представляют как «энергоэкономную». Однако опыт эксплуатации таких «аквариумов» показывает, что время работы холодильных машин в системах кондиционирования этих зданий возрастает в 2–3 раза по сравнению со зданиями с обычными открывающимися окнами. Машины приходится включать даже зимой, к тому же в помещениях постоянно присутствует шум от работающей на полную нагрузку вентиляции. Здания с неоткрывающимися окнами в нашем климате никак не могут считаться энергоэкономными!

Факторы повышения энергоэффективности чиллеров

Рассмотрим, чем же достигается рост энергоэффективности современных парокompрессионных холодильных установок для систем кондиционирования воздуха.

Абсолютная энергоэффективность может быть повышена путем:

- ✓ увеличения площади поверхностей теплообмена испарителя и конденсатора;
- ✓ повышения эффективности теплообмена путем турбулизации потоков, устранения пленочных загрязнений, применения затопленных испарителей;
- ✓ уменьшения гидравлического сопротивления холодильного контура.

Взвешенная (сезонная) энергоэффективность, учитывающая отношение холодопроизводительности установки к потребляемой электрической мощности при частичной нагрузке, кроме вышеперечисленного, зависит также от:

- ✓ числа холодильных контуров в установке;
- ✓ числа компрессоров в каждом холодильном контуре (в любом случае для стабильной работы установки их должно быть не более трех);
- ✓ типа компрессоров (на сегодняшний день наиболее распространенные: спиральные, винтовые, центробежные и поршневые);
- ✓ способа регулирования производительности компрессоров (без регулирования — спиральные, поршневые; ступенчатое — поршневые, винтовые; плавное — частотными вариаторами возможно оснастить практически любой тип компрессоров).

Сегодня ведущие мировые производители предлагают различные модельные ряды моноблочных холодильных установок, максимально учитывающие те или иные факторы повышения энергоэффективности. Теоретически самую энергоэффек-

тивную установку можно создать на базе центробежных безмасляных компрессоров с частотным регулированием производительности, используя увеличенный конденсатор и испаритель затопленного типа. Однако стоимость такой установки будет на 80–100 % выше стоимости обычной установки, оснащенной спиральными или винтовыми компрессорами с непереразмеренными испарителем и конденсатором.

Расчетное потребление электроэнергии

При подборе и сравнении различных типов моноблочных холодильных установок можно опираться на такие показатели, как цена, предполагаемое время наработки при полной и частичной нагрузках и стоимость электроэнергии.

Для сравнения различных холодильных установок по параметру энергоэффективности может быть использовано расчетное потребление ими электроэнергии, которое должно рассчитываться при условиях, максимально приближенных к фактическим, т. е. должны быть учтены длительность работы и степень загрузки установки в привязке к климатическим условиям того или иного региона.

Рассчитав потребление электроэнергии каждого типа установок и зная стоимость электроэнергии и установки, можно выбрать оптимальный с экономической точки зрения вариант.

Время работы холодильной установки в системе кондиционирования напрямую зависит от числа дней с температурой выше той, при которой включается установка для определенного климата.

В таблице приведено число дней с максимальными дневными температурами выше 20; 25 и 30 °С для Московского региона в мае–сентябре по данным за 2010, 2013, 2014 гг.

Максимальная температура воздуха выше, °С	Число дней по месяцам					Итого, дней
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
2010 г.						
20	19	6	0	5	4	34
25	7	8	9	3	1	28
30	0	6	22	16	0	44
2013 г.						
20	6	14	14	13	0	47
25	12	11	10	11	0	44
30	1	4	1	1	0	7
2014 г.						
20	9	6	5	6	10	36
25	11	6	18	14	0	49
30	0	3	7	4	0	14

Из таблицы следует, что при условии включения холодильных установок при температуре окружающего воздуха выше 20 °С и работе по 12 ч в сутки время их работы даже для жаркого 2010 г. составило менее 1300 ч.

С большой долей точности фактическое энергопотребление чиллера, работающего в системе комфортного кондиционирования, можно рассчитать по следующей формуле:

$$W = n_{30} \cdot N_{100} + n_{25} \cdot N_{75} + n_{20} \cdot N_{50},$$

где W – количество потребленной электроэнергии за сезон кондиционирования, кВт·ч;

n_{30}, n_{25}, n_{20} – наработка установки при температуре воздуха больше 30; 25 и 20 °С соответственно, ч;

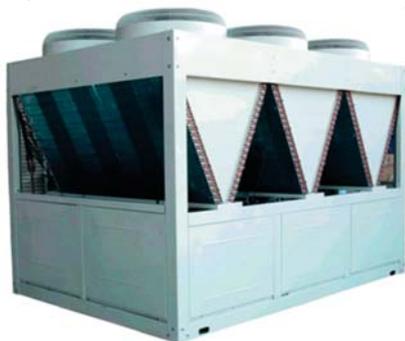
N_{100}, N_{75}, N_{50} – потребляемая мощность при 100%-ной; 75%-ной и 50%-ной нагрузке соответственно, кВт.

Оценка взвешенной эффективности и срока окупаемости

Рассмотрим пример расчета взвешенной энергоэффективности для четырех типов чиллеров холодопроизводительностью 880 ± 20 кВт, а также оценим время их окупаемости.

Технические данные чиллеров приведены для следующих условий: температура окружающей среды 32°С; температура воды на входе/выходе испарителя 7/12°С; стоимость электроэнергии в расчетах примем $C = 0,08$ евро/(кВт·ч).

Вариант 1. Водоохлаждающая холодильная машина наружной установки с герметичными спиральными компрессорами на озонобезопасном хладагенте R410A, осевыми



вентиляторами, кожухотрубным испарителем, микроканальным цельноалюминиевым конденсатором воздушного охлаждения. Регулирование производительности осуществляется включением/выключением компрессоров.

