Удельные воздушно-тепловые, отопительные и холодильные нагрузки характерных общественных помещений

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

Общеизвестна роль правильного выбора расчетной и оценки текущих тепловой и влажностной нагрузок помещений общественных зданий разного назначения, их влияния на технические решения СКВ и СХС, капитальные и энергетические затраты. Из методов определения этих величин инженер чаще всего использует первый и наиболее известный — вычисление отдельных слагаемых нагрузки и их суммирование. Второй — на основе укрупненных удельных величин тепловыделений в разных помещениях q_F, Вт/м², q_V, Вт/м³, удельных влаговыделений поверхности испарения g_F, кг/(м²·ч), других удельных тепло- и влаговыделений от разных источников, удельных парогазовыделений в производственных помещениях, удельных расходов наружного воздуха по саннорме g_F, м³/(м²·ч) тоже известен, однако требует для своего применения сбора, анализа и систематизации специальных данных и публикаций. Этой теме и ее практическому использованию на примерах посвящена данная статья. Наконец, третий, малоизвестный и поэтому не применяемый на практике – это метод определения фактических тепло-, влаго-, а также паро- и газовоздушных балансов общественных и производственных помещений.

Метод расчета систем по укрупненным удельным нагрузкам — весьма удобный и простой для экспресс-определения основных характеристик проектируемой СКВ. Сначала рассмотрим упрощенное представление о том, что расход холода есть теплоизбытки или тепловлагоизбытки помещения (полная теплота). Это справедливо только для чисто рециркуляционных систем, с учетом того, происходит ли осушение воздуха, требующее лишнего холода. Если давление вентилятора небольшое, можно не учитывать подогрева воздуха в нем. В общем случае мгновенный расход холода — нетто СКВ при текущих нагрузках ($Q_{пом.явн}$, $G_{вл}$), параметрах воздуха в помещении ($t_в$, $i_в$), наружного воздуха ($G_н$, $t_н$, $i_н$), расходе приточного воздуха $G_{пр}$ и его нагреве $\Delta t_{пр}$ в вентиляторе, двигателе и воздуховодах объясняет формула (1) и соответствующее построение процесса охлаждения-осушения в i-d диаграмме (рис. 1). Термин **мгновенный** здесь введен сознательно, чтобы напомнить читателю о постоянном изменении основных составляющих тепловой и влажностной нагрузок обслуживаемых СКВ помещений, суточном ходе температуры и энтальпии наружного воздуха (пунктир), расходов приточного и наружного воздуха в системе.

В общем случае расход холода — нетто (без учета потерь холода в коммуникациях) определяется четырьмя составляющими:

$$Q_{х.нетто}(\tau)=Q_{пом.явн}+G_{вл}(\tau)i_{пара}+G_н(\tau)[i_н(\tau)-i_в]+G_{пр}(\tau)c_в\Delta t_{пр}. \qquad (1)$$

Предпочтительно определение расхода холода по формуле (1), т.е. через исходные данные по А.А. Рымкевичу [7], а не как общепринято — $Q_х = G_{пр}(i_с-i_к)$. Формула (1) объясняет отдельные составляющие, их доли в общей холодильной нагрузке и их суточное и годовое изменение. В частном случае, если климатические условия близки к параметрам в помещении, расход холода близок к полной теплоте в помещении, если есть осушение и к явной теплоте, если нет осушения.

Пример 1. *Определить расчетную холодильную нагрузку СКВ в период 15-16 ч дня в расчетных летних условиях для Москвы и доли отдельных составляющих. Исходные данные:* $i_{нрт}$ = 54,5 *кДж/кг;* $i_в$ = 45 *кДж/кг (при* $t_в$ = 23 *ºС,* $\varphi_в$ = 50 *%),* κ_t = *1;* $Q_{пом.явн}$ = 40 *кВт;* $G_{вл}$ = 0,003 *кг/с;* $G_{пр}$ = 5 *кг/с;* $G_{н.min}$ = 2 *кг/с,* $\Delta t_{пр}$ = 1,5 *ºС. Дополнительный расход холода, возникающий, если процесс охлаждения-осушения заканчивается при меньших* $t_к$ *и* $d_к$*, чем требуется, не учитывать.*

Вычисления расчетного расхода холода — нетто проводим по формуле (1), *то есть через вышеперечисленные исходные данные:* $Q_{х.нетто}$ = 40 + 0,003×2500 + 2(54,5 - 45) + 6×1×1,5 = 75 *кВт. В данном случае, а условия могут изменяться (уменьшится* $i_н$, $Q_{пом}$ *и т. п.), в расчетной холодильной нагрузке на ассимиляцию явной теплоты приходится только* 53%, *скрытой*

Анатолий Геннадиевич Сотников

Родился в 1938 году. Доктор технических наук, профессор. В 1962 году закончил с отличием Ленинградский инженерно-строительный институт (ЛИСИ). В 1968 году защитил диссертацию, закончив 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.

