

# Экспресс-расчет холодильной нагрузки кондиционируемых жилых зданий, кварталов и поселков

Известная тенденция существенного улучшения микроклимата в жилых зданиях прослеживается не только в южных районах России, но и в центральных и северных регионах, где помнят исключительно жаркое лето 2010 г. Поэтому тема кондиционирования воздуха очень актуальна, тем более в преддверии приближающегося лета.

Надо сразу отметить, что местные автономные кондиционеры для больших зданий имеют ряд недостатков из-за уродливого «сплитования» фасадов, усложнения эксплуатации, больших затрат жильцов, меньшей эффективности охлаждения, больших расходов электроэнергии и др. Современная техника может предложить центральные СХС (системы холодоснабжения) таких зданий, кварталов и поселков, совмещенные при необходимости с воздушным отоплением жилых помещений в сочетании с центральными или квартирными кондиционерами. И такие примеры внедрения известны.

Централизация средств обработки воздуха имеет много преимуществ (адресуем заинтересованных специалистов к новой статье автора [1] на эту тему). Однако указанная централизация зависит от очень многих факторов: этажности зданий, их удаленности друг от друга и размещения на генплане, степени остекления, пожеланий жильцов, правильной эксплуатации этих систем и др. факторов.

Ниже приведена экспресс-методика определения расчетного часового расхода холода центральной СХС. Эти данные используют для выбора принципиальных решений и рациональных схем СХС, особенно в южных районах. Несмотря на очевидную актуальность проблемы, на эту тему не найдено серьезных статей в журналах, за исключением отдельных публикаций З. А. Меликяна, Б. С. Тихонова и др. Этому вопросу уделено значительное внимание в общей проблеме анализа и расчета тепловлажностных нагрузок помещения в подготовленной автором книге [2].

В одной из давно написанных статей З. А. Меликяна изложена приближенная методика такого расчета (однако не для квартала, а для отдельного здания объемом  $V_{зд} = 21,6$  тыс.  $m^3$ ,  $\Sigma F_{пл} = 7,2$  тыс.  $m^2$  в климатических условиях г. Ташкента (Узбекистан) и по результату принятого ряда допущений получена величина удельных теплоизбытков  $q_F = 25$  Вт /  $m^2$ . Нам эти данные представляются сомнительными,

т. к. в расчетах не учтены такие важные факторы, как неодновременность облучения разных фасадов здания, прямое поступление лучистой теплоты через окна на современные солнцезащитные устройства, внутренние теплоизбытки, неодновременность пребывания людей, включения ими средств охлаждения и др. Выявленные методические ошибки учтены при разработке нижеприводимой методики расчета.

Жилые кварталы и группы произвольно расположенных многоэтажных зданий как объекты центрального холодоснабжения имеют множество случайных факторов и эмпирических коэффициентов вероятностного смысла, которые нужно собирать или счастливо угадывать.

Эти здания более удобны для обобщения тепловых нагрузок, чем разнообразные общественные, имеющие каждый свою архитектуру и технологию, т. е. строительно-планировочные решения, облучаемые фасады, переменные площади остекления, режим работы и использования систем охлаждения каждого помещения, заполняемость людьми ( $m^2$  / чел.), тип и мощность оборудования и др. (рис. 1). Продолжая эту мысль, отметим, например, что выставочные залы, по данным [5], в отличие от многих других общественных зданий, имеют большие удельные теплоизбытки  $q_F = 0,10-0,15$  кВт /  $m^2$  и большую, но переменную заполняемость людьми, достигающую 0,5-1 чел /  $m^2$ , которая сменяется их отсутствием. Индивидуальные нагрузки и заполняемость офисов, залов разного назначения, магазинов и других объектов.

