

Энергетическая и экономическая оценка систем свободного и машинного охлаждения для кондиционируемых помещений офисов

Е. Г. Малявина, профессор, канд. техн. наук, МГСУ

А. А. Фролова, МГСУ

А. С. Силаев, МГСУ, otvet@abok.ru

Ключевые слова: холодильная машина, сухой охладитель, электроэнергия, капитальные вложения, эксплуатационные затраты, совокупные дисконтированные затраты

Продолжение. Начало статьи
читайте в журнале «АВОК»
№ 1–2014

Сравнение экономических показателей различных вариантов установки холодоснабжения

Экономический анализ полученных результатов выполнялся на основе сравнения совокупных дисконтированных затрат (СДЗ), руб., на поддержание заданного микроклимата помещений при различных вариантах системы охлаждения. СДЗ в соответствии с [3] для T лет рассчитывались по формуле:

$$СДЗ = K \left(1 + \frac{p}{100} \right)^T + \text{Э} \left[\left(1 + \frac{p}{100} \right)^T - 1 \right] \left(\frac{100}{p} \right), \quad (1)$$

где p – норма дисконта, %, принятая здесь равной 10 %;

K – капитальные затраты, руб., для соответствующего варианта;

T – срок окупаемости системы, принятый по сроку службы оборудования для охлаждения помещения – 25 лет;

Э – годовые эксплуатационные затраты по вариантам.

Единовременные капитальные затраты K , руб., для вариантов машинного и свободного охлаждения здания складываются из стоимости оборудования на охлаждение помещений $K_{об}$, руб., и стоимости условий присоединения системы охлаждения к электросети города Москвы $K_{прис}$. $K_{прис}$ принято равным 40 тыс. руб. за 1 кВт электрической мощности.

Эксплуатационные затраты, руб./год, на охлаждение здания

состоят из стоимости затрачиваемой электроэнергии $\text{Э}_{охл}$, руб./год, и амортизационных отчислений на эксплуатацию оборудования $\text{Э}_{ам}$, руб./год, причем $\text{Э}_{охл}$ рассчитывается исходя из стоимости электроэнергии. Рассмотрены четыре варианта стоимости электроэнергии¹:

- 3,04 руб./кВт·ч для одноставочного тарифа высокого напряжения;
- 3,13 руб./кВт·ч для полупиковой зоны трехставочного тарифа высокого напряжения;
- 4,77 руб./кВт·ч для одноставочного тарифа низкого напряжения;
- 4,85 руб./кВт·ч для полупиковой зоны трехставочного тарифа низкого напряжения.

Амортизационные отчисления $\text{Э}_{ам}$, руб./год, определялись по формуле [4]:

$$\text{Э}_{ам} = (K_{прис} + 1,5K_{об}) / T_{ам}. \quad (2)$$

¹ Тарифы на электрическую энергию для потребителей с максимальной мощностью энергопринимающих устройств от 150 до 670 кВт ОАО «Мосэнергосбыт», март 2013 года.

Коэффициент 1,5 учитывает необходимость амортизационных отчислений как на полное восстановление оборудования из расчета, что за срок $T_{ам}$ будет накоплена его полная начальная стоимость, так и на его капитальный и текущий ремонт [4].

Стоимость оборудования по вариантам приведена в табл. 2, из которой следует, что, казалось бы, незначительное увеличение мощности сухих охладителей в условиях возросшей всего на 4 °С температуры наружного воздуха значительно повышает их стоимость.

На основе приведенных выше данных о затратах электроэнергии и стоимости оборудования рассчитаны капитальные и эксплуатационные затраты на охлаждение здания, которые представлены в сводной табл. 3.

Разделение стоимости общей для двух режимов работы системы оборудования (сухие охладители и насосные группы) на нужды свободного и машинного охлаждения выполнено пропорционально продолжительности работы в год этого оборудования в каждом режиме.

