Связь принципиальных решений центральных СХС с холодильной нагрузкой СКВ зданий

А.Г. Сотников, д.т.н., профессор, член НП «АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД»

Технико-экономическую информацию о центральной СХС СКВ объекта можно представить следующими основными составляющими, частично представленными на рис. 1:

нагрузкой объекта – совокупностью аппаратов-воздухоохладителей кондиционеров, fan-coil и др.: она характеризуется холодильной мощностью Q_x, кВт, в общем случае переменной при максимальном значении $Q_{x\,max}$, среднем – $Q_{x.cp}$, коэффициенте неравномерности нагрузки $k_Q = Q_{x\,max}/Q_{x.cp} \geqslant 1{,}0$, временем работы объекта $\Delta\tau_p = \tau_к - \tau_н$, а также суточным расходом холода $\Delta\tau_p Q_{x.cp}$, кВт·ч, требуемыми температурами воды или рассола в испарителе, воздухоохладителях и баке-аккумуляторе холода (эти температуры и их перепады в разных элементах СХС могут не совпадать) $t_{wн} - t_{wк}$, $t_{ж.н} - t_{ж.к}$, и ее расходом G_w, $G_ж$ через испаритель;

водоохлаждающей (холодильной) машиной (одной или несколькими), имеющей холодопроизводительность испарителя $Q_{х.м.}$, кВт, в расчетных или паспортных условиях, т.е. при паспортных параметрах сред, поступающих на испаритель и конденсатор (расчетных или паспортных), нескольких ступеней управления и др.;

баком-аккумулятором холода, эффективным при кратковременности, односменности и неравномерности использования холода[1], характеризуемым объемом $V_{б\text{-}а}$, $м^3$ и расчетным суточным количеством аккумулируемого холода $Q_{х.б\text{-}а.}$, кВт·ч/сут; для сокращения объема бака применяют увеличенный перепад температур $\Delta t_ж$

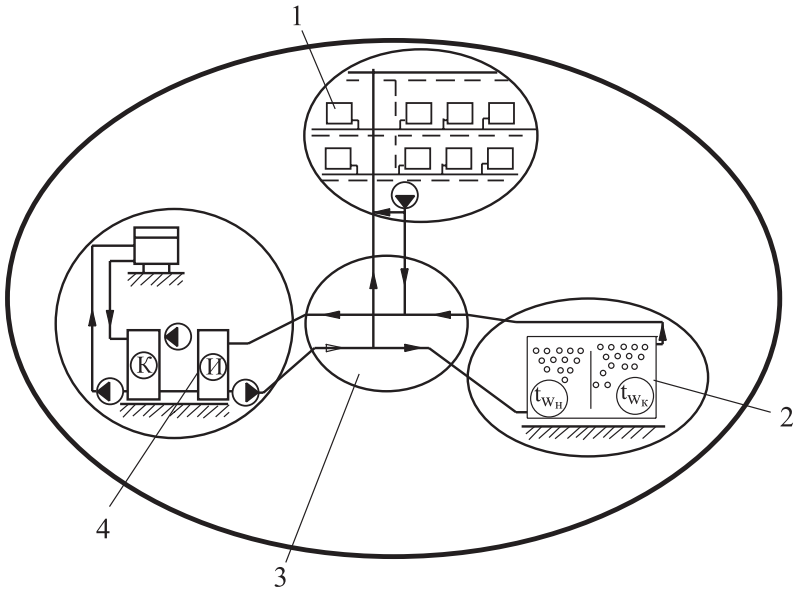


Рис. 1. Условная схема совместно работающих элементов центральной СХС СКВ здания и перераспределение между ними потоков хладоносителя;

1 – потребитель холода (нагрузка); 2 – бак-аккумулятор холода с насадкой; 3 – устройство переключения и управления потоками хладоносителя; 4 – водоохлаждающая (холодильная) машина с выносным охладителем жидкости