**Жилые здания как объекты централизованного холодоснабжения** характеризуются сложной упорядоченно-стохастической моделью пребывания множества жильцов в квартирах и конкретных комнатах, что учтем средним коэффициентом одновременности  $k_{одн.л}$  (рис. 2, б), зависящим от сезона, периода отпусков, дня недели и часа суток. Кроме того имеют место индивидуальные режимы включения средств охлаждения помещений, что учтем коэффициентом  $k_{одн.х}$ . Произведение этих коэффициентов, по аналогии с энергопотреблением промышленных зданий, является коэффициентом спроса, в дальнейшем будем относить его ко всем жильцам

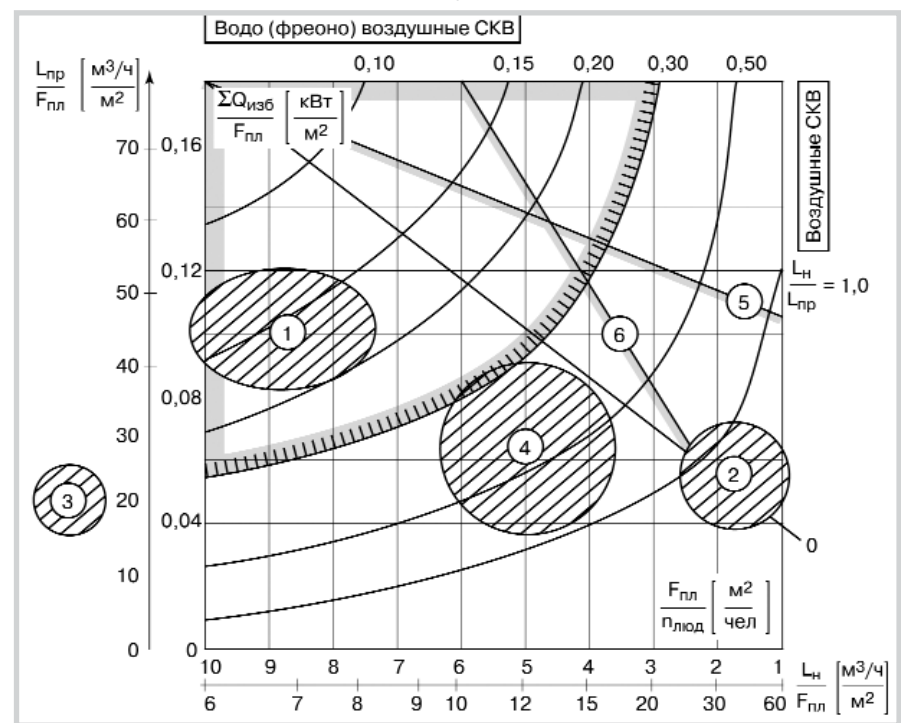


Рис. 1. График обобщенных сочетаний удельных теплоизбытков (кВт /  $m^2$ ), площади, приходящейся на одного человека, удельных расходов приточного и наружного воздуха на 1  $m^2$  пола при  $\Delta t_p = 7$  °С,  $k_t = 1,0$  и  $L_{н,сан} = 60$   $m^3 / (ч \cdot чел.)$  в характерных жилых и общественных зданиях по данным [3]; 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  $L_{н} / F_{пл} = 3$   $m^3 / (ч \cdot m^2)$ ; 4 – продовольственные и непродовольственные магазины разного назначения, кроме универсамов и супермаркетов [4] с холодильными прилавками.

