



Shutterstock.com

Расчет переменного гидравлического режима работы системы водяного отопления

Л. М. Махов, профессор, канд. техн. наук, ФБГОУ ВПО «МГСУ»

С. М. Усиков, ФБГОУ ВПО «МГСУ», otvet@abok.ru

Ключевые слова: система отопления, гидравлический расчет, теплоноситель, теплопотери, теплоотдача отопительного прибора

Качество работы инженерных систем здания оценивается в первую очередь комфортом пребывания человека в помещении. Конкретные параметры для расчета систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК) сформулированы довольно точно (в некотором диапазоне согласно [1]). В [2] раскрывается ряд вопросов о грамотном выборе нагрузок на системы ОВК и развеян ряд мифов, приводящих к ошибкам на стадии проектирования. Действительно, перечисленные ошибки могут привести к понижению комфорта в обслуживаемом помещении.

Вопрос правильного выбора рабочих характеристик инженерных систем здания и их оборудования, необходимого для поддержания требуемого диапазона параметров микроклимата, остается открытым. Решение этих задач связано с необходимостью следовать нормативным требованиям с учетом взаимных интересов обитателей зданий, инвесторов и управляющих (энергоресурсоснабжающих) организаций, а также с широкой номенклатурой оборудования, предлагаемого в настоящее время производителями. Проблема также состоит в неполноте подхода

к расчету систем поддержания микроклимата помещения. Например, расчет системы отопления ведется в некоторых экстремальных параметрах, а поверочного расчета для остального диапазона температуры наружного воздуха в течение отопительного сезона нет. Это может вызвать серьезные отклонения температуры отапливаемого помещения и привести к недотопам или перерасходу тепловой энергии.

Рассмотрим недостатки современного подхода к расчету и подбору оборудования двухтрубной системы водяного отопления здания на примере рядового помещения с установленным в нем одним отопительным прибором. Здание расположено в Москве. Помещение для совещаний имеет одну наружную стену размером 5×3 м и наружное окно размером 1,5×2,0 м, ориентированные на юг. В качестве солнцезащитных устройств приняты вертикальные жалюзи. Перекрытие потолка и пола, а также остальные ограждающие конструкции не являются наружными, так как температура воздуха за ними не отличается от температуры рассматриваемого помещения. В качестве отопительного прибора установлен стальной панельный радиатор РСВ-4-10-1400 с термостатическим клапаном на подающем и запорным вентилем на обратном теплопроводе. Для упрощения примера будем считать, что весь излишний теплоприток в помещение ассимилируется общеобменной системой вентиляции. Расчетная температура помещения согласно [1] 18 °С. Расчетный температурный график системы отопления: 80 °С в подающем теплопроводе, 60 °С – в обратном. Система отопления – двухтрубная вертикальная с нижней разводкой с независимым присоединением к тепловой сети. Суммарные расчетные теплопотери помещения составят 500 Вт. Схема подключения отопительного прибора представлена на рис. 1.

Теплопотери, связанные с нагреванием инфильтрующегося воздуха, не учтены, так как современные стеклопакеты фактически не пропускают его в помещение, а в здании работает система механической вентиляции.

Расчет переменного гидравлического режима

Согласно [3] при использовании термостатического клапана расчетная мощность прибора может увеличиваться на 15%. Расчетный расход через

ZUBADAN

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ



ZUBADAN ИННОВАЦИИ В ЭФФЕКТИВНОСТИ

Реклама

ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Тепловые насосы для коммерческого и промышленного использования.

- > Не является поднадзорным оборудованием;
- > Отсутствие капитальных затрат на коммуникации и теплотрассы;
- > Высокая энергоэффективность — 1кВт затраченной электроэнергии дают от 3 до 5 кВт тепла;
- > Быстрый монтаж;
- > Поэтапный ввод в эксплуатацию;
- > Дистанционная диагностика;
- > Гарантийный срок эксплуатации — 20 лет.