По данным табл. 1 и 3 была получена цена холода для каждого из двух режимов охлаждения помещений (табл. 4). Цена найдена в двух вариантах: для владельца установки – только по стоимости электроэнергии, необходимой для работы оборудования (в знаменателе), и для потребителя холода. В цену холода для потребителя вошли не только стоимость электроэнергии, но и амортизационные отчисления, так как плата за холод должна окупить все расходы, понесенные на покупку оборудования и присоединение к электросетям.

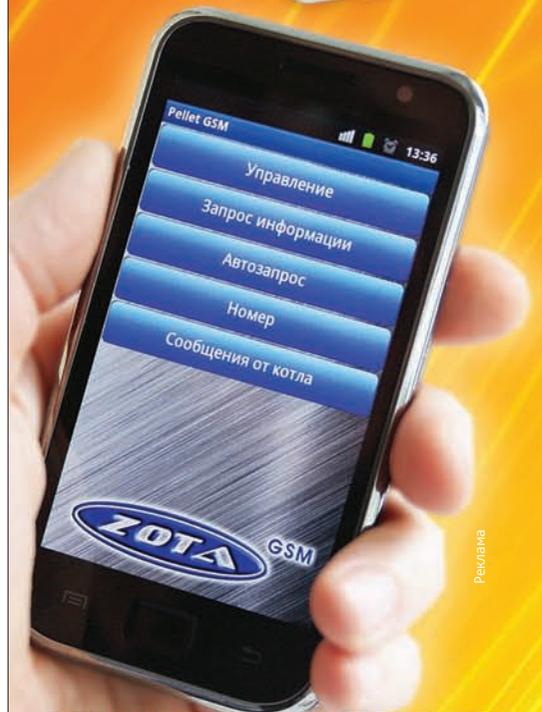
Полученные средние за сезон значения цены машинного холода несколько выше часто принимаемой величины 1,5 руб./кВт·ч [1] в вариантах с учетом амортизационных отчислений (что отчасти можно объяснить влиянием инфляции). Интересно, что цена 1 кВт·ч холода при свободном охлаждении в рассчитанных вариантах составляет от 0,30 до 0,37 цены холода при машинном охлаждении в случае учета амортизационных отчислений и от 0,35 до 0,40 – без их учета. Причем стабильно при сухом охладителе, подобранном на работу в режиме свободного охлаждения до температуры наружного воздуха +9 °С, средняя за сезон цена сама по себе выше, но в нее входит период времени от +5 до +9 °С, когда электроэнергии на свободное охлаждение тратится больше всего. Но следует заметить, что на машинное охлаждение в это время затраты электроэнергии еще больше. То, что средняя за сезон цена машинного охлаждения в вариантах б) возрастает, объясняется отсутствием дешевой выработки холода при низких температурах наружного воздуха. В цене холода свободного охлаждения расходы на присоединение к электросетям не учитывались, так как требуемая электрическая мощность для свободного охлаждения значительно ниже требуемой для работы холодильной машины.

Сравнение совокупных дисконтированных затрат СДЗ выполнялось для круглогодичного обеспечения холодильной нагрузки (свободное и машинное охлаждение в своем диапазоне температур наружного воздуха). Суммарные капитальные

ZOTA[®]

**ZOTA
GSM**

GSM-МОДУЛЬ



Реклама

КОТЕЛЬНОЯ В ВАШЕМ КАРМАНЕ

«ЗАВОД ОТОПИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИКИ»
Красноярск, ул. Калинина, 53А
(391) 247-77-77, 247-78-88, 247-79-99

www.zota.ru



Таблица 2

Стоимость оборудования для системы охлаждения воздуха, тыс. руб.

Оборудование	Варианты					
	1а	1б	2а	2б	3а	3б
Холодильные машины	2 966,88 / 1,20	2 966,88 / 1,20	2 966,88 / 1,20	2 966,88 / 1,20	3 139,72 / 1,27	3 139,72 / 1,27
Сухие охладители	2 023,36 / 0,82	3 531,92 / 1,43	2 023,36 / 0,82	3 852,57 / 1,56	2 896,72 / 1,17	3 877,36 / 1,57
Установки насосные	1 116,40 / 0,45	1 116,40 / 0,45	1 116,40 / 0,45	1 116,40 / 0,45	1 152,40 / 0,47	1 152,40 / 0,47
Теплообменник при свободном охлаждении	134,48 / 0,050	145,20 / 0,059	134,48 / 0,050	145,20 / 0,059	134,48 / 0,050	145,20 / 0,059

* Тыс. руб. / тыс. руб. на 1 м² офисной площади.