теплоты — 10%, снижения энтальпии наружного воздуха — 25%, на ассимиляцию теплоты при нагреве приточного воздуха 12%.

Таким образом, любая (текущая или расчетная) холодопроизводительность может быть определена по исходным данным без построения процессов в i-d диаграмме. При такой методике особенно удобно не столько вычисление Q_x, сколько анализ его изменения в течение суток, теплого периода и всего года. В вечерние и ночные часы энтальпия $i_н$ изменяется (уменьшается) и поэтому расход холода снижается (рис. 1), даже не принимая в расчет изменения других составляющих.

Проиллюстрируем метод удельных воздушно-тепловых и холодильных нагрузок двумя видами данных, общих и более частных. Это удельные теплоизбытки основных помещений жилых и общественных зданий и удельные расходы наружного воздуха, отнесенные к 1 м² их площади (рис. 2, *а*) [1, 10]. Эти материалы позволяют иначе подойти к оценке и выбору систем организации воздухообмена в помещении. В работе K. Fitzner [12] представлены обобщенные данные о сравнительной области применения систем перемешивающей (MV) и вытесняющей (DV) вентиляции. В ее основу положен учет сочетания минимального удельного расхода наружного воздуха и удельной холодильной нагрузки помещения. Результаты этой работы, несколько уточненные автором (А.С.), представлены на сводном графике рис. 2, *б*.

Интересно сравнить расчетную удельную потребность в холоде (кВт/м²) центральных СКВ различных общественных зданий со всеми одновременно работающими потребителями с аналогичным расчетным удельным расходом теплоты на отопление (кВт/м²) этих же зданий [9]. Для такого анализа на рис. 2, *в* приведена расчетная удельная отопительная нагрузка разных зданий в зависимости от их назначения и этажности. Из сравнения можно сделать вывод, что при неравномерности использования холодильной нагрузки с учетом неодновременности пофасадного воздействия радиации, периодичности пребывания людей и их разных требований к комфорту холодильная нагрузка центральных СХС СКВ здания чаще всего оказывается меньше тепловой на отопление. Этот вывод интересен в случае применения теплового насоса для отопления и использования реверсируемой водоохлаждающей машины. Нельзя не учитывать, что зона теплопотерь находится у наружных ограждений и поэтому частично не совпадает с местами тепловы-

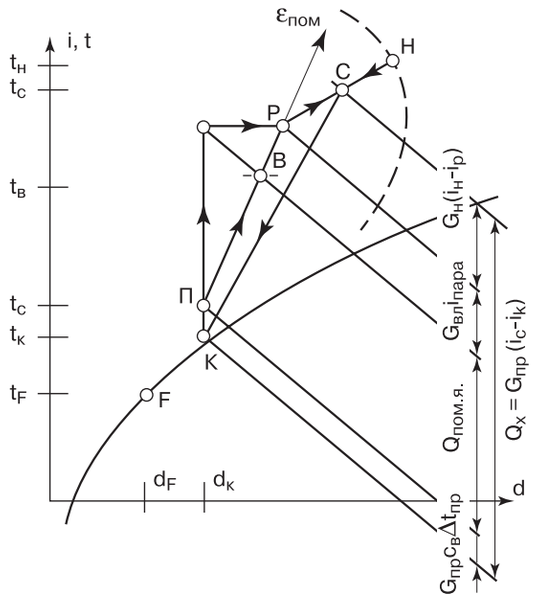
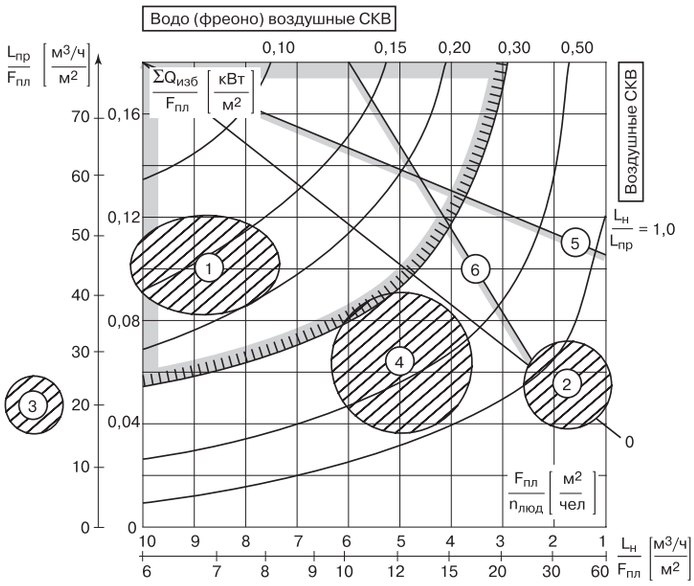