www.zubadan.ru

 **MITSUBISHI
ELECTRIC**
Changes for the Better

прибор $G_{np,n}$, кг/ч, при расчетном перепаде температуры с учетом дополнительных поправочных коэффициентов будет составлять:

$$G_{np,n} = 1,15 \frac{3,6 Q_{mn}^{расч}}{c_b \Delta t} \beta_1 \beta_2 = 1,15 \frac{3,6 \cdot 500}{4,187 \cdot 20} 1,027 \cdot 1,1 = 27,93 \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где $Q_{mn}^{расч}$ – расчетные теплотери помещения, 500 Вт; c_b – удельная теплоемкость воды, 4,187 кДж/(кг·°C); Δt – расчетный перепад температуры теплоносителя в системе отопления, 20 °C; β_1 – поправочный коэффициент, связанный с номенклатурным шагом применяемых отопительных приборов, принимаемый согласно табл. 4.1 [4], 1,027; β_2 – поправочный коэффициент, связанный с увеличением теплотерь через запорный участок наружного ограждения, принимаемый согласно табл. 4.1 [4], 1,1.

Температура теплоносителя, выходящего из отопительного прибора $t_{вых}$, °C, определяется по формуле [5]:

$$t_{вых} = t_b + \frac{1}{\left(\frac{1}{(t_{вх} - t_b)^n} + \frac{Q_{o,n}^{ny} \eta \left(\frac{G_{np}}{360} \right)^m}{70^{1+n} 3600 G_{np} 1000 c_b} \right)^{\frac{1}{n}}}, \quad (2)$$

где t_b – расчетная температура воздуха в отапливаемом помещении, 18 °C; $t_{вх}$ – температура теплоносителя, подаваемого в отопительный прибор (условно приравниваем к расчетной температуре теплоносителя в системе отопления), 80 °C; n , m – эмпирические коэффициенты, зависящие от конструкции отопительного прибора и принимаемые согласно [4]; $Q_{o,n}^{ny}$ – нормативный тепловой поток радиатора при нормальных условиях, принимаемый согласно табл. 1.2 [4], 980 Вт; G_{np} – фактический расход теплоносителя через отопительный прибор, 27,93 кг/ч.

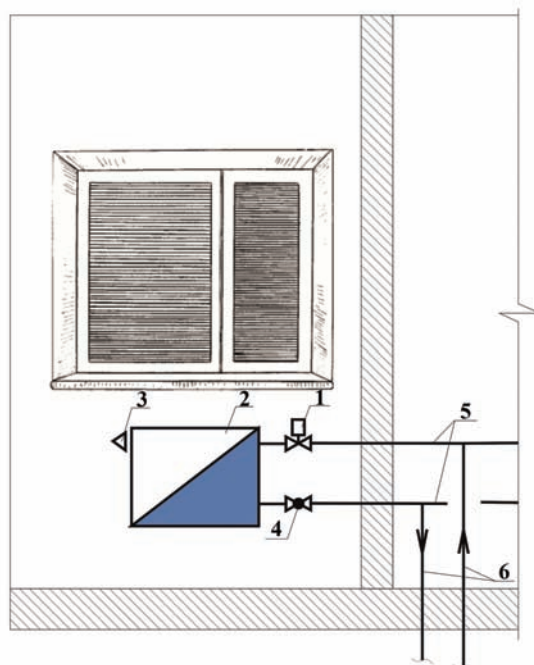
Фактической тепловой поток от радиатора $Q_{o,n}^{факт}$, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{o,n}^{факт} = Q_{o,n}^{ny} \left(\frac{\theta}{70} \right)^{1+n} c \left(\frac{G_{np}}{360} \right)^m b p, \quad (3)$$

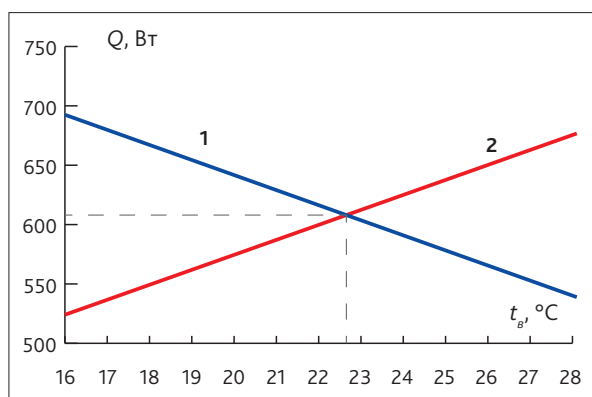
где c , b , p – эмпирические коэффициенты, принимаемые согласно [4]; θ – фактический температурный напор, °C:

$$\theta = \frac{t_{вх} + t_{вых}}{2} - t_b. \quad (4)$$

Согласно формуле (3) построен график зависимости теплоотдачи отопительного прибора $Q_{o,n}^{факт}$, Вт, от температуры воздуха помещения t_b , °C, при постоянной экстремальной температуре наружного