Таблица 3

Эксплуатационные и капитальные затраты на системы свободного и машинного охлаждения за год

Система	Затраты	Вариант 1а	Вариант 1б	Вариант 2а	Вариант 2б	Вариант 3а	Вариант 3б
Свободное охлаждение	Эксплуатационные затраты						
	Стоимость электроэнергии, тыс. руб./год*	106,60 / 170,02	173,10 / 276,20	106,57 / 170,00	179,70 / 286,70	113,70 / 181,47	182,00 / 290,40
	Амортизационные отчисления, тыс. руб./год	132,50	246,90	131,47	210,56	166,56	266,29
	Сумма эксплуатационных затрат, тыс. руб./год*	239,10 / 302,52	420,00 / 523,1	238,04 / 301,50	390,30 / 497,30	280,30 / 348,03	448,30 / 556,70
	Сумма эксплуатационных затрат, руб./кВт·ч год*	0,91 / 1,15	1,04 / 1,30	0,91 / 1,15	0,97 / 1,23	1,07 / 1,33	1,11 / 1,38
	Сумма эксплуатационных затрат, руб./м ² ·год*	96,70 / 122,35	185,30 / 236,10	96,30 / 121,90	157,90 / 201,10	113,37 / 140,80	181,30 / 225,20
	Капитальные затраты						
	Стоимость оборудования, тыс. руб.	2 208,00	4 114,94	2 189,41	4 386,63	2 775,99	4 438,10
	Стоимость оборудования, руб./кВт·ч год*	8,43	10,20	8,35	10,89	10,60	11,01
	Стоимость оборудования, руб./м ² ·год*	893,03	1664,30	885,50	1774,18	1122,76	1795,00
Машинное охлаждение	Эксплуатационные затраты						
	Стоимость электроэнергии, тыс. руб./год*	426,80 / 680,90	341,55 / 544,90	427,50 / 682,00	334,80 / 534,20	444,40 / 708,90	314,80 / 502,20
	Амортизационные отчисления, тыс. руб./год	605,70	624,6	619,67	620,78	761,64	713,99
	Сумма эксплуатационных затрат, тыс. руб./год*	1032,50 / 1286,60	966,15 / 1169,50	1047,20 / 1301,70	955,60 / 1155	1206 / 1470,60	1029 / 1216,20
	Сумма эксплуатационных затрат, руб./кВт·ч год*	2,54 / 3,16	3,62 / 4,37	2,56 / 3,18	3,56 / 4,30	2,95 / 3,59	3,83 / 4,53
	Сумма эксплуатационных затрат, руб./м ² ·год*	417,60 / 520,40	404,70 / 616,60	423,50 / 526,47	386,50 / 467,10	487,80 / 594,79	416,18 / 491,90
	Капитальные затраты						
	Присоединение к электросетям, тыс. руб.	6 872	6 860	7 256	7 184	9 688	9 160
	Стоимость оборудования, тыс. руб.	5 470,8	5 431,26	5 490,29	5 557,07	6 235,31	5 793,10
	Сумма единовременных затрат, тыс. руб.	12 406,8	12 291,26	12 746,29	12 741,07	15 923,31	14 953,1
Сумма единовременных затрат, руб./кВт·ч год*	30,47	46,01	31,14	47,46	38,9	55,68	
Сумма единовременных затрат, руб./м ² ·год*	5 017,96	5 217,13	5 155,27	5 153,15	6 440,22	6 047,80	

* В числителе дроби указана величина при стоимости электроэнергии 3,04 руб./кВт·ч, в знаменателе – при 4,85 руб./кВт·ч.