Рис. 1. Графическое представление в поле i-d диаграммы о процессе охлаждения-осушения воздуха и соответствующих составляющих расхода холода в СКВ

а)



б)

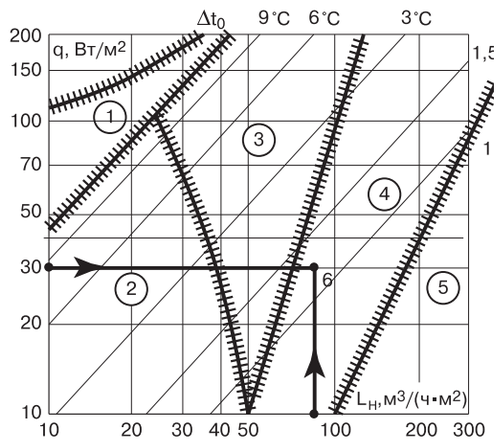


Рис. 2. Удельные воздушно-тепловые и отопительные нагрузки характерных общественных зданий:

***а** – график обобщенных сочетаний удельных теплоизбытков (кВт/м²), площади, приходящейся на одного человека, удельных расходов приточного и наружного воздуха на 1 м² пола при Δt_p = 7 ºС, k_t = 1,0 и $L_{н.сан}$ = 60 м³/(ч·чел.) в характерных жилых и общественных зданиях;*

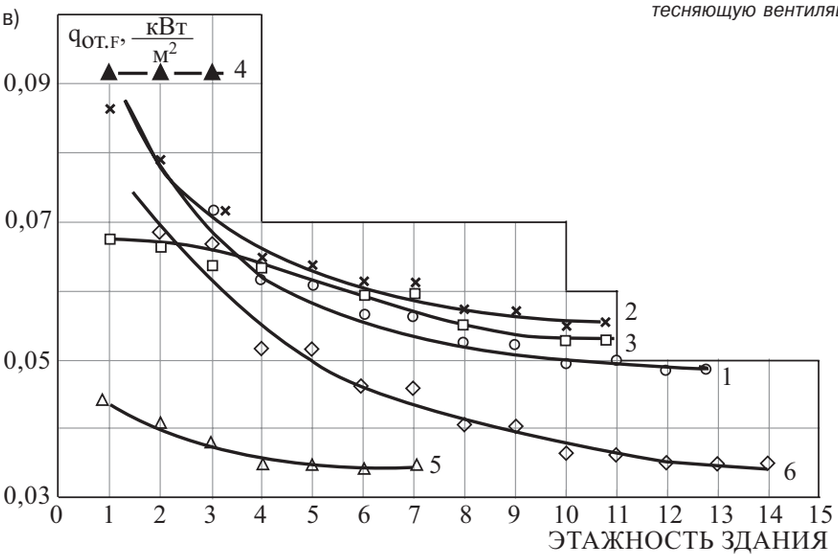
1 – современные офисы и бизнес-центры; 2 – рестораны, конференц-залы, залы кинотеатров, театров, клубов, школьные классы, учебные кабинеты; 3 – жилые вентилируемые помещения (в среднем) при $L_н/F_{пл}$ = 3 м³/(ч·м²); 4 – продовольственные и непродовольственные магазины разного назначения, кроме универсамов и супермаркетов [13] с холодильными прилавками;

***б** – сравнительные области применения разных систем организации воздухообмена в помещении в зависимости от сочетания минимального удельного расхода наружного воздуха $L_н$ и удельной холодильной нагрузки помещения q_F;*

1 – сосредоточенная подача приточного воздуха и охлаждающий потолок; 2 – сосредоточенная подача приточного воздуха; 3 – перемешивающая вентиляция (MV); 4 – вытесняющая вентиляция (DV) по схеме «снизу-вверх»; 5 – то же, по схеме «сверху-вниз». В поле графика дополнительно нанесены изолинии равных перепадов температур $k_t \cdot \Delta t_0$, соответствующие данному сочетанию удельной холодильной нагрузки и удельного воздухообмена.

