

Использование аккумуляции холода в системе кондиционирования воздуха спортивного комплекса

Н.Н. Руденко, А.П. Пирожникова, В.А. Коробов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Холодильные установки подбираются на покрытие пиковых тепловыделений общественных зданий. В то же время пиковые нагрузки нередко являются кратковременными и основное время холодильные установки работают на 40-60% от своей максимальной мощности. В статье рассмотрены вопросы неравномерного холодопотребления на примере спортивного комплекса, расположенного в г. Волгограде. При проектировании системы кондиционирования зала для игр используется схема холодоснабжения с применением «чиллер-фанкойлов». Действенным решением по снижению энергетических и эксплуатационных затрат является включение в схему холодильной установки аккумулятора холода, применение данного типа конструкции позволяет снизить эксплуатационные и энергетические затраты.

Ключевые слова: система холодоснабжения, система кондиционирования воздуха, холодильная машина, аккумуляция холода, потребление энергии, пиковые нагрузки, переменное энергопотребление.

Системы холодоснабжения для обеспечения необходимых внутренних параметров воздушной среды зданий общественного назначения, таких, как офисные, торговые, многофункциональные центры, спортивные сооружения, здания транспортной инфраструктуры (железнодорожные, автобусные, морские вокзалы, аэропорты, гостиницы, спортивные сооружения) являются значительными потребителями материальных и энергетических ресурсов. Холодильная мощность систем в подобных зданиях способна достигать до нескольких тысяч киловатт, а их цена может достигать десятков миллионов рублей. В отечественной и международной практике используются различные варианты принципиальных схем холодоснабжения. Выбор

наиболее оптимальной схемы расположения оборудования, его опционального доукомплектования, повышение результативности режимов работы холодильных станций выступают сложной задачей, требующей осуществления технико-экономических расчетов [1,2].

Оптимизация системы холодоснабжения позволяет достичь экономии исходных затрат на их устройство, и кроме того уменьшить потребление энергоресурсов в ходе эксплуатации в пределах от 15 до 25 %. Выбор той или иной схемы холодоснабжения должно базироваться на результатах оценки их энергетической, экономической и экологической эффективности [3].

Уменьшение энергопотребления обуславливается на этапе проектирования конкретного объекта путем подбора схемы, необходимого оборудования и алгоритма работы. В расчетном периоде учет неравномерности нагрузки на систему кондиционирования воздуха (СКВ) является одним из значительных факторов при его проектировании.

Достаточно часто оборудование подбирается по пиковым нагрузкам, вследствие чего возникает необходимость увеличивать производительность СКВ на 30 – 40 % по сравнению с допиковой нагрузкой [4, 5]. В качестве примера рассмотрим зал для проведения спортивных мероприятий, который расположен в городе Волгограде, вместимостью до 32-х человек в сутки. Максимальные нагрузки на систему кондиционирования данного типа здания в летний период года находится в интервале с 13 до 20 часов, в ночные часы в использовании СКВ нет необходимости. Разность итоговых теплопритоков достигает показаний 23,52 кВт. В спортивном зале максимальный теплоприток составляет 28,15 кВт, минимальный – 4,63 кВт, таблица №1, рис. 1.

Аккумуляторы холода используют для того, чтобы снизить установочную производительность СКВ и обеспечить технологические или комфортные условия при пиках нагрузки. Принцип работы аккумуляторов

холода состоит в следующем: до наступления максимально возможной нагрузки холодильная машина включается на полную мощность и в резервуарах-охладителях замораживается вода или охлаждается жидкость с отрицательной температурой замерзания. Недостающая мощность холодильной машины восполняется в период пика путем отбора холода ото льда (плавление) или охлаждения жидкости. Сезонные пиковые нагрузки, характерные для СКВ, сглаживаются путем отбора холода ото льда, накапливаемого в изотермических контейнерах в межсезонье. Процесс накопления холода происходит при отрицательных температурах. В испарительном контуре недопустимо устройство баков-аккумуляторов с применением незамерзающих растворов. При проектировании систем холодоснабжения рекомендуется применять комплектующие, которые работают на экологически безопасных хладагентах: R407A; R134a; R410A; R717; R123 [6].