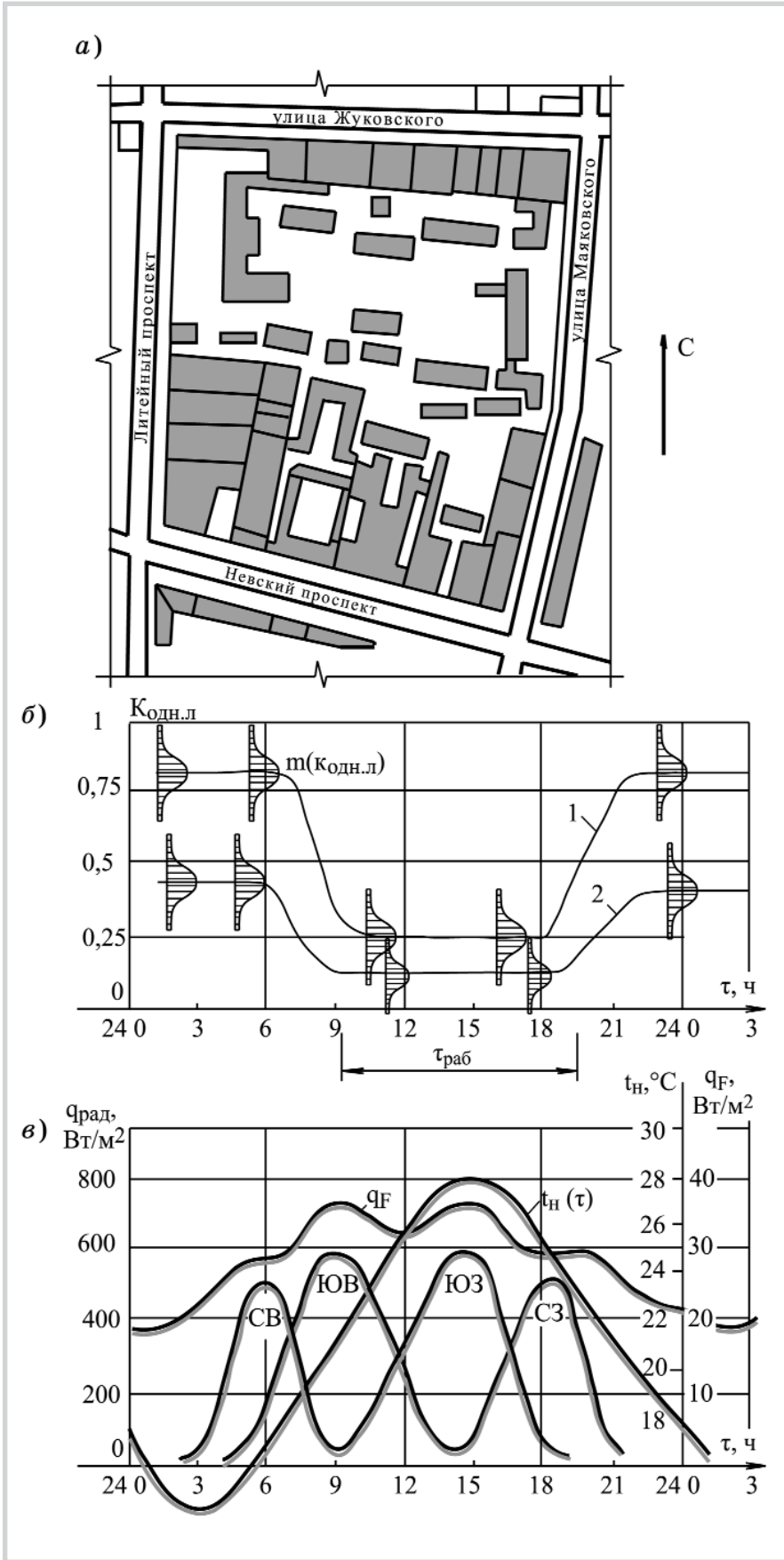


Рис. 2. Основные зависимости для расчета укрупненных удельных теплопритоков и холодильной нагрузки жилых кварталов:  
 а – пример застройки квартала в центральной части Санкт-Петербурга (квартал 130);  
 б – график стохастически-упорядоченного изменения коэффициента одновременности пребывания людей  $k_{одн.л.}$  в жилых помещениях зданий при квартальной застройке;  
 1 – в выходной день и в отпускной период, 2 – в рабочий день;  
 в – график почасового изменения падающей солнечной радиации на разных фасадах в июле и примерное суммирование удельных теплопритоков  $q_F$ , Вт / м<sup>2</sup>.

квартала и ко всем приборам охлаждения. При вычислении расходов холода учтем его потери в протяженных квартальных сетях коэффициентом  $k_{пот,x} > 1$ .

С точки зрения учета воздействия основной составляющей теплоизбытков – теплоты солнечной радиации – рассмотрим и проанализируем ее, используя план жилой застройки квартала (рис. 2, а).