Ключ: при q_F = 30 Вт/м² и $L_н$ = 80 м³/(ч·м²) расчетная точка 6 оказалась в области 4, и поэтому рекомендуется применять вытесняющую вентиляцию (DV) по схеме «снизу-вверх»;

в)



***в** – график удельного нормируемого расчетного расхода теплоты на отопление $q_{отF}$ кВт/м², в зависимости от типа и этажности зданий разного назначения [9];*

1 (O)°– жилые здания, гостиницы, общежития; 2 (×)°– здания общественные, кроме названных для линий 3, 4 и 5; 3 (□)°– поликлиники, лечебные учреждения, дома-интернаты; 4 (▲)°– дошкольные учреждения; 5 (Δ)°– объекты сервисного обслуживания; 6 (◊) – здания административного назначения (офисы). Данные получены при следующих условиях: $t_в$ = 20 ºС, $t_{нрх}$ = –25ºС, $h_{пом}$ ≈ 3 м

делений конкретного помещения с его технологией и оборудованием. Лишь в жилых и некоторых общественных помещениях основная теплота поступает снаружи через окна, как и теплопотери, что учитывается пофасадным управлением [2–6, 11 и др.].

Комбинированный стохастически упорядоченный подход к оценке и анализу изменения числа людей и саннормы $L_н$ в помещениях разного назначения необходим для оценки текущих расходов и объективного исследования режимов работы управляемых систем вентиляции. Традиционно в строительной отрасли все здания по функциональному назначению разделяют на промышленные и гражданские (различные общественные и жилые), однако такой принцип ничего не объясняет. С точки зрения **мотивов (цели) пребывания людей** все помещения следует разделять (рис. 3, *а*) на группы, где постоянно находятся штат-

ные сотрудники и где люди в переменном количестве отдыхают или проводят свой досуг (покупают, читают, смотрят, болеют за ..., слушают, едят, занимаются спортом и т.д., одним словом - посетители). В общественных зданиях имеются обе группы, вторая группа людей обычно преобладает и переменна как по часам суток, так и в течение года (рис. 3, *в* и *г*).

Наиболее сложно определить число людей для каждого часа суток в помещениях, где посещаемость — случайная величина (магазины, музеи и др.), когда число входящих и выходящих трудно фиксировать (рис. 3, *б*), разве что по проданным билетам или на турникетах. Для каждого момента времени число людей в таком помещении определяют как разницу вошедших (линия 1) и вышедших (линия 2) с начала отсчета. Характерно, что в определенные часы суток, а также при низких и высоких наружных температурах заполняемость многих помещений резко снижается, что по согласованию с заказчиком учитывают в задании на проектирование. Это, в конечном счете, позволяет в эти часы и дни снижать производительность вентиляции или даже не включать некоторое время систему подачи наружного воздуха [15, 16].

Изменение (нарастание) концентрации углекислого газа в процентах или промилях (миллионных долях объема или массы вредного вещества, ppm) можно выразить во времени с учетом кратности воздухообмена по наружному воздуху на основе удельной площади помещения, приходящейся на одного человека, высоты помещения и средних выделений углекислого газа человеком при условии идеального и мгновенного перемешивания:

$$c_{CO_2}(\tau)=c_{CO_2н}+\frac{g_{CO_2}\cdot 10^9}{V_{пом}\,(k_n+1/\tau)}=$$
$$=c_{CO_2н}+\frac{g_{CO_2}\cdot 10^9}{V_{пом}\,(k_n+1/\tau)} \qquad (2)$$

$g_{CO_2}=20$ л/(чел.×ч) = 0,02 м³/(чел.×ч), где $h_{пом}$ — высота помещения, м; $f_{уд}$ — удельная площадь, приходящаяся на одного человека, определяемая по заданию м²/чел.; $C_{CO_2}(\tau)$ и $C_{CO_2н}$ текущая концентрация углекислого газа в воздухе помещения и начальная концентрация в наружном воздухе, измеренные в процентах или промилях (ppm). Эта формула может использоваться в расчетах изменения концентрации углекислого газа в помещении при наличии воздухообмена ($k_р$ > 0) или его отсутствии ($k_р$ = 0).

Физиологический механизм воздействия CO_2 следующий: при повышении концентрации во вдыхаемом человеком воздухе увеличивается его парциальное давление в авиолах, образуется слабая угольная кислота $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$, распадающаяся на H* и HCO_3. В этом случае снижается pH крови и тем более кислую реакцию имеет кровь, это называется *ацидозом*. Минимальные последствия ацидоза — перевозбуждение, повышенное сердцебиение и давление. При более сильном ацидозе человек становится более вялым, сонливым, ощущает беспокойство (см. С.О.К., 2010, № 3). На свежем воздухе эти реакции пропадают. Поясним методики расчетов изменения концентрации CO_2 во времени характерными примерами.