■ Рис. 1. Схема обвязки отопительного прибора на верхнем этаже: 1 – термостатический клапан; 2 – отопительный прибор; 3 – воздушный кран; 4 – запорно-регулирующий кран; 5 – подводка к отопительному прибору; 6 – стояк



■ Рис. 2. Изменение теплоотдачи отопительного прибора и теплотерь помещения при различной температуре помещения: 1 – изменение теплоотдачи отопительного прибора, $Q_{o,n}^{факт}$, Вт; 2 – изменение теплотерь помещения $Q_{mn}^{факт}$, Вт

воздуха (линия 1, рис. 2). Линия 2 на рис. 2 показывает зависимость теплопотерь помещения $Q_{mn}^{факт}$, Вт (с учетом дополнительных теплопотерь через приборный участок наружной стены), от температуры воздуха помещения.

Пересечение линий 1 и 2 соответствует установившемуся тепловому балансу помещения. Таким образом, фактическая теплоотдача прибора будет равна 608 Вт, а температура воздуха в помещении 22,6 °С.

Перерасход тепловой энергии ΔQ , Вт, при максимально открытом термостатическом клапане отопительного прибора составит:

$$\Delta Q = Q_{o,n}^{факт} - \beta_2 Q_{mn}^{расч} = 608 - 1,1 \cdot 500 = 58 \text{ Вт}, \quad (5)$$

что является превышением теплопотребления более чем на 10%. Температура воздуха помещения будет завышена на 4,6 °С относительно расчетной, однако относительно максимальной температуры из оптимальных превышение всего на 1,6 °С. Исправить эту ситуацию должна автоматическая регулирующая арматура системы отопления, либо только за счет изменения пропускной способности термостатического клапана у отопительного прибора, либо за счет совместной работы термостатического клапана и другой автоматической регулирующей арматуры. Вопрос о возможном изменении теплогидравлических характеристик системы отопления и их влияние на теплоотдачу отопительного прибора в данной статье не рассматриваются.

Рассмотрим изменение теплоотдачи отопительного прибора в течение отопительного сезона при различной температуре подающего и обратного теплоносителя. Температура теплоносителя соответствует температурному графику (предположим, что в здании имеется автоматизированный ИТП, поддерживающий индивидуальный температурный график, аналогичный графику тепловой сети, но с пониженными параметрами). Температура подающего теплоносителя $t_{вх}$, °С, рассчитывается по формуле [6]:

$$t_{вх} = t_{в} + (\tau_{np,o} - t_{в}) \left(\frac{t_{в} - t_{н}}{t_{в} - t_{н,o}} \right)^{\frac{1}{1+n}} + (\tau_{1o} - \tau_{np,o}) \left(\frac{t_{в} - t_{н}}{t_{в} - t_{н,o}} \right), \quad (6)$$

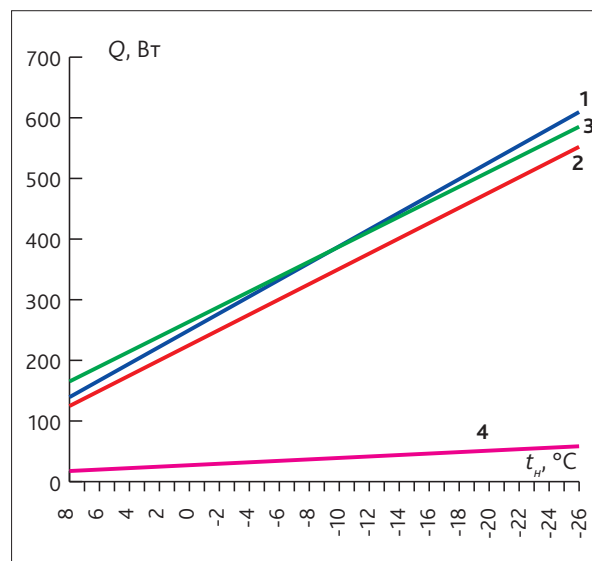
где $t_{н}$ – фактическая температура наружного воздуха, °С; $t_{н,o}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования системы отопления [7], -26 °С; τ_{1o} – температура воды в подающей магистрали при $t_{н,o}$, 80 °С; $\tau_{np,o}$ – средняя температура воды в условном отопительном приборе, °С,