Планировка квартала упорядочена, когда разные здания на ней имеют параллельные, а также взаимно перпендикулярные продольные оси или с любым другим постоянным углом между ними, радиационные теплопритоки поддаются систематизации, усреднению и вычислению. В этом случае уместно ввести понижающий коэффициент для учета одновременного облучения двух смежных фасадов, например, Ю-З, ЮВ-ЮЗ, Ю-В в долях от всего остекления зданий данного квартала:  $k_{одн.рад} = 0,5$ . Саму радиацию будем относить к площади окон, отнесенных в свою очередь к площади пола. Для условий инсоляции жилых зданий в среднем можно принимать

$$\bar{F}_{ост} = F_{ост} / F_{пл} = 1/5 \dots 1/9.$$

Дополнительно учтем снижение тепlopоступлений от радиации за счет применения в жилых помещениях защитных устройств, для этого вводим коэффициент солнцезащиты  $k_{сз} = 0,2 - 0,4$ . Теплоизбытки помещений будем определять для расчетного часа, когда солнечные лучи одновременно облучают две смежные взаимно перпендикулярные поверхности (рис. 2, в). При большой интенсивности облучения, например, при одновременном облучении ЮВ и ЮЗ фасадов или Ю-В, Ю-З фасадов к сумме максимумов будем вводить коэффициент суммирования  $k_{сумм} = 0,75$ . Хотя их остекленные площади для отдельного здания и не равны, но в пределах квартала такое условие практически соблюдается. В предлагаемых расчетах будем пренебрегать теплопритоками через наружные стены по сравнению с таковыми для окон. Теплопоступления через перекрытия последнего этажа или совмещенную кровлю учитываем отдельно, задаваясь средней температурой их внутренней поверхности, при лучистой теплоотдаче на поверхности с коэффициентом  $\alpha_n = 5 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  и конвективной теплоте с коэффициентом  $\alpha_k = 1 - 2 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , которая останется под перекрытием.

**Удельные квартальные теплоизбытки**, Вт / м<sup>2</sup>, с учетом изложенных соображений и введенных понижающих коэффициентов при отсутствии совмещенной кровли и учета теплопритоков через окна от радиации и обычно пренебрежимо малой разности температур в расчетный час, например, в интервале 11–13 ч, можно определить по формуле:

$$q_{Fmax} = \sum Q_{избmax} / \sum F_{пл} = k_{одн.л.} k_{одн.рад} [q_{рад} + k_{сумм} k_{сз} k_{пот,x} \bar{F}_{ост} (q_{ЮВ} + q_{ЮЗ}) + \bar{F}_{ост} k_{ок} \alpha_{ок} T_{ок}] \quad (1),$$

где  $q_{FВН}$  – укрупненные удельные внутренние (бытовые) тепловыделения в жилых и других охлаждаемых помещениях, Вт / м<sup>2</sup>. В расчетах нужно учитывать, что интенсивность радиации приводится в справочнике по истинному (солнечному) времени, а жизнь и работа человека определяется декретным временем, например, для Санкт-Петербурга сейчас оно отличается на 2 часа.

**Дополнительный холод, затрачиваемый на снижение энтальпии**, т. е. охлаждение-осушение подаваемого в помещение по саннорме наружного воздуха, а также потерю холода в протяженных квартальных трубопроводах вычисляют по формуле:

$$q_{Fх} = k_{пот.х} [q_{Fmax} + g_{HF} \rho_B (i_H - i_B)], \quad (2)$$

где  $g_{HF} = 3 \text{ м}^3 / (\text{ч} \cdot \text{м}^2)$  – удельный расход наружного воздуха по саннорме, отнесенный к единице площади пола жилых помещений. Разность энтальпий наружного и внутреннего воздуха зависит от климатических условий, желаемой обеспеченности и может составлять  $i_H - i_B = 3 - 10 \text{ кДж} / \text{кг}$ .