Пример 2. *В учебной аудитории после восьми часов занятий (τ = 8 ч) концентрация углекислого газа достигла* $C_{CO_2}(\tau=8)$=2900ppm *при концентрации в наружном воздухе* $C_{CO_2н}$=400ppm. *Определить кратность воздухообмена в школьном классе, приняв выделения углекислого газа одним учеником* g_{CO_2}=20*л/(ч×чел.)* = 0,02 *м³/(ч×чел.), площадь пола, приходящуюся на одного ученика* $f_{уд}$ = 2 *м², высоту помещения* $h_{пом}$ = 3 *м и объем* $V_{уд}$ = 6 *м³/чел. По формуле (2) получаем*: 2900 = 400 + 20×10³/[3×2($k_р$ + 1/8)], *откуда искомая кратность воздухообмена* $k_р$ = 1,3 *ч⁻¹, чему соответствует удельный расход наружного воздуха* $L_{н.уд}$ = 7,8 *м³/(ч×чел.). Этого явно недостаточно как для обеспечения допустимой концентрации углекислого газа, так и для ассимиляции возможных теплоизбытков в помещении.*

Пример 3. *Рассчитать почасовое повышение концентрации углекислого газа в промилях в воздухе продовольственного магазина без включения вентиляции до достижения концентрации* $c_{CO_2}=2000$ ppm *при увеличивающемся числе покупателей во времени от начала работы и таких данных: высота помещения* $h_{пом}$ = 4 *м, начальная удельная площадь пола на одного человека в момент открытия магазина* τ_0 = 10 *ч* $f_{уд.0}$ = 12 *м²/чел. с линейным уменьшением этой площади по мере роста числа покупателей по зависимости* $f_{уд}(\tau) = f_{уд.0}[1-0{,}1(\tau-\tau_0)]$, *м²/чел., и выделении углекислого газа одним человеком* g_{CO_2} = 20 *л/(ч·чел.)* = 0,02 *м³/(ч×чел.)*.

Исходная формула для расчета повышающейся концентрации углекислого газа в воздухе магазина при начальной концентрации в наружном воздухе $c_Н$ = 400 ppm имеет вид:

$$C_{CO_2}(\tau)=C_Н+g_{CO_2}(\tau-\tau_o)/\{h_{пом}f_{уд.o}[1-0{,}1(\tau-\tau_o)]\}=400+0{,}02\times10^6(\tau-10)/\{4\times12[1-0{,}1](\tau-10)]\}=400+400(\tau-10)/[1-0{,}1(\tau-10)]. \qquad (3)$$

Через час работы магазина (τ = 11 ч) C_{CO_2}= *840 ppm, через 2 ч —* C_{CO_2} = *400 + 2·400/0,8 = 1400 ppm, через 3 ч —* C_{CO_2}= *400 + 3·400/0,7 = 2100 ppm. В результате расчета оказалось, что предельная заданная концентрация* C_{CO_2}= *2000 ppm в воздухе магазина при выключенной вентиляции будет достигнута в конце третьего часа работы магазина.*

Пример 4. *Определить момент начала плохого самочувствия и возможных обмороков пассажиров* $\tau_{обм}$ *в остановившемся вагоне метро без вентиляции, полагая критическую концентрацию* C_{CO_2} = 1 % = 10 000 ppm, *если в час пик в вагоне метро удельная площадь на человека* $f_{уд}$ = 0,3 *м²/чел., высота от плеч до потолка вагона* Δh = 1 *м, начальной концентрацией углекислого газа пренебречь. Искомое время определяется по формуле* (2): 10 000 = 0,02·10⁶$\tau_{обм}$/0,3·1, *откуда* $\tau_{обм}$ = 0,3·10 000/20 000 = 0,15 *ч* = 9 *мин. Выводы из этого расчета предоставляем читателю сделать самому.*

Подробные специализированные данные о нагрузках американских супермаркетов приведены в статье [13]. В результате обработки этих данных автором (А. С.) построен график рис. 4. Относительно малые величины $q_х$ объясняются теплотой, «отнимаемой» холодными поверхностями прилавков, где находятся охлаждаемые продукты. Что касается сравнительного выбора холодильных систем для супермаркетов — с непосредственным испарением или со вторичным контуром охлаждения — то адресуем читателя к статье [14].