1. Эту особенность применения аккумуляции холода никак не объясняет п. 9.6 СНиП 41-01-2003, где рекомендуется «…системы холодоснабжения …проектировать, как правило, с баком-аккумулятором»

Анатолий Геннадиевич Сотников

Родился в 1938 году. Доктор технических наук, профессор. В 1962 году окончил с отличием Ленинградский инженерно-строительный институт (ЛИСИ). В 1968 году защитил диссертацию, окончив аспирантуру. С 1968-го по 2007 год работал на кафедре кондиционирования воздуха Ленинградского технологического института холодильной промышленности (ЛТИХП) ассистентом, доцентом, профессором. В 1994 году защитил по совокупности исследований (книги, статьи) докторскую диссертацию. Автор известных книг по проектированию VAV систем (1976 и 1984 гг.), по автоматизации систем кондиционирования воздуха и вентиляции (1984 г.). В последние годы подготовил и издал книгу «Автономные и специальные СКВ» (2005 г.) и фундаментальный трехтомник «Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции» (2005–2007 гг.). В настоящее время закончил работу и подготовил к изданию два тома мемориальной книги «Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха» (подробности на сайте www.proptimum.ru). Круг научных интересов разнообразен и становится понятным по названию и содержанию книг и статей в журналах.

и (или) специальную насадку, использующую теплоту фазового перехода;

системой переключения и управления, организующей требуемые режимы зарядки бака и направления потоков хладоносителя, циркулирующего между испарителем холодильной машины, потребителем (нагрузкой) и аккумулятором холода (более подробно об этом см. с. 392...394, рис. 7.47 т. I [2];

стоимостью основных элементов центральной СХС СКВ (холодильной машины, бака-аккумулятора, насосов и др.), тарифов за электроэнергию по часам суток $c'_э$, руб./кВт·ч, и перспективой их изменения в будущем.

Исходной величиной является холодильная нагрузка (рис. 2, а) постоянная Q_x, кВт, или переменная Q_x = var, в этом случае ее можно заменить средним значением $Q_{x.ср}$. Время потребления холода в течение суток от $\tau_н$ до $\tau_к$ имеет продолжительность $\Delta\tau_р = \tau_к - \tau_н$, изменяющуюся от нескольких часов до суток. При работе СКВ объекта расходуется холод и бак разряжается, то есть температура воды или раствора растет. В момент $\tau \geqslant \tau_к$ бак начинает заряжаться, особенно эффективна ночная зарядка бака с учетом соответствующего льготного тарифа на электроэнергию. При наличии трехставочного или почасового тарифа в дневные часы работа холодильной машины не предусматривается.

Если не применять аккумуляцию холода $(V_{б\text{-}а} = 0)$, то время работы ХМ равно интервалу $\Delta\tau_р = \tau_к - \tau_н$, а ее холодопроизводительность будет максимальна $Q_{x.м} = Q_{x\ max}$. При использовании аккумулятора холода с увеличением его объема $V_{б\text{-}а}$ и стоимости $K_{б\text{-}а}$ холодопроизводительность $Q_{x.м}$ и стоимость ХМ $K_{x.м}$ соответственно снижаются, сокращается плата за потребляемую электроэнергию при использовании ночного тарифа. Описанные при выборе оборудования центральной СХС взаимосвязи весьма сложны, что поясняет рис. 2, б, формулы (1) – (12), и это, в конечном счете, не позволяет легко найти лучший вариант.

Большое число разных типов, моделей и опций современных компрессионных ХМ и конструкций баков (наземных, подземных, плоских, цилиндрических, столбчатых и др.), разная занимаемая оборудованием площадь и стоимость основных элементов СХС не позволяют получить общее решение такой задачи о выборе оборудования в денежном выражении. Поэтому сравнение более корректно проводить в натуральных показателях $Q_{x.м}$, $Q_{x.б\text{-}а}$, $V_{б\text{-}а}$, $M_{нас}$ с учетом занимаемых этим оборудованием площадей $F_{x.м}$, $F_{б\text{-}а}$ и др.