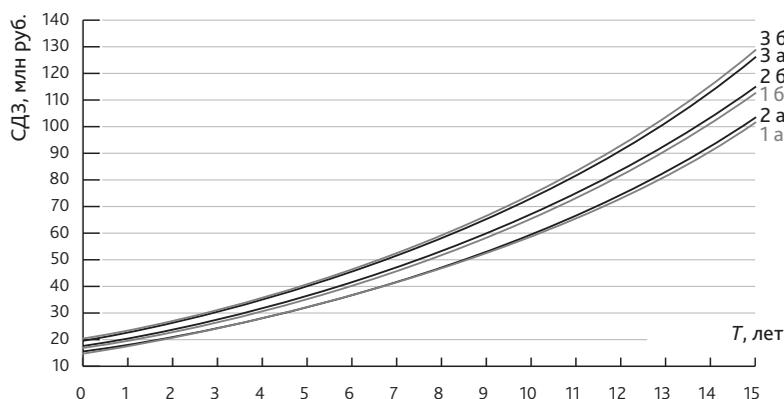


Рис. 2. Изменение СДЗ в течение первых 15 лет срока окупаемости системы

и эксплуатационные затраты по вариантам приведены в табл. 3, а кривые изменения СДЗ в течение первых 15 лет срока окупаемости системы – на рис. 2. Из рисунка видно, что при выборе холодильной машины на обеспечение холодильной нагрузки, определяемой расчетной температурой наружного воздуха теплого периода года от +26 до +32 °С, экономически более выгодным является переход на свободное охлаждение, определяемое размером сухого охладителя, выбранного исходя из покрытия 100 % нагрузки охлаждения конденсатора. Увеличение размеров сухого охладителя нерентабельно. Интересно, что при увеличении расчетной температуры наружного воздуха для подбора холодильной машины разность в СДЗ для вариантов а) и б) уменьшается.

Выводы

1. Из результатов расчетов следует, что потребляемую оборудованием системы свободного охлаждения электроэнергию нельзя считать пренебрежимо малой. При увеличении температуры наружного воздуха ее

потребление значительно увеличивается и при температуре t_n , близкой к границе перехода на машинное охлаждение, приближается к потребляемой машинным охлаждением мощности.

2. Расчеты подтвердили распространённое мнение, что переход на машинное охлаждение с сухими охладителями, обеспечивающими 100%-ную нагрузку холодильной машины, происходит при $t_n = +5$ °С. Этот сухой охладитель в режиме свободного охлаждения имеет в среднем за время своей работы лучший коэффициент преобразования, чем больший охладитель, подобранный на переход к машинному охлаждению при $t_n = +9$ °С, так как в течение времени от +5 до +9 °С коэффициент преобразования имеет наиболее низкие значения. Но больший охладитель приводит к большему в среднем коэффициенту преобразования при машинном охлаждении.

3. Из приведенных значений электропотребления системами охлаждения для выработки воды с температурой +12...+17 °С за время от отрицательной температуры наружного воздуха до +9 °С можно сделать вывод,

Кассетный тип



1. Новое решение – раздача воздуха в 8-ми направлениях
2. Бесшумная работа, использование новейших 3D центробежных вентиляторов

Канальный тип



1. Встроенная дренажная помпа
2. Возможность отвода дренажа в двух направлениях

Напольно-потолочный тип



1. Опции: Пульт ДУ, проводной пульт, низкотемпературный комплект, фильтры
2. Сертификат CE
3. TitanGold TM теплообменник (Опционально) запатентованная TitanGold TM технология обеспечивает более эффективный теплообмен, высокую производительность, устойчивость к коррозии и простоту обслуживания

Универсальные внешние блоки

1. Низкотемпературные комплекты
2. Универсальные наружные блоки
3. Работа на охлаждение до -10°C



Реклама



The Creative Life



hao.tcl.com www.tcl.com

TCL Air Conditioner (ZhongShan)Co.,Ltd.
 Factory add:No.59,Nantou Road West,Nantou,Zhongshan.
 Guangdong,P.R.China
 Tel: + 86 760 8782 1666
 Fax: + 86 760 8782 1725
 http:// www.tcl.com
 Business Contact: omc@tcl.com / + 86 760 2819 7721
 http:// hao.tcl.com
 Technical Service: ac_tech_service@tcl.com / + 86 760 2819 7715