определяемая по формуле $\tau_{np,o} = 0,5 (\tau_{см,o} + \tau_{2o})$. $\tau_{см,o}$, τ_{2o} – температура воды в абонентской установке и в обратной магистрали системы отопления при расчетных параметрах, соответственно 80 и 60 °С.

Фактическую температуру обратного теплоносителя, выходящего из отопительного прибора, теплоотдачу отопительного прибора при полностью открытом термостатическом клапане и фактическую температуру воздуха помещения определяем аналогично расчету при экстремальных условиях.

Для упрощения модели не учитывается тепловая инерция помещения и здания в целом, а теплотехнические характеристики наружных ограждений на протяжении отопительного сезона считаются постоянными.

На рис. 3 представлен график зависимости фактической теплоотдачи отопительного прибора при полностью открытом клапане от температуры наружного воздуха (линия 1). Линии 2 и 3 отображают расчетные теплопотери помещения (с учетом β_2) при температуре внутреннего воздуха 18 и 21 °С соответственно при различной температуре наружного воздуха.

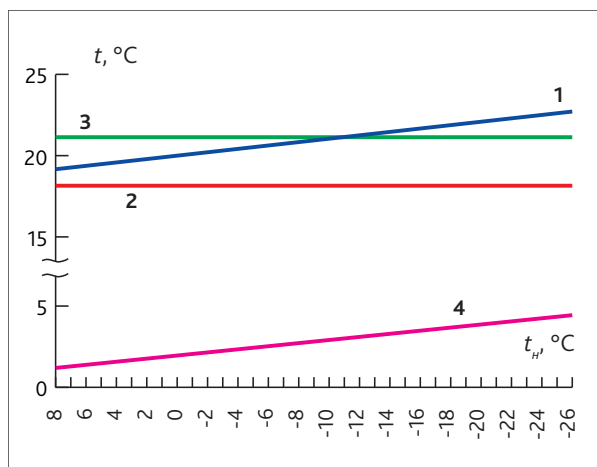


■ Рис. 3. Изменение теплоотдачи отопительного прибора и теплопотери помещения при различной температуре наружного воздуха: 1 – изменение теплоотдачи отопительного прибора, $Q_{o,n}^{факт}$, Вт; 2 – изменение теплопотерь помещения $Q_{mn}^{расч}$, Вт, при температуре помещения $t_n = 18$ °С; 3 – изменение теплопотерь помещения $Q_{mn}^{расч}$, Вт, при температуре помещения $t_n = 21$ °С; 4 – изменение перерасхода тепловой энергии ΔQ , Вт

Видно, что график качественного регулирования достаточно полно удовлетворяет изменению теплотерть помещения, однако, наблюдается отклонение теплотребления помещения от расчетного, связанное с повышением температуры помещения. Линия 4 показывает изменение ΔQ , Вт. Соответственно, перерасход тепловой энергии понижается при повышении температуры наружного воздуха.

Наиболее важные данные представлены на графике рис. 4. Линия 1 изображает изменение фактической температуры воздуха в помещении при полностью открытом клапане отопительного прибора в зависимости от температуры наружного воздуха. Линии 2 и 3 показывают минимальную и максимальную требуемую температуру воздуха в помещении.

Видно, что по мере увеличения температуры наружного воздуха отклонение температуры воздуха помещения от минимальной из оптимальных уменьшается, а с определенной температуры перестает превышать максимальную из оптимальных. Линия 4 показывает отклонение фактической температуры воздуха помещения от 18 °С, которое уменьшается при повышении температуры наружного воздуха соответственно изменению ΔQ .