**Дополнительный удельный расход холода** в необлучаемых солнцем в расчетный час помещениях для снижения температуры воздуха, превышающей желаемую ( $t_{B,опт} = 23-25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) можно приближенно оценить по зависимости

$$q_{F,холод} = k_{пот.х} k_{одн.л} k_{одн.к} (1 - \bar{\theta}_{пов}) (1 + \Sigma F_{огр} / F_{пл}) \frac{dt_B}{dt} \Delta t \quad (3),$$

где  $\alpha_{к.ср} = 1...2 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ,  $\bar{\theta}_{пов}$  – отношение изменения температуры внутренних поверхностей ограждений и воздуха помещения, в начальные моменты можно принять  $\bar{\theta}_{пов} = 0$ ;  $\Sigma F_{огр} / F_{пл}$  – отношение площади стен и перекрытия к площади пола,  $dt_B / dt$  – максимальная (начальная) скорость изменения температуры воздуха в помещении при включении прибора охлаждения, в среднем можно принять  $3 \text{ }^\circ\text{C} / \text{ч}$ .

Поясним примером предлагаемую методику расчета удельных теплопритоков и удельной холодильной нагрузки жилого квартала.

**Пример.** Определить расчетные удельные теплопритоки и удельную холодильную нагрузку для охлаждения и вентиляции жилых помещений с помощью центральной СХС СКВ в 4–5-этажных зданиях квартальной застройки с упорядоченным перпендикулярным расположением продольных осей зданий (рис. 2, а) общим объемом 80 тыс. м<sup>3</sup>, полезной площадью 27 тыс. м<sup>2</sup>, жилой площадью 18 тыс. м<sup>2</sup>, общим числом жителей 1500 чел. Расчет выполнить в условиях Санкт-Петербурга (60° с. ш.), при таких данных: расчетная ориентация фасадов для определения теплопритоков от солнечной радиации ЮВ – ЮЗ, расчетный час  $\tau = 11-13 \text{ ч}$ , максимальная интенсивность суммарной падающей солнечной радиации  $q_{ЮВ} = q_{ЮЗ} = 730 \text{ Вт} / \text{м}^2$ ; коэффициент одновременноности пребывания людей в нерабочие дни в это время  $k_{одн.л} = 0,5$ ; в рабочие дни  $k_{одн.л} = 0,25$  (см. рис. 2, б),

на необлучаемых фасадах  $k_{одн.л} = 0,2$ ; коэффициент одновременноности включения охладителей  $k_{одн.к} = 1,0$ ; коэффициент одновременноности суммирования радиации на ЮВ–ЮЗ фасадах  $k_{сумм} = 0,75$ ; коэффициент одновременноности радиации на этих фасадах по отношению ко всей площади остекления  $k_{одн.рад} = 0,5$ ; коэффициент солнцезащиты светопроемов от радиации  $k_{сз} = 0,3$ ; относительная площадь остекления здания в долях от площади пола  $f_{ост} = 0,2$  затенением светопроемов соседними зданиями и кроной деревьев пренебречь. В расчетах принять:  $k_{ок} = 2 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ , разность температур в расчетный час  $t_H - t_B = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , разность энтальпий  $i_H - i_B = 5 \text{ кДж} / \text{кг}$ , удельные бытовые тепловыделения принять  $q_{F,ВН} = 20 \text{ Вт} / \text{м}^2$ , удельный расход наружного воздуха по саннорме  $g_{HF} = 3 \text{ м}^3 / (\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ , потери холода в протяженных квартальных коммуникациях принять с коэффициентом  $k_{пот.х} = 1,1$ .

Определить расчетную холодопроизводительность центральной СХС квартала и сравнить ее с расчетным расходом теплоты на отопление зданий и нагревание подаваемого в помещения наружного воздуха при условии, что удельная тепловая характеристика жилых зданий  $q_E = 85 \text{ кДж} / (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут}) \approx 1,0 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ , а для снижения расхода теплоты и платы за нее в системе вентиляции применен утилизатор теплоты с расчетной эффективностью  $\theta_{ту} = 0,80$ .