Основные характеристики этого оборудования выразим через исходные данные:

(среднюю) холодильную нагрузку $Q_{x.ср}$, кВт, время работы СКВ объекта $\Delta\tau_р = \tau_к - \tau_н \leqslant 24$ ч и время работы холодильной машины $\tau_{р.х.м} \leqslant 24$ ч:

расчетная суточная потребность в холоде, кВт·ч/сут

$$Q_{x.сут} = \Delta\tau_р Q_{x.ср}, \qquad (1)$$

расчетная холодопроизводительность испарителя водоохлаждающей (холодильной) машины, кВт

$$Q_{x.м} = Q_{x.сут} / \tau_{р.х.м} = \\ = \Delta\tau_р Q_{x.ср} / \tau_{р.х.м} = \bar{\tau}_р Q_{x.ср}, \qquad (2)$$

где $\tau_{р.х.м}$ – расчетное время работы холодильной машины, принимаемое при аккумуляции холода и двухставочном тарифе равным 24 ч. Величина $Q_{x.м}$ специально корректируется, если по температурам кипения и конденсации хладона машина работает в режиме, отличающемся от паспортного;

а)

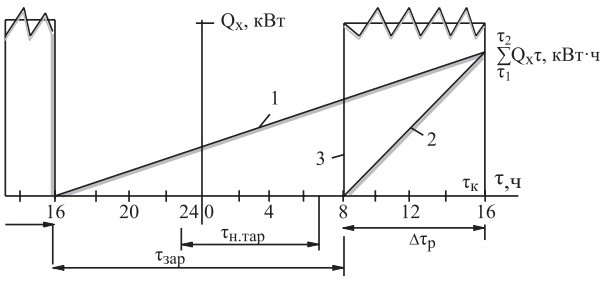
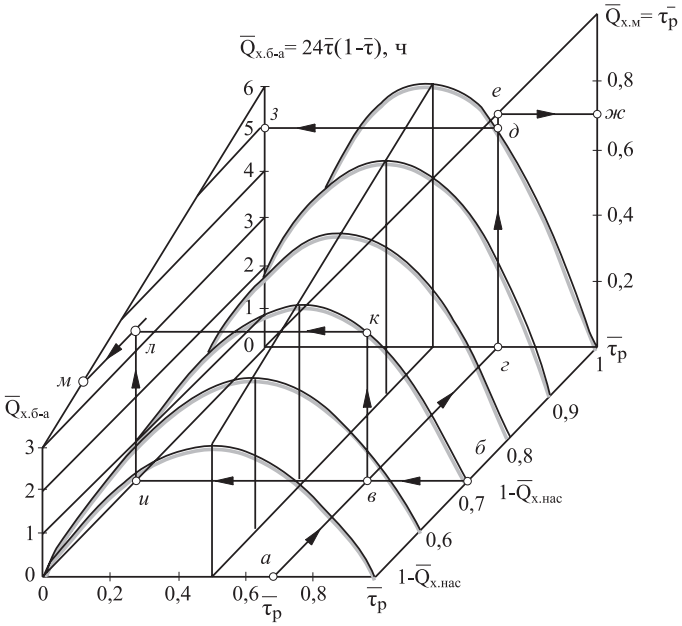


Рис. 2. Основные зависимости, характеризующие работу центральной СХС СКВ здания, использующей аккумуляцию холода:

б)



а *– график почасовой выработки (1) и потребления (2) холода центральной СХС в течение расчетных суток и холод, накопленный в баке-аккумуляторе (3) при наличии двухставочного тарифа;*

б *– совмещенный график зависимости относительной холодопроизводительности холодильной машины $\bar{Q}_{x.м} = Q_{x.м} / Q_x$, относительного количества холода в баке-аккумуляторе $\bar{Q}_{x.б\text{-}а} = Q_{x.б\text{-}а} / Q_x$, ч, от относительного времени потребления холода СКВ $\bar{\tau}_р$ и относительного количества холода, аккумулируемого насадкой $\bar{Q}_{x.нас}$;*