Холодильные нагрузки высотных жилых зданий премиум-класса, по данным компании ООО «Миракс-проект», описаны в статье [8]. Эти здания площадью пола $F_{пл}$ = 17 000...82 000 м² имели удельную холодильную нагрузку $q_х$ = 56...71 Вт/м² при коэффициенте одновременности пребывания людей $k_{одн.л}$ = 0,2, однако методика расчета этих величин в статье не приведена. В дальнейшем подобные сведения требуют тщательного обоснования, дальнейшего сбора, анализа, систематизации и помогут при проектировании систем кондиционирования воздуха и их холодоснабжения.

Проектирование систем микроклимата (нагревания и охлаждения) помещений большой площади, «обычных» и многофункциональных зданий основано на использовании комбиниро-

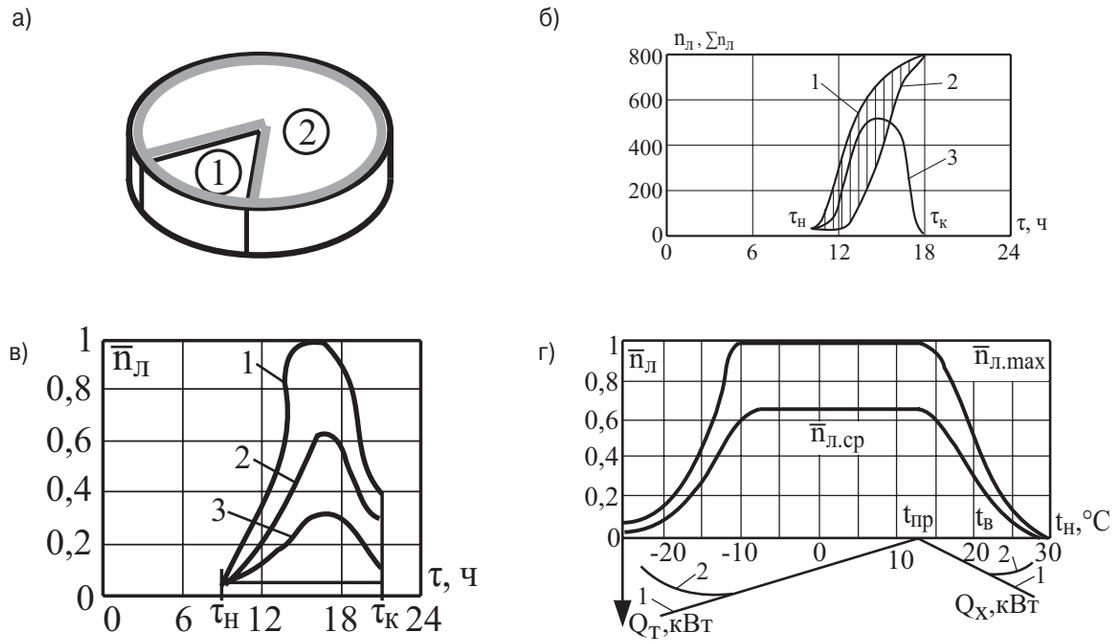


Рис. 3. Структурный и временной анализ числа людей, находящихся в помещениях общественного назначения:

а – сектор штатного персонала *1* и сектор посетителей *2* - покупателей, читателей, зрителей, слушателей и др.;

б – определение числа людей в помещении со случайной заполняемостью как разница накопленных сумм вошедших (1), вышедших (2) из него и числа людей в любой момент времени (3), что соответствует заштрихованной площади;

в – суточное изменение заполняемости помещения общественного назначения;

г – годовое изменение заполняемости помещения общественного назначения; в нижней части показан график изменения расхода теплоты на нагревание наружного воздуха без учета (*1*) и с учетом (*2*) переменного числа людей в данном помещении; при использовании такого решения утилизация теплоты может не потребоваться или быть значительно сниженной.