■ Рис. 4. Изменение температуры помещения при различной температуре наружного воздуха и постоянном гидравлическом режиме работы системы отопления: 1 – изменение температуры помещения t_p при полностью открытом клапане у отопительного прибора; 2 и 3 – минимальная и максимальная оптимальная температура помещения t_p согласно [1]; 4 – отклонение фактической температуры воздуха в помещении от минимальной из оптимальных Δt , °С



turn to the expertsSM

БЕЗУСЛОВНЫЙ ЛИДЕР
климатических технологий с 1902 года

Leadership



Инновационные энергосберегающие
технологии «Зеленого Строительства»

Evergreen

АЭРОПРОФ

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

- Крупнейший поставщик климатического оборудования Carrier®
- Профессиональные консультации и поддержка
- Оптимальные технические решения
- Постоянно обновляемая складская программа
- Эксперт по Carrier® с 1996 года

**ВМЕСТЕ –
КОМФОРТНО И ВЫГОДНО**

www.aeroprof.ru

*реклама

Выводы

Из этого расчетного исследования можно сделать вывод, что автоматизация ИТП, регулирующая температуру подачи теплоносителя, позволяет избежать перетопов здания при температурах наружного воздуха, близких к 0 °С, за счет отсутствия «срезки» в температурном графике системы отопления. Однако этот факт известен на практике и лишен новизны.

Основной вывод данного исследования – доказательство необходимости переменного гидравлического режима в двухтрубных системах. Он не только обеспечит благоприятный диапазон температуры помещения для комфортного пребывания человека, но и позволит сэкономить теплоту, связанную с принятием всевозможных запасов при расчете мощности системы отопления.

Согласно нормам [3] установка индивидуальных регуляторов у отопительных приборов (термостатических клапанов) обязательна. Но, наделяя потребителя возможностью регулировать теплоотдачу отопительных приборов и устанавливая автоматические регуляторы, мы создаем новую проблему при эксплуатации системы отопления. Неизбежно наличие переменного теплового и гидравлического режима работы системы отопления, который должен полностью взаимодействовать с системой автоматизированного ИТП, а также обеспечивать любого потребителя необходимой теплотой (в диапазоне оптимальной или допустимой температуры) при любых изменениях в гидравлическом режиме работы системы.

Однако ни диапазон температуры, ни величина теплотеперь полностью не раскрывают основных вопросов при проектировании: какую регулируемую арматуру необходимо устанавливать, в каком режиме она будет работать и какой диапазон расхода теплоносителя на участках системы отопления необходимо обеспечить?

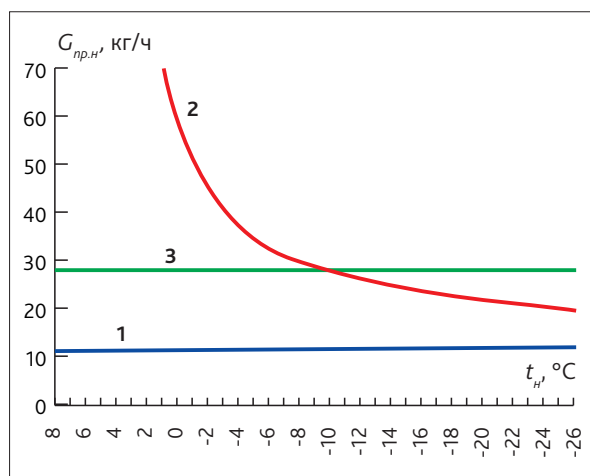
Если цель проектирования – дать потребителю возможность регулирования температуры помещения, необходимо обеспечить его отопительный прибор достаточным расходом теплоносителя, который будет поддерживать в отапливаемом помещении требуемый диапазон температуры.

Как было отмечено ранее, для обеспечения диапазона температуры теплоотдача отопительного прибора должна изменяться с помощью не только качественного, но и количественного регулирования.