ключ: для времени двухсменной работы СХС СКВ $\Delta\tau_р$ = 17 ч/сут, относительное время работы $\bar{\tau}_р$ = 17/24 = 0,70 при использовании бака-аккумулятора холода без насадки по стрелкам а–г–е $\bar{Q}_{x.м} = 0{,}7$, по стрелкам а–г–д–з $\bar{Q}_{x.б\text{-}а} = 5{,}1$ ч; в варианте с баком-аккумулятором и насадкой при $\bar{Q}_{x.нас} = 0{,}3$ по стрелкам а–б–в–и–к–л $\bar{Q}_{x.б\text{-}а} = 3{,}5$ ч

расчетное количество холода, аккумулируемое в расчетные сутки в баке-аккумуляторе; кВт·ч/сут, на основе формул (1) – (2):

$$Q_{х.б\text{-}а} = Q_{х.м}\left(24 - \Delta\tau_р\right) = \\ = 24\cdot\overline{\tau}_р\left(1-\overline{\tau}_р\right)Q_{х.ср}; \qquad (3)$$

расчетный объем бака – нетто, м³ (без проходов, запаса высоты и с учетом массы $M_{нас}$, кг, специальной насадки, использующей теплоту фазового перехода в системе «вода – лед»):

$$V_{х.б\text{-}а} = \frac{3600Q_{х.б\text{-}а}}{c_ж\rho_ж\Delta t_ж} - \\ - \frac{M_{нас}}{\rho_л}\left(\frac{r_л\rho_л}{c_ж\rho_ж\Delta t_ж} - 1\right) = \\ = \frac{3600\left(1-\overline{\tau}_р\right)Q_{х.м}}{c_ж\rho_ж\Delta t_ж} - \\ - \frac{M_{нас}}{\rho_л}\left(\frac{r_л\rho_л}{c_ж\rho_ж\Delta t_ж} - 1\right), \qquad (4)$$

где $M_{нас}/\rho_л = V_{нас}$ – объем насадки в баке, м³; при насадке с водой (льдом или шугой) $r_л$ и $\rho_л$ – теплота плавления, кДж/кг, и плотность, кг/м³; $c_ж$, $\rho_ж$, $\Delta\tau_ж$ – теплоемкость, плотность и перепад температур жидкости (воды, хладоносителя-раствора и др.), циркулирующего в центральной СХС СКВ объекта; комплекс $c_ж\rho_ж\Delta\tau_ж$, кДж/м³ – есть удельная объемная аккумулирующая способность хладоносителя, а дробь в скобках – соотношение аккумулирующей способности насадки и жидкости;

бак – промежуточная емкость вместо бака-аккумулятора *(отмечаем путаницу проектировщиков в этих понятиях и подмену одного другим),* исключающий частое включение-выключение компрессора, имеет объем, определяемый по специальной формуле, аналогичной (4):

$$V_х = \frac{3600Q_{х1}}{2n_{вкл}c_ж\rho_ж\Delta t_{зн}} - V_{сист}, \qquad (5)$$

где $Q_{х1}$ – холодопроизводительность одного контура и одной ступени холодильной машины, кВт; $n_{вкл}$ – допустимое число включений холодильной машины в течение часа; $\Delta t_{зн}$ – зона неоднозначности (дифференциал) релейного терморегулятора, управляющего холодильной машиной, $\Delta t_{зн}$ = *1...2 °С;* $V_{сист}$ – объем жидкости (воды) в аппаратах и трубопроводах центральной СХС; объем такого бака должен быть не менее 3 л/кВт расчетной холодопроизводительности одной ступени;

соотношение между расчетной производительностью испарителя холодильной машины $Q_{х.м}$ ***и объемом бака-аккумулятора холода*** $V_{х.б\text{-}а}$ без насадки ($M_{нас}$ = 0) на основе зависимостей (2) – (4), кВт/м³, можно представить в виде

$$\frac{Q_{х.м}}{V_{х.б\text{-}а}} = \frac{\overline{\tau}_р Q_{х.ср}}{24\overline{\tau}_р(1-\overline{\tau}_р)Q_{х.ср}}c_ж\rho_ж\Delta t_ж = \\ = \frac{c_ж\rho_ж\Delta t_ж}{24(1-\overline{\tau}_р)}, \qquad (6)$$