Капитальные затраты $KZ_1 = 115\,000$ евро.

Технические характеристики

Нагрузка, %	100	75	50
Температура воздуха, °С	30	25	20
Холодопроизводительность, кВт	860	645	430
Общая потребляемая мощность, кВт	262	161	91

По формуле (1) с учетом данных таблицы $W_1 = (44 \cdot 12)262 + (28 \cdot 12)161 + (34 \cdot 12)91 = 229560$ кВт·ч.

Стоимость потребленной электроэнергии за 1 сезон кондиционирования составит

$$S_1 = W_1 C = 18365 \text{ евро/год.}$$

Примем этот вариант за базовый для оценки срока окупаемости более энергоэффективных машин.

Вариант 2. Высокоэффективная водоохлаждающая холодильная машина наружной установки с полугерметичными винтовыми компрессорами, оптимизированными для работы с R134a, с осевыми вентиляторами, медно-алюминиевым конденсатором воздушного охлаждения и кожухотрубным испарителем. Регулирование производительности



осуществляется золотником. Для повышения энергоэффективности увеличены площади поверхности теплообмена испарителя и конденсатора.

Капитальные затраты $KZ_2 = 150\,000$ евро.

Технические характеристики

Нагрузка, %	100	75	50
Температура воздуха, °С	30	25	20
Холодопроизводительность, кВт	882	662	441
Общая потребляемая мощность, кВт	242	160	96

По формуле (1) с учетом данных таблицы $W_2 = (44 \cdot 12)242 + (28 \cdot 12)160 + (34 \cdot 12)96 = 220704$ кВт·ч.

Стоимость потребленной электроэнергии за 1 сезон кондиционирования

$$S_2 = W_2 C = 17656 \text{ евро/год.}$$

Срок окупаемости $C_{ок2} = (KZ_2 - KZ_1)/(S_1 - S_2) = (150000 - 115000)/(18365 - 17656) = 49$ лет.

Вариант 3. Высокоэффективная водоохлаждающая холодильная машина наружной установки с полугерметичным винтовым компрессором с инверторным управлением, оптимизированным для работы с R134a, с осевыми вентиляторами, медно-алюминиевым конденсатором воздушного охлаждения и кожухотрубным испарителем. Регулирование производится частотным вариатором. Для повышения энергоэффективности увеличены площади поверхности теплообмена испарителя и конденсатора.



производительности осуществляется частотным вариатором. Для повышения энергоэффективности увеличены площади поверхности теплообмена испарителя и конденсатора.

Капитальные затраты $KZ_3 = 170\,000$ евро.

Технические характеристики

Нагрузка, %	100	75	50
Температура воздуха, °C	30	25	20
Холодопроизводительность, кВт	886	665	443
Общая потребляемая мощность, кВт	246	140	77

$$W_3 = (44 \cdot 12)246 + (28 \cdot 12)140 + (34 \cdot 12)77 = 208344 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Стоимость потребленной электроэнергии за 1 сезон кондиционирования составит

$$S_3 = W_3 C = 16668 \text{ евро/год.}$$

$$\text{Срок окупаемости } C_{\text{ок}3} = (KZ_3 - KZ_1) / (S_1 - S_3) = (170000 - 115000) / (18365 - 16668) = 32 \text{ года.}$$

Вариант 4. Высокоэффективная водоохлаждающая холодильная машина наружной установки с безмасляными центробежными компрессорами, оптимизированными для работы на R134a, с



осевыми вентиляторами, медно-алюминиевым конденсатором воздушного охлаждения и кожухотрубным испарителем. Регулирование производительности осуществляется частотным вариатором. Для повышения энергоэффективности увеличены площади поверхности теплообмена испарителя и конденсатора.

Капитальные затраты $KZ_4 = 260\,000$ евро.

Технические характеристики

Нагрузка, %	100	75	50
Температура воздуха, °C	30	25	20
Холодопроизводительность, кВт	895	671	448
Общая потребляемая мощность, кВт	241	142	75

$$W_4 = (44 \cdot 12)241 + (28 \cdot 12)142 + (34 \cdot 12)75 = 205560 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Стоимость потребленной электроэнергии за 1 сезон кондиционирования составит

$$S_4 = W_4 C = 16445 \text{ евро/год.}$$

$$\text{Срок окупаемости } C_{\text{ок}4} = (KZ_4 - KZ_1) / (S_1 - S_4) = (260000 - 115000) / (18365 - 16445) = 75,5 \text{ лет.}$$

Выводы

- Приведенные расчеты позволяют в первом приближении оценить целесообразность выбора того или иного типа чиллера для системы кондиционирования воздуха в зависимости от его энергоэффективности и срока окупаемости для условий средней полосы России.

- Существуют и другие критерии для выбора тех или иных типов чиллеров, но определяющим фактором все же остается цена.

- Инвесторам и проектировщикам следует обращать внимание на соответствие характеристик, заявленных производителем, фактическим характеристикам установки, что можно проверить на сайте ЕВРОВЕНТА (<http://www.eurovent-certification.com>). При отсутствии информации необходимо требовать от продавца точную марку компрессоров и уточнять соответствие характеристик установки характеристикам компрессоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремкин А.И., Королева Т.И. Тепловой режим зданий: Учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2000.
2. <http://www.pogodaiklimat.ru/>
3. Технические каталоги ведущих мировых производителей чиллеров.

REFERENCES:

1. Eremkin A.I., Koroleva T.I. Thermal conditions of buildings: Manual. – M.: Publishing House ACB, 2000.
2. <http://www.pogodaiklimat.ru/>
3. Technical catalogs of world leading producers of chillers.