Таблица 4

Цена 1 кВт·ч холода, руб.*

Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	Система	Варианты					
		1а	1б	2а	2б	3а	3б
3,04	Свободное охлаждение	0,94 / 0,41	1,04 / 0,43	0,91 / 0,41	0,97 / 0,45	1,07 / 0,43	1,11 / 0,45
	Машинное охлаждение	2,60 / 1,05	3,62 / 1,28	2,56 / 1,04	3,56 / 1,25	2,95 / 1,09	3,83 / 1,17
3,13	Свободное охлаждение	0,95 / 0,42	1,06 / 0,44	0,92 / 0,42	0,98 / 0,46	1,08 / 0,45	1,13 / 0,47
	Машинное охлаждение	2,63 / 1,08	3,65 / 1,32	2,59 / 1,08	3,60 / 1,28	2,98 / 1,12	3,87 / 1,21
4,77	Свободное охлаждение	1,17 / 0,64	1,29 / 0,67	1,14 / 0,64	1,22 / 0,70	1,32 / 0,68	1,37 / 0,71
	Машинное охлаждение	3,20 / 1,64	4,34 / 2,01	3,15 / 1,64	4,27 / 1,96	3,56 / 1,70	4,50 / 1,84
4,85	Свободное охлаждение	1,18 / 0,65	1,30 / 0,69	1,15 / 0,65	1,23 / 0,71	1,33 / 0,69	1,38 / 0,72
	Машинное охлаждение	3,22 / 1,67	4,38 / 2,04	3,18 / 1,67	4,30 / 1,99	3,59 / 1,73	4,53 / 1,87

* В числителе дроби указана стоимость с учетом амортизационных отчислений, в знаменателе – без их учета.

что переход на машинное охлаждение при более высокой наружной температуре $t_n = +9^\circ\text{C}$ энергетически более выгоден, чем переход при $t_n = +5^\circ\text{C}$.

4. Потребляемая электрическая мощность на машинное охлаждение значительно зависит от температуры наружного воздуха, так как, во-первых, меняется нагрузка на охлаждение самого приточного воздуха, а во-вторых, с повышением температуры наружного воздуха ухудшаются условия снижения температуры жидкости для охлаждения конденсатора, поэтому затраты электроэнергии на работу холодильной машины резко возрастают при расчетной температуре наружного воздуха в теплый период года.

5. С экономической точки зрения увеличение размеров сухого охладителя невыгодно, так как незначительное увеличение мощности сухих охладителей значительно увеличивает их стоимость. Экономически

более выгодным является переход на свободное охлаждение, определяемое размером сухого охладителя, выбранного исходя из покрытия 100 % нагрузки охлаждения конденсатора. При снижении стоимости сухих охладителей увеличение размеров этих аппаратов может оказаться выгодным.

6. В экономических сравнениях нельзя не учитывать стоимость годового потребления электроэнергии системой свободного охлаждения, так как она составляет значительную часть (20–60%) от стоимости годового потребления электроэнергии системой машинного охлаждения.

7. Следует обратить внимание на то, что из-за высокой стоимости оборудования амортизационные отчисления составляют более 50 % от годовой стоимости электроэнергии и могут достигать 90 % от нее. Важно, что стоимость присоединения к электрическим сетям системы охлаждения здания превосходит

стоимость дорогостоящего холодильного оборудования при принятой довольно умеренной для Москвы цене за присоединение в 40000 руб./кВт.

Литература

1. Наумов А. Л. Оценка и роль теплозащиты общественных зданий // АВОК. – 2009. – № 7.
2. Малявина Е. Г., Фролова А. А. Расчет энергетически целесообразной температуры наружного воздуха для перехода на свободное охлаждение кондиционируемых помещений // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 11–12.
3. Гагарин В. Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. – 2010. – № 3.
4. Самарин О. Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. М. : АСВ, 2011. ■