где в условиях примера 1 $c_ж\rho_ж\Delta t_ж$ = 57,7·10³ кДж/м³ отношение (6) составляет 0,67/(1–$\overline{\tau}_р$), кВт/м³;

относительное количество холода, аккумулируемое специальной насадкой, использующей теплоту фазового перехода (например, теплоту плавления льда или шуги $r_л$, кДж/кг) по отношению к $Q_{х.б\text{-}а}$ без насадки:

$$\overline{Q}_{х.нас} = \frac{Q_{х.нас}}{Q_{х.б\text{-}а}} = \frac{M_{нас}\left(r_л - c_ж\Delta t_ж\right)}{3600Q_{х.б\text{-}а}} = \\ = \frac{M_{нас}\left(r_л - c_ж\Delta t_ж\right)}{3600\cdot 24\overline{\tau}_р(1-\overline{\tau}_р)Q_{х.ср}} < 1, \qquad (7)$$

где $M_{нас} = V_{нас}\rho_л$ – масса насадки, кг; $V_{нас}$ – объем насадки, м³; $\rho_л$ – плотность насадки (вода-лед), кг/м³;

площадь-брутто $F_{бр.б\text{-}а}$, м², ***занимаемая баком-аккумулятором холода*** данной конструкции и высоты $h_{б\text{-}а}$ с проходами 1,5 м по его периметру,

$$F_{бр.б\text{-}а} = \left(\sqrt{V_{х.б\text{-}а}/h_{б\text{-}а}} + 3\right)^2, \qquad (8)$$

площадь-брутто, м², ***занимаемая холодильной машиной*** и системой охлаждения конденсатора, может быть представлена при аппроксимации данных ГОСТ [1], в функции от паспортной холодопроизводительности испарителя машины $Q_{х.м.пасп}$, кВт

$$F_{бр.х.м} = (3...7{,}6)\sqrt{Q_{х.м.пасп}}; \qquad (9)$$

соотношение площадей – брутто, занимаемых холодильной машиной и баком-аккумулятором холода на основе формул (8) – (9) можно представить в виде

$$\frac{F_{бр.х.м}}{F_{бр.б\text{-}а}} = \frac{(3...7{,}6)\sqrt{Q_{х.м.пасп}}}{\left(\sqrt{V_{х.б\text{-}а}/h_{б\text{-}а}} + 3\right)^2}; \qquad (10)$$

мощность, кВт, потребляемая электрооборудованием холодильной машины, может быть выражена через ее холодильный коэффициент ε в данном режиме работы:

$$N_{х.м} = \frac{Q_{х.м}}{\varepsilon\eta_{дв}}\left(1 + \frac{N_{вент} + N_{нас}}{N_{компр}}\right), \qquad (11)$$

где $N_{вент}$, $N_{нас}$ – мощность электродвигателей вентиляторов и насосов, установленных в СХС, $\eta_{дв}$ – КПД двигателя компрессора;

расход электроэнергии на работу холодильной машины, тыс. кВт·ч, в течение *τ* лет при известном, но переменном тарифе $c'_э$ можно определить по формуле:

$$W_{эт} = N_{х.м}\tau\tau_{год} = \\ = \frac{Q_{х.м}}{\varepsilon_{ср}\eta_{дв}}\left(1 + \frac{N_{вент} + N_{нас}}{N_{компр}}\right)\tau\tau_{год}10^{-3}, \qquad (12)$$

где $\tau_{год}$ – время работы холодильной машины в течение года, ч; *τ* – число лет работы холодильной машины;

суммарные капитальные затраты центральной СХС СКВ объекта определяют как сумму затрат на оборудование и монтаж холодильной машины, бака-аккумулятора, трубопроводов, арматуры, аккумулирующей насадки, стоимости занимаемых площадей и т.д.