По формулам (2) и (3) можно определить зависимость теплоотдачи отопительного прибора от расхода теплоносителя и температуры помещения. Возможная неточность определения по этим зависимостям связана с тем, что необходимы индивидуальные испытания для конкретного отопительного прибора. При изменении расхода теплоносителя через прибор изменяются расчетные коэффициенты (n , m , p), принятые условно постоянными при подборе отопительного прибора, что влияет на его теплоотдачу. Данных для расчета из рекомендаций подбора конкретного прибора [4] недостаточно, так как они включают ряд упрощений, предназначенных для оптимизации проектных работ. Исследования в данном направлении проводились редко, а информации в свободном доступе не имеется. Однако цель данной работы – показать необходимость поиска некоторого диапазона расхода теплоносителя, как через прибор, так и для всей системы отопления, поэтому данные коэффициенты мы принимаем условно постоянными.

График на рис. 5 показывает зависимость необходимого расхода теплоносителя для поддержания температуры воздуха в помещении 18 и 21 °С (линии 1 и 2 соответственно) от температуры наружного воздуха. Линия 3 показывает проектный расход теплоносителя через отопительный прибор.

Линия 1 показывает, что расход теплоносителя увеличивается при поддержании в помещении



■ Рис. 5. Изменение расхода теплоносителя через отопительный прибор в зависимости от температуры наружного воздуха: 1, 2 – для поддержания в помещении температуры воздуха 18 и 21 °С соответственно; 3 – проектный расход $G_{пр.н} = 27,93$ кг/ч



Shutterstock.com

температуры 18 °С незначительно и находится в пределах 11,2...12,6 кг/ч.

Линия 2, наоборот, говорит о снижении необходимого расхода до 20,4 кг/ч с понижением температуры наружного воздуха, а также о том, что данный отопительный прибор не может обеспечить верхний диапазон температуры помещения путем изменения расхода теплоносителя при температуре наружного воздуха выше $-2...2$ °С (температура обусловлена возможностью переменного гидравлического режима работы системы).

Линия 3 показывает недостаток систем отопления с постоянным гидравлическим режимом работы, при котором температура в помещении будет изменяться согласно рис. 4.

В соответствии с проведенным анализом отопительный прибор не может обеспечить потребителя необходимым диапазоном температуры помещения, причем возможное сильное повышение расхода в отопительном приборе не обеспечит необходимой температуры, а это значит, что никакой гидравлический режим работы и регулирующая арматура не изменят ситуации. Следовательно, отопительный прибор подобран неверно, а переменная регулирующая арматура в данном случае не полностью справляется с возложенной на нее функцией. Вероятно, отопительные приборы необходимо подбирать при температуре наружного воздуха, отличающейся от экстремальной.

Иная ситуация будет для зданий с неорганизованным притоком и естественной вытяжной вентиляцией, где излишки теплоступлений не полностью ассимилируются системой вентиляции, а приток инфильтрующегося воздуха должен быть учтен в расчете теплопотерь.

Данный подход к решению вопроса о расчете переменного гидравлического режима работы системы отопления позволяет определить максимальный и минимальный расход теплоносителя во всей системе и на ее участках, а также проверить возможности системы отопления в нерасчетные периоды.

Отсутствие в нормах правил расчета систем с переменным гидравлическим режимом работы и расчет системы только при экстремальных температурах приводит к ошибкам и бесполезной трате дорогостоящей теплоты, а также понижению комфорта в помещениях. Именно поэтому нормативная база и подход к расчету таких систем требуют доработки и уточнения, а методы испытания отопительных приборов должны пополниться данными об изменении условно постоянных коэффициентов в зависимости от расхода теплоносителя.

Литература

- ГОСТ 30494–96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях / Госстрой России. М. : ГПКНИИ СантехНИИпроект, 1996.
- Мифы о расчете «правильной» мощности оборудования ОВК // АВОК. – 2013. – № 6.
- СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 4101–2003 / Департамент архитектуры, строительства и градостроительной политики. М. : ОАО «СантехНИИпроект», 2013.
- Рекомендации по применению стальных панельных отопительных радиаторов «Конрад» РСВ4, РСВ 4 Термо, РСВ 5 и РСВ 5 Термо (новая редакция). М. : НТФ ООО «ВИТАТЕРМ», 2007.
- Сканави А. Н., Махов Л. М. Отопление: Учебник для вузов. М. : АСВ, 2008. 576 с.
- Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / Под ред. А. А. Николаева. М. : Стройиздат, 1965.
- СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01–99* / Департамент архитектуры, строительства и градостроительной политики. М. : НИИСФ РААСН, 2013. ■