Удельные теплоизбытки в облучаемых солнцем помещениях как нагрузка на централизованную СХС по формуле (1) в нерабочие дни  $q_E = 0,5 \cdot 1 [20 + 0,75 \cdot 0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,2(730+730) + 0,2 \cdot 2 \cdot 5] \approx 27 \text{ Вт} / \text{м}^2$ , а в рабочие – в два раза меньше. Дополнительный расход холода при включении охладителей на необлучаемых фасадах по формуле (3)  $q_{Fх} = 0,2 \cdot 1 \cdot 2(1+3)3 = 5 \text{ Вт} / \text{м}^2$ . Максимальная удельная холодильная нагрузка жилых зданий квартала в условиях данного примера вычисляется суммированием по формулам (1)–(3)  $q_{Fх, max} = 1,1(27 + 1,2 \cdot 3 \cdot 5 + 5) = 55 \text{ Вт} / \text{м}^2$ . Для жилого квартала суммарной жилой площадью охлаждаемых помещений 18 тыс. м<sup>2</sup>, максимальную холодопроизводительность центральной СХС можно оценить величиной  $Q_{х, max} = q_{Fх, max} \cdot \Sigma F_{ж} = 55 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10^3 = 990 \text{ кВт}$ . Вычисленное значение следует увеличить, этим учтем, что по желанию жильцов местные приборы охлаждения могут быть включены для снижения температуры воздуха даже в тех помещениях, которые не облучаются в расчетный час солнечными лучами.

Для сравнения вычислим удельную нагрузку на отопление помещений и на нагрев наружного воздуха при расчетной температуре  $t_{нрх} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ . Этот расчетный расход теплоты  $Q_{т, max} = [q_{Fт} \cdot \Sigma F + c_{ВРВ} L_{н.сан} \Sigma n_{л} (1 - \theta_{ту}) / 3600] (t_B - t_{нрх}) = [1 \cdot 10^{-3} \cdot 370 \cdot 10^3 + 1 \cdot 1,2 \cdot 60 \cdot 1500 \times (1 - 0,8) / 3600] [20 - (-26)] = 1520 \text{ кВт}$ . Сравнение расчетных значений тепловой нагрузки квартала на отопление и

вентиляцию (при  $t_{нрх} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ ) с холодильной нагрузкой на охлаждение помещений в расчетных летних условиях показало, что последняя величина меньше, и это объясняется различием радиационных теплопритоков и теплопотерь через окна, неодновременностью воздействия солнечной радиации на фасадах разной ориентации и пребывания людей в жаркую погоду в помещениях и стохастического включения ими охлаждающих приборов, выбора температурного режима в помещениях, а также другими причинами.

В заключение подчеркнем, что приведенной выше расчетной холодопроизводительностью выбор принципиальных решений центральной СХС СКВ многоэтажных жилых комплексов и поселков отнюдь не заканчивается. Требуется специальный учет почасовая, суточная и помесечная неравномерность теплопритоков, зависящая в первую очередь от фактической облачности и радиации, температуры наружного воздуха, управления отоплением вместо включения охлаждения, режима использования помещений и др. факторов. Связь подобных нагрузок с принципиальными решениями СХС с возможностью и целесообразностью аккумуляции холода в специальном баке подробно описана в статье [6]. Еще одним важным фактором является т. н. режим первого пуска, в течение которого затрачивается большой дополнительный расход холода на первичное охлаждение строительных конструкций и мебели помещения [7] аналогично тому, как затрачивается теплота при первом включении систем отопления в загородных домах.

А. Г. Сотников, д. т. н., проф.,  
Рецензенты: Я. Л. Креер,  
гл. инженер  
«Проектный институт №1»;  
А. П. Дунаев,  
гл. инженер «ЛенНИИпроект».

**Список литературы:**

1. Сотников А. Г. Централизация вентсистем и оборудования: несколько аргументов в пользу... // Инженерные системы. 2012. № 3.
2. Сотников А. Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха. В 2 тт.
3. Сотников А. Г. Удельные воздушно-тепловые, отопительные и холодильные нагрузки характерных общественных помещений // Инженерные системы. 2011. № 4. С. 24–29.
4. Hill J., Lau A. Улучшение рабочих характеристик систем кондиционирования в супермаркетах // АВОК. 2001. № 6. С. 64–71.
5. Venco S. Кондиционирование помещений большой площади // АВОК. 2006. № 2. С. 74–80.
6. Сотников А. Г. Связь принципиальных решений центральных СХС с холодильной нагрузкой СКВ зданий. // Инженерные системы. 2012. № 1. С. 38–41.
7. Сотников А. Г. Автономные и специальные СКВ. СПб, АТ-Publishing. 2005. 240 с.