Поясним примером методику сравнительного расчета основных технических и стоимостных характеристик центральной СХС СКВ объекта в разных вариантах: при кратковременной и двухсменной работе объекта, без аккумуляции и с аккумуляцией холода в баке без насадки и с насадкой.

Пример 1.

Определить и сравнить основные технические и стоимостные характеристики центральной СХС СКВ объекта при средней за время работы $\Delta\tau_{р1}$ = 3 ч *(вариант 1) и* $\Delta\tau_{р2}$ = 15 ч *(вариант 2), холодильной нагрузке* $Q_{х\,max} = Q_{х.ср}$ = 100 кВт *в системе без бака-аккумулятора (вариант «а»), с баком-аккумулятором без насадки (вариант «в») и с насадкой (вариант «с»).*

Исходные данные для выбора и расчета СХС: хладоноситель – 35%-ный *раствор этиленгликоля в воде при* $t_{ж.н}$ = –10 °С, $t_{ж.к}$ = 5 °С, $t_{ж.зам}$ = –15,6 °С, $c_ж$ = 3,5 кДж/(кг·°С), $\rho_ж$ = 1100 кг/ м³, *для которого удельная объемная теплоемкость – комплекс* $c_ж\rho_ж\Delta\tau_ж$ = 3,5·1100 [5 – (–10)] = 57,7·10³ кДж/м³. *Аккумулирующая насадка – шарики с водой (льдом) при* $\rho_л$ = 920 кг/ м³ и $r_л$ = 334 кДж/кг *объемом* $V_{нас1}$ = 2 м³ *(для варианта 1) и* $V_{нас2}$ = 5 м³ *(для варианта 2). Время работы холодильной машины принять* $\tau_{р.х.м}$ = 24 ч. *Перепады температур в центральной СХС объекта приняты следующими: для испарителя холодильной машины* $\Delta t_ж$ = –5–(–10) = 5 °С, *для аппаратов СКВ* $\Delta t_ж$ = 5–0 = 5 °С, *для бака-аккумулятора холода* $\Delta t_ж$ = 5–(–10) = 15 °С.

В экономических расчетах принять удельную стоимость холодильной машины данного типа с монтажом: $\kappa_{х.м} = K_{х.м}/Q_{х.м}$ = 20 тыс. руб./кВт, *бака-аккумулятора холода высотой* $h_{б\text{-}а}$ = 2,5 м – $\kappa_{б\text{-}а} = K_{б\text{-}а}/V_{х.б\text{-}а}$ = 15 тыс. руб./м³, *занимаемой холодильным оборудованием площади в подвале здания* – $\kappa_{F.уд}$ = 25 тыс. руб./м², *насадки, использующей теплоту фазового перехода,* – $\kappa_{Vнас} = K_{нас}/V_{нас}$ = 30 тыс. руб./м³.

Предварительно определим по вариантам 1 *и* 2 *относительное время потребления холода:* $\bar{\tau}_{p1} = \Delta\tau_{p1}/\tau_{р.х.м}$ = 3/24=0,125 *и* $\bar{\tau}_{p2} = \Delta\tau_{p2}/\tau_{р.х.м}$ = 15/24 = 0,625. *В варианте* «а» *без аккумуляции холода* $Q_{х.м} = Q_х$ = 100 кВт (при $t_{ж.н}$ = –10 °С), *чему соответствует* $Q_{х.м.пасп}$ = 150 кВт (при $t_{ж.н}$ = 5 °С). *Стоимость такой машины* $K_{х.м} = \kappa_{х.м}Q_{х.м}$ = 20·150·10⁻³ = 3,0 млн руб., *стоимость площади здания, занимаемая холодильной машиной,* $K_{Fх.м} = 5{,}5\cdot\sqrt{150}\cdot 25\cdot 10^{-3} = 0{,}53$ млн руб, *всего* – 3,53 млн руб.

