



Почему перегреваются офисные здания и что делать?

В. И. Ливчак, канд. техн. наук, otvet@abok.ru



Работая в Мосгосэкспертизе, расположенной в здании в центре Москвы, построенном в начале XXI века и оснащённом самыми современными системами климатизации (экспертиза все-таки), мне и другим сотрудникам даже при отрицательных температурах за окном и выключенном отоплении приходилось включать охлаждение, чтобы не было жарко. Почему? Отвечая за энергоэффективность проектов, я каждый раз, когда это делал, ловил себя на мысли, что как специалист я поступаю неправильно. В чем загадка?

Ключевые слова: теплотери, теплопоступления, график изменения температуры теплоносителя, система отопления, система вентиляции

В отечественной практике массового офисного строительства микроклимат в помещениях в холодный период года, как правило, обеспечивается системой водяного отопления с центральным авторегулированием подачи теплоты в зависимости от изменения температуры наружного воздуха и термостатами на отопительных приборах, приточной системой вентиляции, осуществляющей нагрев наружного воздуха в объеме нормативного воздухообмена в помещениях, с автоматическим поддержанием заданной температуры его нагрева, равной расчетной температуре внутреннего воздуха. Как сформулировано в [1], «в зданиях используется изотермическая вентиляция (температура приточного воздуха равна температуре внутреннего воздуха), что позволяет исключить вентиляцию из тепловых балансов».

Казалось бы, такая рациональная схема позволяет создать требуемые тепловой и воздушный режимы в помещениях, но в действительности вызывает перегрев помещений и вынужденное включение системы охлаждения (если она предусмотрена) даже в период отрицательных температур наружного воздуха. Почему так происходит и что надо делать для предотвращения такого дискомфорта и повышения энергетической эффективности систем отопления и вентиляции?

Причины следующие:

1. Расчет системы отопления общественных зданий, определение расчетных теплопотерь и подбор площади поверхности нагрева отопительных приборов выполняются без учета внутренних тепловыделений от присутствующих людей, искусственного освещения, пользования электрическими приборами, офисным и кухонным оборудованием.

В результате из-за того, что в действительности эти теплопоступления есть и составляют значительную величину [2], а производительность отопительных приборов принята без их учета, помещения будут перегреваться, причем, как будет показано далее на конкретном примере, перерасход теплоты в расчетных условиях составляет почти 2 раза. Для предотвращения этого необходимо пересчитать расчетные параметры температуры теплоносителя, циркулирующего в системе отопления, исходя из того запаса в поверхности нагрева, который образовался за счет неучета внутренних теплопоступлений при расчете теплопотерь [3]. Однако на практике этого никто не делает, так как в проекте указывается расчетная нагрузка на систему отопления и расчетные параметры



Реклама

**Для тех,
кому важен результат.**

**testo 870: для специалистов
систем отопления.**

- Детектор 160 x 120 пикселей
- Интуитивное управление
- Лучшая цена в своем классе

теплоносителя без внутренних теплопоступлений, величина которых также не приводится.

Требуемые значения температур воды в подающем t_{1TP} и обратном t_{2TP} трубопроводах системы отопления следует определять в зависимости от запаса в поверхности нагрева отопительных приборов по формулам:

$$t_{1TP} = 18 + 0,5 \left(t_1^P - t_2^P \right) \frac{\bar{Q}_{от}}{K_{зап}} + \left(\frac{t_1^P + t_2^P}{2} - 18 \right) \left(\frac{\bar{Q}_{от}}{K_{зап}} \right)^{\frac{1}{1+m}}, \quad (1)$$

$$t_{2TP} = t_{1TP} - \left(t_1^P - t_2^P \right) \frac{\bar{Q}_{от}}{K_{зап}}, \quad (2)$$

где t_1^P, t_2^P – расчетные температуры теплоносителя, соответственно в подающем и обратном трубопроводах системы отопления, без учета запаса в поверхности нагрева отопительных приборов (из проекта);

$\bar{Q}_{от} = Q_{от} / Q_{от}^P$ – относительный расход тепловой энергии на отопление при текущей температуре наружного воздуха $Q_{от}$ по отношению к расчетному расходу тепловой энергии на отопление $Q_{от}^P$;

$K_{зап} = Q_{от.пр}^P / Q_{от.тр}^P$ – коэффициент запаса системы отопления, отношение проектного расчетного расхода тепловой энергии на отопление здания без учета внутренних теплопоступлений $Q_{от.пр}^P = Q_{огр}^P$, к требуемому расходу тепловой энергии, определенному с учетом внутренних теплопоступлений $Q_{от.тр}^P = Q_{огр}^P - Q_{вн}$;

$Q_{огр}^P$ – расчетные трансмиссионные теплопотери через наружные ограждения здания;

$Q_{вн}$ – внутренние тепловыделения (теплопоступления) от людей, искусственного освещения, пользования электрическими приборами, офисным и кухонным оборудованием;

m – показатель степени в формуле изменения коэффициента теплопередачи отопительного прибора; как правило, принимают $m = 0,25$ или по приложению 18 СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов».