Таблица № 1

Значение теплопритоков в зависимости от времени

Изменение параметров в течение суток						
Время, ч	Температура наружного воздуха, °С	Кратность воздухообмена, 1/ч	Температура внутреннего воздуха, °С	Требуемая холодопроизводительность системы кондиционирования воздуха, кВт	Расчетная холодопроизводительность системы кондиционирования воздуха, кВт	Холодопроизводительность аккумулятора, кВт
1	2	3	4	5	6	7
00	22,05	0,00	25,00	17,29	19,44	16,39
01	20,90	0,00	25,00	12,95	16,40	16,39
02	20,50	0,00	25,00	9,74	13,36	16,39
03	20,70	0,00	25,00	7,95	10,52	16,39
04	20,95	0,00	25,00	6,32	8,08	16,39
05	21,80	0,00	25,00	5,14	6,21	16,39
06	22,60	0,00	25,00	4,87	5,04	16,39
07	23,40	0,00	25,00	4,63	4,63	16,39
08	24,10	0,70	25,00	5,18	5,03	16,39

Продолжение таблицы № 1

1	2	3	4	5	6	7
09	25,10	0,90	25,00	5,69	6,19	16,39
10	25,70	0,98	25,00	7,19	8,06	16,39
11	26,40	1,07	25,00	10,88	10,49	16,39
12	27,45	1,15	25,00	15,67	13,32	16,39
13	28,60	1,23	25,00	22,76	16,36	16,39
14	29,00	1,32	25,00	25,65	19,41	16,39
15	28,60	1,40	25,00	27,55	22,24	16,39
16	27,45	1,17	25,00	27,91	24,68	16,39
17	25,80	0,93	25,00	28,15	26,56	16,39
18	24,60	0,70	25,00	27,37	27,74	16,39
19	24,00	0,00	25,00	26,27	28,15	16,39
20	23,30	0,00	25,00	24,27	27,76	16,39
21	22,70	0,00	25,00	21,88	26,59	16,39
22	22,40	0,00	25,00	19,31	24,74	16,39
23	22,30	0,00	25,00	16,58	22,31	16,39