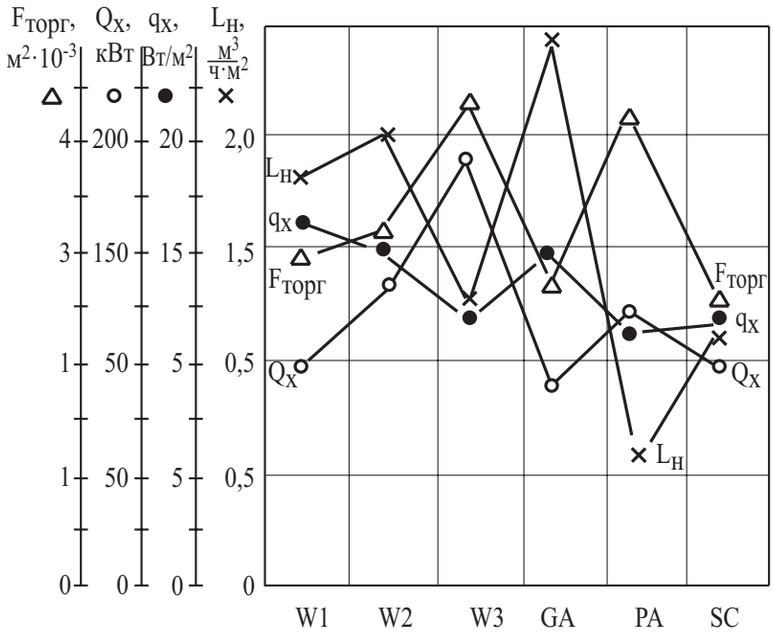


Рис. 4. Сводный график площади торговых помещений супермаркетов $F_{торг}$, м², общей холодильной нагрузки Qx, кВт, удельной (на 1 м² пола) холодильной нагрузки qx, Вт/м² и удельного расхода наружного воздуха $L_н$, м³/(ч·м²) по данным статьи [13]. Обозначения: супермаркеты в штатах Милуоки – W1, W2, W3, Атланта – GA, Пенсильвания – PA, Южная Каролина – SC.

ванных СХТС. Основным препятствием этому являются до сих пор совершенно неудовлетворительное представление и знание о физических закономерностях (обычно сложного упорядоченно-стохастического характера) изменения составляющих холодильной и тепловой нагрузки. Это происходит в силу переменного режима работы, заполняемости помещений, теплоты солнечной радиации, энтальпии и температуры наружного воздуха и др. факторов, их разных долей в текущей и расчетной нагрузках здания. Имеют значение применяемые частные решения по управлению СКВ и СВ с учетом числа людей в помещениях. В этих условиях нагрузка системы отопления зависит в основном от температуры наружного воздуха, а при фасадно-управляемой системе и от величины солнечной радиации, поступающей в помещение. Сильно переменна и тепловая нагрузка (водоразбор) в системе горячего водоснабжения таких зданий как гостиницы и жилые дома.

В настоящее время накоплен достаточный материал, подтверждающий необходимость одновременной выработки и потребления теплоты и холода в

разных пропорциях в течение года, в разных странах и климатических условиях. Например известны помесячные данные об этих нагрузках и затратах энергии в типовых административных зданиях Японии и США по литературным источникам (рис. 5).

Литература

1. Ваверка Й. Удельные тепловые характеристики общественных зданий //Водоснабжение и санитарная техника. 1989. № 6. С. 17–18.
2. Грудзинский М.М., Ливчак В.И. Учет солнечной радиации при центральном регулировании отопления//Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 8. С. 19–21.
3. Дешко Э.Л., Слоневский В.Ф. Расходы тепла при отоплении с автоматическим регулированием//Водоснабжение и санитарная техника. 1973. № 6. С. 12–13.
4. Ливчак В.И., Чугункин А.А., Оленев В.А., Карасев В.Л. Эффективность пофасадного регулирования систем отопления//Водоснабжение и санитарная техника. 1986. № 5. С. 11–13.
5. Локшин Л.С. Пофасадное регулирование отопления жилых зданий //Водоснабжение и санитарная техника. 1983. № 8. С. 17–19.
6. Мадорский И.С., Драчнев В.Г. Учет солнечной радиации при пофасадном регулировании отпуска тепла // Водоснабжение и санитарная техника. 1977. № 2. С. 15–17.
7. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. Изд. 1. Стройиздат. М.: 1990. — 300 с.; изд. 2. СПб. 2003. –272 с.
8. Смирнова И.Н. Системы кондиционирования воздуха объектов премиум-класса. Энергетические, экономические и эксплуатационные показатели// АВОК. 2009. № 1. С. 36–42.
9. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: ГОССТРОЙ России. 2004. — 25 с.
10. 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.
11. Чистович С.А., Харитонов В.Б. Автоматизированные системы теплофикации, теплоснабжения и отопления// АВОК С-З, СПб: 2008. 399 с.
12. Fitzner K. Взгляд из Германии на перспективное развитие систем ОВК// АВОК. 2000. № 3. С. 19–22.
13. Hill J., Lau A. Улучшение рабочих характеристик систем кондиционирования в супермаркетах//АВОК. 2001. № 6. С. 64–71.
14. Horton W.T., Groll E.A. Холодильные системы для супермаркетов. Сравнение системы с непосредственным испарением и системы с вторичным контуром охлаждения//АВОК. 2005. № 6. С. 46–54.
15. Lawrence T. Системы вентиляции, регулируемые по уровню потребности// АВОК. 2005. № 5. С. 52–54.
16. Warden D. Регулирование расхода приточного воздуха по концентрации CO_2. Минимальный расход наружного воздуха для систем, обслуживающих несколько помещений//АВОК. 2005. № 2. С. 72–80.