В варианте «б» *с баком-аккумулятором холода предварительно определим основные технические характеристики основных элементов СХС (числитель – вариант* 1, *знаменатель – вариант* 2*):*

- *суточная потребность в холоде по формуле* (1) $Q_{х.сут}$ = 3·100/15·100 = 300/1500 кВт·ч/сут;
- *расчетная холодопроизводительность испарителя холодильной машины по формуле* (2) $Q_{х.м}$ = 0,125·100/0,625·100 = 12,5/62,5 кВт, *чему соответствует паспортная холодопроизводительность* $Q_{х.м.пасп}$ = 18/100 кВт;
- *расчетное количество холода, аккумулируемое в баке, по формуле* (3) $Q_{х.б\text{-}а}$ = 24·0,125(1–0,125)100/24·0,625(1–0,625)100 = 262,5/562,5 кВт·ч/сут;
- *расчетный объем бака аккумулятора холода, определенный по формуле* (4), *при отсутствии специальной насадки* ($M_{нас}$ = 0) $V_{х.б\text{-}а}$ = 3600·262,5/(57,7·10³)/3600·562,5/(57,7·10³) = 16,3/35,1 м³.

Варианту «б» *соответствуют такие капитальные затраты:*

в первом варианте $\Sigma K_{б1} = K_{х.м} + K_{б\text{-}а} + K_{Fх.м} + K_{Fб\text{-}а}$ = {18·20 + 16,3·15 + 5,5·18^{0,5}·25 + [(16,3/2,5)^{0,5} + 3]²25}10⁻³ = 1,96 млн руб.;

во втором варианте $\Sigma K_{б2}$ = {100·20 + 35,1·15 + 5,5·100^{0,5}·25 + [(35,1/2,5)^{0,5} + 3]²25}10⁻³ = 5,04 млн руб.

Наконец в варианте «в» *с баком-аккумулятором и специальной насадкой определяем по формуле* (7) *относительное количество холода, аккумулируемого насадкой объемом* $V_{нас1}$ = 2 м³ *и* $V_{нас2}$ = 5 м³ $\bar{Q}_{х.нас}$ = 2·920(334–3,4·15)(3600·262,5)/5·920(334–3,4·15)(3600·562,5) = 0,53/0,64. *Уменьшенный объем бака-аккумулятора холода по формуле* (4) *будет равен* $V_{х.б\text{-}а}$ = 16,3(1–0,53)/35,1(1–0,64) = 7,7/ 12,6 м³.

Варианту «в» *соответствуют такие капитальные затраты: в первом варианте* $\Sigma K_{в1\text{-}нас} = K_{х.м} + K_{б\text{-}а} + K_{Fх.м} + K_{Fб\text{-}а} + K_{нас}$ = {18·20 + 7,7·15 + 5,5·18^{0,5}·25 + [(7,7/2,5)^{0,5} + 3]²25 + 2·30}10⁻³ = 1,69 млн руб.; *во втором варианте* $\Sigma K_{в2\text{-}нас}$ ={100·20 + 12,6·15 + 5,5·100^{0,5}·25 + [(12,6/2,5)^{0,5} + 3]²25 + 5·30}10⁻³ = 4,2 млн руб.

Результаты расчета затрат сравним раздельно при кратковременной (вариант 1*) и двухсменной работе (вариант* 2*). В первом варианте затраты,* млн руб.: 3,53 (а), 1,96 (б), 1,69 (в), *значит, аккумуляция холода существенно снижает затраты. Во втором варианте затраты,* млн руб.: 3,53 (а), 5,04 (б), 4,2 (в), *значит, если не учитывать снижение платы при ночной аккумуляции холода, варианты в этих ценах на оборудование, бак и занимаемые площади выше, чем без аккумуляции. В расчетах не учтен дополнительный эффект аккумуляции, реализуемый в случае, если в объекте среднечасовая и максимальная нагрузка существенно отличаются.*