Для определения требуемых с учетом запаса расчетных температур теплоносителя при

расчетной для проектирования отопления температуре наружного воздуха в вышеприведенные формулы необходимо подставить $\bar{Q}_{от} = 1$. Тогда, например, при запасе поверхности нагрева отопительных приборов $K_{зап} = 2$ и расчетных температурах теплоносителя без запаса $t_1^P = 95$ °С, $t_2^P = 70$ °С и $m = 0,25$ требуемые значения температур при расчетной для проектирования отопления температуре наружного воздуха будут:

$$t_{1TP}^P = 18 + 0,5 \cdot (95 - 70) \cdot 1 / 2 + [(95 + 70) / 2 - 18] \cdot 1 / 2^{1/(1+0,25)} = 61,3$$
 °С,

$$t_{2TP}^P = 61,3 - (95 - 70) \cdot 1 / 2 = 48,8$$
 °С.

Это вместо 95...70 °С. Если этого не учитывать, перерасход теплоты в расчетных условиях будет: $[(95 + 70) / 2 - 20]^{0,8} / [(61,3 + 48,8) / 2 - 20]^{0,8} = 1,6$ раза!

2. В контроллер системы автоматического регулирования подачи теплоты на отопление закладывается график изменения температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха без учета постоянства внутренних теплопоступлений.

В то же время внутренние теплопоступления не зависят от изменения температуры наружного воздуха, и поэтому их доля в тепловом балансе здания с повышением наружной температуры возрастает, за счет чего можно снизить подачу теплоты в систему отопления по сравнению с отпуском его по температурному графику центрального регулирования, осуществляемым без учета внутренних теплопоступлений, по следующей зависимости [4]:

$$\bar{Q}_{от} = (1 + Q_{вн} / Q_{от}^P) \cdot (t_в - t_н) / (t_в - t_н^P) - Q_{вн} / Q_{от}^P, \quad (3)$$

где $t_в$ – расчетная температура внутреннего воздуха в холодный период года, принимаемая по ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» и по СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха», °С;

$t_н$ – текущая температура наружного воздуха, °С;

$t_н^P$ – расчетная температура наружного воздуха, °С, принимаемая по СП 60.13330.2012 и СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

3. При построении температурного графика центрального регулирования ориентируются на стандартную температуру начала/окончания отопительного периода $t_{н.ст}^1 = +8$ °С, согласно СП 124.13330 «Тепловые сети».

В действительности эта температура может отличаться от указанной в зависимости от доли внутренних теплопоступлений в отапливаемых

помещениях по отношению к расчетной нагрузке на систему отопления здания, рассчитанной с учетом внутренних теплопоступлений, от назначения здания и режима его эксплуатации. При переводе вентиляционной нагрузки на отдельную систему механической приточной вентиляции с подогревом наружного воздуха (что имеет место в офисных зданиях), то есть исключения этой нагрузки из теплопотерь, которые должны быть компенсированы системой отопления, как это происходит в многоквартирных домах с естественным притоком наружного воздуха для вентиляции, температура начала/окончания отопительного периода сдвигается в область отрицательных температур и определяется следующей зависимостью [5]:

$$t_{\text{н}}^1 \text{ (при } \bar{Q}_{\text{от}} = 0) = (t_{\text{в}} + t_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot Q_{\text{вн}} / Q_{\text{от}}^{\text{п}}) / (1 + Q_{\text{вн}} / Q_{\text{от}}^{\text{п}}). \quad (4)$$

Определим эту температуру на конкретном примере 4-этажного офиса полезной площадью $A_{\text{пол}} = 1243 \text{ м}^2$ с количеством работников 124 (заполнение 10 м^2 полезной площади на 1 работника), строящегося в Московском регионе, с теплозащитой, соответствующей требованиям 1-го этапа энергетической эффективности зданий. Сумма площадей всех наружных ограждений отапливаемой оболочки здания $A_{\text{огр}}^{\text{сум}} = 2146 \text{ м}^2$; в том числе:

площадь стен 1072 м^2 (приведенное сопротивление теплопередаче $R_{\text{ст}}^{\text{п}} = 3,08 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), площадь окон 235 м^2 ($R_{\text{ок}}^{\text{п}} = 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), площадь покрытия 415 м^2 ($R_{\text{покp}}^{\text{п}} = 4,12 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), площадь цокольного перекрытия 415 м^2 ($R_{\text{пер}}^{\text{п}} = 3,48 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), площадь наружных дверей 9 м^2 ($R_{\text{дв}}^{\text{п}} = 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$). Отапливаемый объем здания $V_{\text{от}} = 5900 \text{ м}^3$; компактность здания $A_{\text{огр}}^{\text{сум}} / V_{\text{от}} = 0,36$. Отношение площади светопрозрачных ограждений к площади фасадов $0,18$. Приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания $K_{\text{тр}} = 0,407 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Условный инфильтрационный коэффициент теплопередачи через закрытые оконные и дверные проемы при отключенных системах механической вентиляции $K_{\text{инф}} = 0,042 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Удельные расчетные внутренние теплопритоки из [2] при принятой заселенности в 10 м^2 полезной площади помещений на одного работника (интерполируя величины K_{QE} и q_{E}) составят: $q_{\text{вн.оф}} = (Q_{\text{р}} / A_{\text{р}}) \times t_{\text{мет}} / t + K_{\text{QE}} \cdot (q_{\text{E}} \cdot f_{\text{E}}) \cdot 10^3 / (t \cdot 365) = (10 \cdot 8 / 10) \cdot 6 / 6 + 1,09 \cdot (31,3 \cdot 0,9) \cdot 10^3 / (6 \cdot 365) = 22,02 \text{ Вт}/\text{м}^2$ (обозначения в [2]), а для рассматриваемого здания с учетом неполного их использования, оцениваемого понижающим коэффициентом $0,85$: $Q_{\text{вн}} = 0,85 \cdot 22,02 \cdot 1243 \cdot 10^{-3} = 23,3 \text{ кВт}$. Расчетный