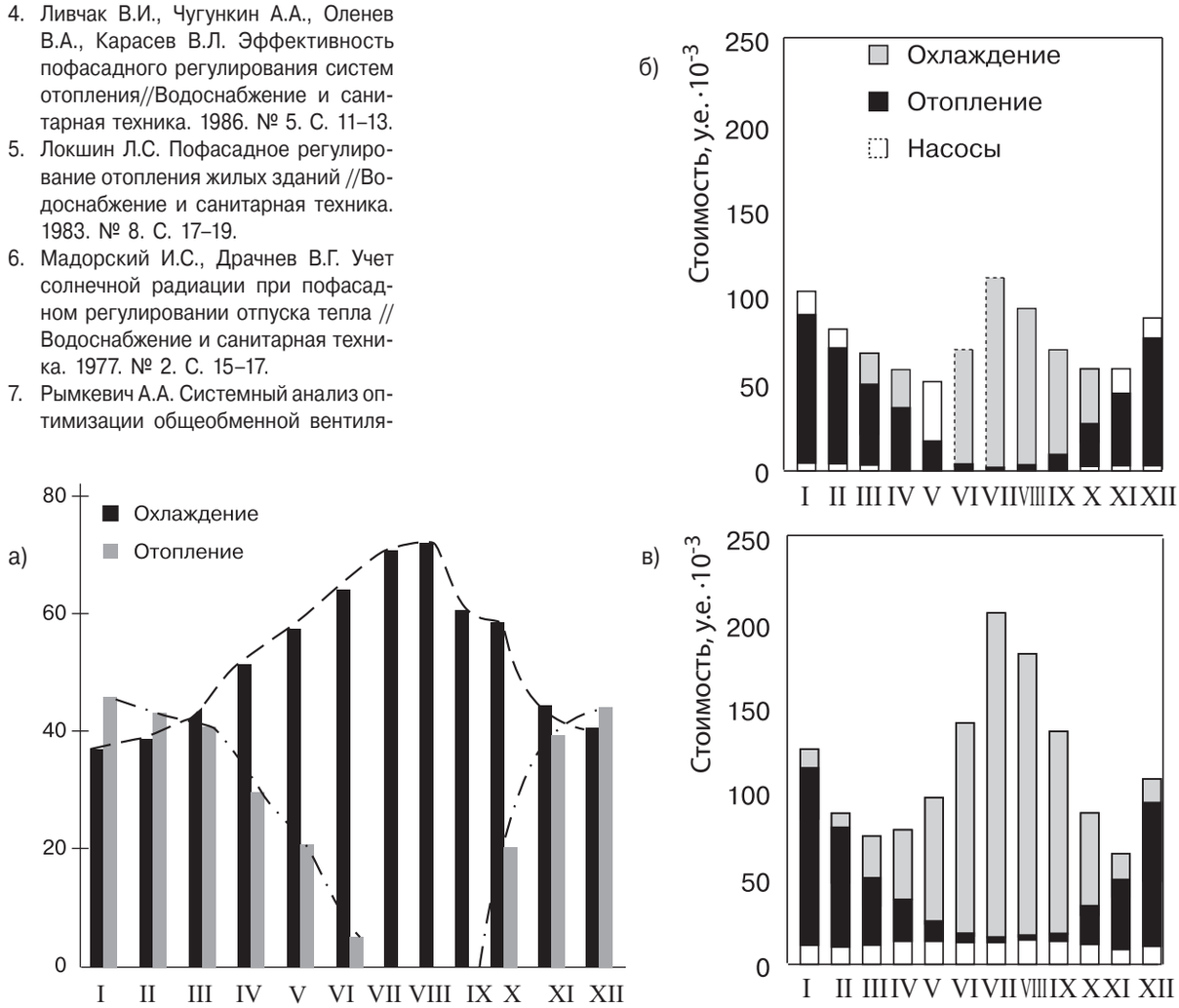


Рис. 5. Холодильные и тепловые нагрузки по месяцам года зданий и сравнение затрат на системы ОВК:

а – здание в Японии; нагрузки выражены в долях от расчетных часовых (АВОК. 1999. № 5);
б – затраты на ОВК в базовом здании;
в – затраты на ОВК в энергоэффективном здании (АВОК. 2000. № 4)