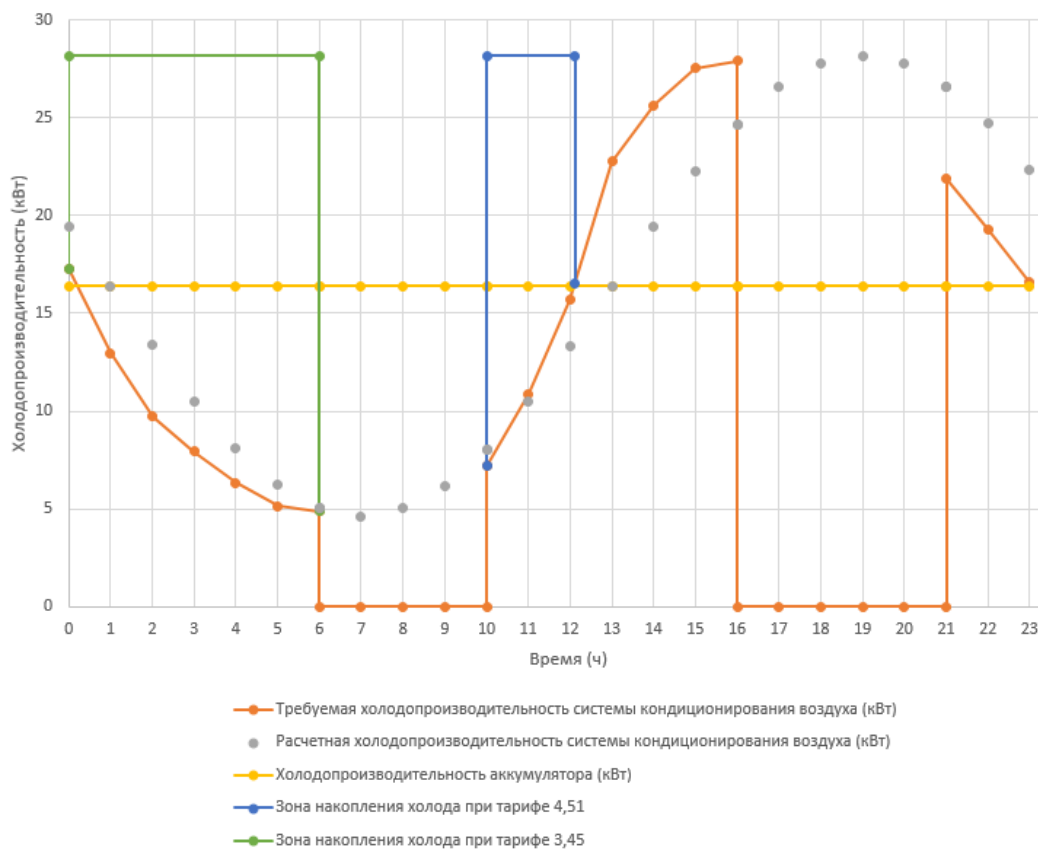


Рис. 1. – График работы СКВ

Для расчета производительности СКВ воспользуемся общепринятой методикой Табунщикова Ю. А. [7], формула 1:

$$q = q_{\text{ср}} + A \cos \frac{2\pi(\tau + \tau_0)}{24} \quad (1)$$

где $q_{\text{ср}}$ – среднее значение теплопритоков, 16,39 кВт; A – амплитуда колебания теплопритоков, 11,76 кВт; τ – время суток, ч; τ_0 – интервал времени суток работы СКВ, ч.

Масса льда определяется по формуле 2:

$$M = \frac{Q_x^q}{385 + (7 - 0) \cdot c} \quad (2)$$

где Q_x^q – потребление холода, кВт, формула 3;

$$Q_x^q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (q_{\text{ср}} + A \cos \frac{2\pi(\tau + \tau_0)}{24}) d\tau \quad (3)$$

385 – агрегатное состояние льда; 7 – требуемая температура, °С; 0 – начальная температура аккумуляции холода, °С; c – теплоемкость воды, кВт; τ_1, τ_2 – время начала и окончания интервала работы СКВ соответственно, ч.

$$Q_x^q = 164,58$$

$$M = 0,42$$

Средняя холодопроизводительность определена по формуле 4:

$$Q_{\text{ср}} = \frac{\Sigma Q}{24} \quad (4)$$

где Q – требуемая холодопроизводительность системы кондиционирования воздуха, кВт; 24 – часы в сутках, ч.

$$Q_{\text{ср}}=10,82 \text{ кВт}$$

Зона накопление холода формула 5

$$Q_X^n = 6 \cdot q \cdot \int_0^6 \delta(\tau) d\tau \quad (5)$$

$$Q_X^n=16,5208$$

Исходя из суточного значения потребления электроэнергии систем СКВ [8, 9], рассчитаны эксплуатационные затраты для города Волгограда, таблица №3 [10, 11].

Таблица № 3

Сравнение эксплуатационных затрат

период работы, часы	тариф	Традиционная система «Чиллер-фанкойлы»			Система с аккумуляцией холода		
		Потребление холода, кВтч	Потребление электроэнергии, кВтч/сут	Стоимость электроэнергии, руб.	Потребление холода, кВтч	Потребление электроэнергии, кВтч/сут	Стоимость электроэнергии, руб.
с 7 до 9	5,86	15,5	5,17	30,28	49,17	16,39	96,05
с 17 до 20	5,86	106,06	35,35	207,17	65,56	21,85	128,06
с 10 до 16	4,51	137,61	45,87	206,87	114,73	38,24	172,48
с 21 до 22	4,51	41,19	13,73	61,92	32,78	10,93	49,28
с 23 до 6	3,45	80,84	26,95	92,97	131,12	43,71	150,79
Итого		381,2		599,21	393,36		596,65
II	qMx	15,88			16,39		
III	qMx	22,42			23,14		

Несмотря на то, что традиционная система «Чиллер-фанкойлы» используется только в рабочие часы холодильной машины, ее потребление

электроэнергии больше, чем у системы с аккумуляцией холода, при учете потребления энергии на подзарядку аккумулятора в нерабочие часы. Экономия составляет около 0,5% затрат на оплату электроэнергии.

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что применение аккумуляторов холода в системах охлаждения дает возможность экономить существенную долю средств как при приобретении оборудования, так и в ходе его эксплуатации, а также значительно увеличивает энергоэффективность всей системы холодоснабжения.