Представляет интерес сравнить капитальные затраты на СХС СКВ здания с платой за электроэнергию в течение большого периода времени и прогнозируемой ее экономией. При использовании ночного тарифа результаты расчета заметно изменятся в пользу аккумуляции холода. Докажем это расчетом, в котором учтем ежегодный рост тарифов, составляющий в среднем $\Delta\bar{c}'_э$= 10...20 % = 1,1...1,2 от тарифа предыдущего года на протяжении τ лет. В этом случае суммарный тариф за τ лет работы можно определить по формуле:

$$\sum_{\tau_0}^{\tau} c'_э = \frac{1-\left(\Delta\bar{c}'_э\right)^{\tau}}{1-\left(\Delta\bar{c}'_э\right)}. \qquad (13)$$

Приведем пример методики и результата такого расчета.

Пример 2.

Определить ожидаемую экономию платы за электроэнергию в течение периода τ = 10 лет (2012 – 2021 гг.) *при выработке холода в период τ* = 23...7 ч *утра на протяжении* $\tau_р$ = 1000 ч/год *в вариантах СХС без бака-аккумулятора* $Q_{х.м1}$ = 100 кВт (*пример* 1) *и баком-аккумулятором* $Q_{х.м2}$ = 12,5 кВт. *В расчете учесть двойной тариф, в том числе дневной –* $c'_{э.дн} = 4$ руб./кВт·ч *и льготный ночной* (23.00...7.00) – $c'_{э.ночн} = 2$ руб./кВт·ч (2012 г.), *повышающиеся ежегодно на* 15%. *В расчетах принять:* ε = 4, $\eta_{дв}$ = 0,85, ($N_{вент}$ + $N_{нас}$)/$N_{компр}$ = 0,3.

Ожидаемую экономию платы за электроэнергию в течение периода τ = 10 *лет определяем как разницу платы по сравниваемым вариантам на основе формулы* (12) *с учетом т. н. сложных процентов при ежегодном росте тарифов*:

$$\Delta C_э = C_{э1} - C_{э2} =$$

$$= \frac{Q_{х.м\,1}\sum_{2012}^{2021} c'_{э.дн} - Q_{х.м\,2}\sum_{2012}^{2021} c'_{э.ночн}}{\varepsilon\eta_{дв}} \times$$

$$\times\left(1+\frac{N_{вент}+N_{нас}}{N_{компр}}\right)\tau_{год}10^{-6} =$$

$$= \frac{(100\cdot 4 - 12{,}5\cdot 2)20{,}3}{4\cdot 0{,}85} \times$$

$$\times 1{,}3\cdot 1000\cdot 10^{-6} \approx 3 млн\ руб.$$

В этой формуле предварительно вычисленное по (13) *значение* 20,3 *соответствует сумме ряда* 1,15⁰ + 1,15¹ + 1,15² + 1,15³ + ... + 1,15⁹ = (1–1,15¹⁰)/(1–1,15) = (1–3,045)/(1–1,15), *что связано с пересчетом тарифов, изменяющихся по годам. Для сравнения расчета экономии укажем, что при постоянном тарифе за электроэнергию эффект сокращения затрат при ночной аккумуляции холода оказался бы в два раза меньшим. Ожидаемая экономия соизмерима со стоимостью системы холодоснабжения и указывает на эффективность ночной аккумуляции холода в условиях монотонного роста тарифов на электроэнергию.*

Вывод.

Предложенная в статье методика, поясненная примерами, позволяет аналитически связать принципиальные решения центральных СХС СКВ зданий, их стоимость, занимаемые площади и эксплуатационные расходы в условиях растущих тарифов на энергоносители с холодильной нагрузкой объекта, ее неравномерностью и временем использования.

Литература

1. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. М.: Стандартинформ, 2008. 44 с.
2. Сотников А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции// Теория, техника и проектирование на рубеже столетий. СПб.: AT-Publiching. Т. I. 2005. 504 с.; т. II. ч. 1. 2006. 420 с.; т. II. ч. 2. 2007. 512 с.