Литература

1. Пономарев Н.С., Клейменова У.С., Меркурьева А.Д. Холодоснабжение систем кондиционирования воздуха в промышленности // Вестник науки и образования. – 2019. – №. 22-1. – С. 50-52.
 2. Бабакин Б.С. и др. Анализ тепловой нагрузки на аккумуляторы холода // Молочная промышленность. – 2016. – №. 7. – С. 17-18.
 3. Набережных А.И., Деменев А.В. Теория и практика создания энергоэффективной бытовой холодильной техники, работающей при экстремально высокой температуре окружающей среды. // Инженерный вестник Дона, 2013, №. 2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_32_Naberezhnykh.pdf_1620.pdf.
 4. Mehling H., Cabeza L.F. Heat and cold storage with PCM. – Berlin: Springer, 2008. – Т. 103-104.
 5. Yan C. et al. A multi-timescale cold storage system within energy flexible buildings for power balance management of smart grids // Renewable Energy. – 2020. – Т. 161. – С. 626-634.
 6. Ефремов В.В., Наумов А.Л., Серов С.Ф. Использование аккумуляторов холода в системах кондиционирования воздуха // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. – 2010. – №. 3. – С. 4-4.
-

7. Табунщиков Ю. А. Основы математического моделирования теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы. Докторская диссертация // М.: НИИСФ. – 1983. – С. 384.
8. Группа компаний «Промвентхолд». URL: promventholod.ru/tekhnicheskaya-biblioteka/akkumulyatory-kholoda.html.
9. Каталог оборудования фирмы «Inventory.ru» URL: inventory.ru/product/bak-s-tank-serii-ss-st-3000-iz-nerzhavestnoj-stal-i-holodoakkumuljator-s-flancevym-podkljucheniem/.
10. Макареня Т. А., Сташ С. В. Система тарифообразования на услуги жилищно-коммунального хозяйства // Инженерный вестник Дона, 2013, №. 3. URL:ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_78_Makarenya.pdf_1839.pdf.
11. ЭнергоВОПРОС.ру — свет, газ, тепло, вода — простыми словами и на личном опыте! URL:energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju/volgogradskaya_oblast/39367/.

References

1. Ponomarev N.S., Klejmenova U.S., Merkur'eva A.D. Vestnik nauki i obrazovaniya. 2019. №. 22-1. pp. 50-52.
 2. Babakin B.S. i dr. Molochnaya promyshlennost'. 2016. №. 7. pp. 17-18.
 3. Naberezhnyh A.I., Demenev A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 2. URL:ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_32_Naberezhnykh.pdf_1620.pdf.
 4. Mehling H., Cabeza L.F. Heat and cold storage with PCM. Berlin: Springer, 2008. pp. 103-104.
 5. Yan C. et al. Renewable Energy. 2020. T. 161. pp. 626-634.
 6. Efremov V.V., Naumov A.L., Serov S.F. Internet-Vestnik VolgGASU. 2010. №. 3. p. 4-4.
-



7. Tabunshhikov Yu. A. Osnovy` matematicheskogo modelirovaniya teplovogo rezhima zdaniya kak edinoj teploe`nergeticheskoy sistemy`. [Fundamentals of mathematical modeling of the thermal regime of a building as a unified heat and power system. Doctoral dissertation]. Doktorskaya dissertaciya. M.: NIISF. 1983. p. 384.

8. Gruppa kompanij «Promventholod» [Promventholod Group of Companies]. URL: promventholod.ru/tehnicheskaya-biblioteka/akkumulyatory-kholoda.html.

9. Katalog oborudovaniya firmy «Invertory.ru» [The company's equipment catalog]. URL: invertory.ru/product/bak-s-tank-serii-ss-st-3000-iz-nerzhavejushej-stali-holodoakkumuljator-s-flancevym-podkljucheniem/.

10. Makarenya T.A., Stash S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_78_Makarenya.pdf_1839.pdf.

11. E`nergoVOPROS.ru [EnergyDemand.ru] svet, gaz, teplo, voda prosty`mi slovami i na lichnom opy`te!
URL: energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju/volgogradskaya_oblast/39367/.