Триол АТ24

Низковольтный преобразователь частоты



Реклама

Индивидуальные решения
для каждого Заказчика

www.triolcorp.ru

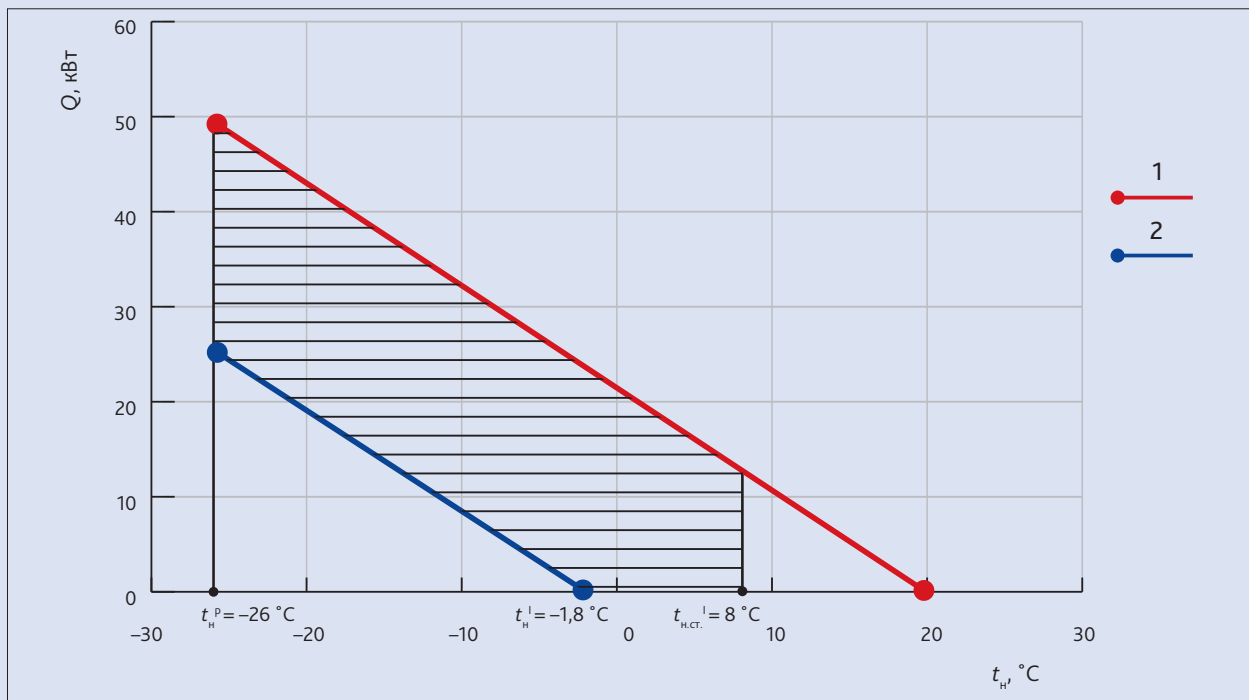


Рис. 1. Графики теплопотребления $Q_{от}$ на отопление офисного здания: 1 – без учета внутренних теплопоступлений; 2 – с учетом внутренних теплопоступлений и увеличения их доли в тепловом балансе здания с повышением температуры наружного воздуха t_n

расход теплоты на отопление, равный расчетным теплопотерям через наружные ограждения, вместе с теплопотерями трубопроводами системы отопления, проложенными в неотапливаемых помещениях, и завышенными теплопотерями радиаторных участков стен ($\beta_{mn} = 1,11$), составит:

$$Q_{от.гр}^p = Q_{огр}^p - Q_{вн} = 1,1 \cdot K_{тр} \cdot A_{огр}^{сум} \cdot \beta_{mn} \cdot (t_b - t_n^p) \cdot 10^{-3} - Q_{вн} = 1,1 \cdot 0,407 \cdot 2146 \cdot 1,11 \cdot (20 + 26) \times 10^{-3} - 23,3 = 25,8 \text{ кВт.}$$

Кстати, без учета внутренних теплопоступлений проектный расчетный расход теплоты на отопление был бы $Q_{от.гр}^p = 25,8 + 23,3 = 49,1$ кВт, а коэффициент запаса системы отопления $K_{зап} = Q_{от.гр}^p / Q_{от.тр}^p = 49,1 / 25,8 = 1,9$.

Отношение внутренних теплопоступлений в здании к расчетному расходу теплоты на отопление соответственно будет: $Q_{вн} / Q_{от}^p = 23,3 / 25,8 = 0,9$, а начало/конец отопительного периода должны быть при:

$$t_n^l = (t_b + t_n^p \cdot Q_{вн} / Q_{от}^p) / (1 + Q_{вн} / Q_{от}^p) = (20 - 26 \times 0,9) / (1 + 0,9) = -1,8 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Этот сдвиг температуры начала/окончания отопительного периода с $+8 \text{ } ^\circ\text{C}$ на $-1,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ приведет к еще большему перегреву здания, система отопления которого была рассчитана без учета внутренних теплопоступлений с использованием зависимости $Q_{от.ц} = Q_{от} / Q_{от}^p = (t_b - t_n) / (t_b - t_n^p)$, что наглядно продемонстрировано на рис. 1.

Заштрихованная область – это перерасход тепловой энергии, который вызван перечисленными выше обстоятельствами.

4. Поддержание неизменной температуры приточного воздуха в механической системе приточной вентиляции вызывает дополнительный перерасход теплоты при повышении температуры наружного воздуха выше температуры начала/окончания отопительного периода ($t_n^l = -1,8 \text{ } ^\circ\text{C}$). Для предотвращения этого в эти периоды необходимо понижать температуру приточного воздуха в пределах до температуры наружного, не догревая его в калориферах, используя естественное охлаждение недогрева для компенсации внутренних теплопоступлений при отключенной системе отопления.

Расчетный расход тепловой энергии для нагрева наружного воздуха в объеме нормативного воздухообмена в $l_{вент} = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха на 1 работника (СП 60.13330.2012), тогда для здания в целом $L_{вент} = l_{вент} \cdot 124$ до расчетной температуры внутреннего воздуха $t_b = +20 \text{ } ^\circ\text{C}$ при дополнительных теплопотерях $\beta_{тп.в} = 1,1$ будет: $Q_{вент}^p = 0,28 \cdot L_{вент} \cdot \rho_b \cdot c_a \cdot (t_b - t_n^p) \cdot \beta_{тп.в} \cdot 10^{-3} = 0,28 \cdot 40 \times 124 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot (20 + 26) \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 84,4 \text{ кВт.}$

Исходя из теплового баланса здания $Q_{огр} + Q_{вент} = Q_{от} + Q_{вн}$ и подставляя исходные данные из

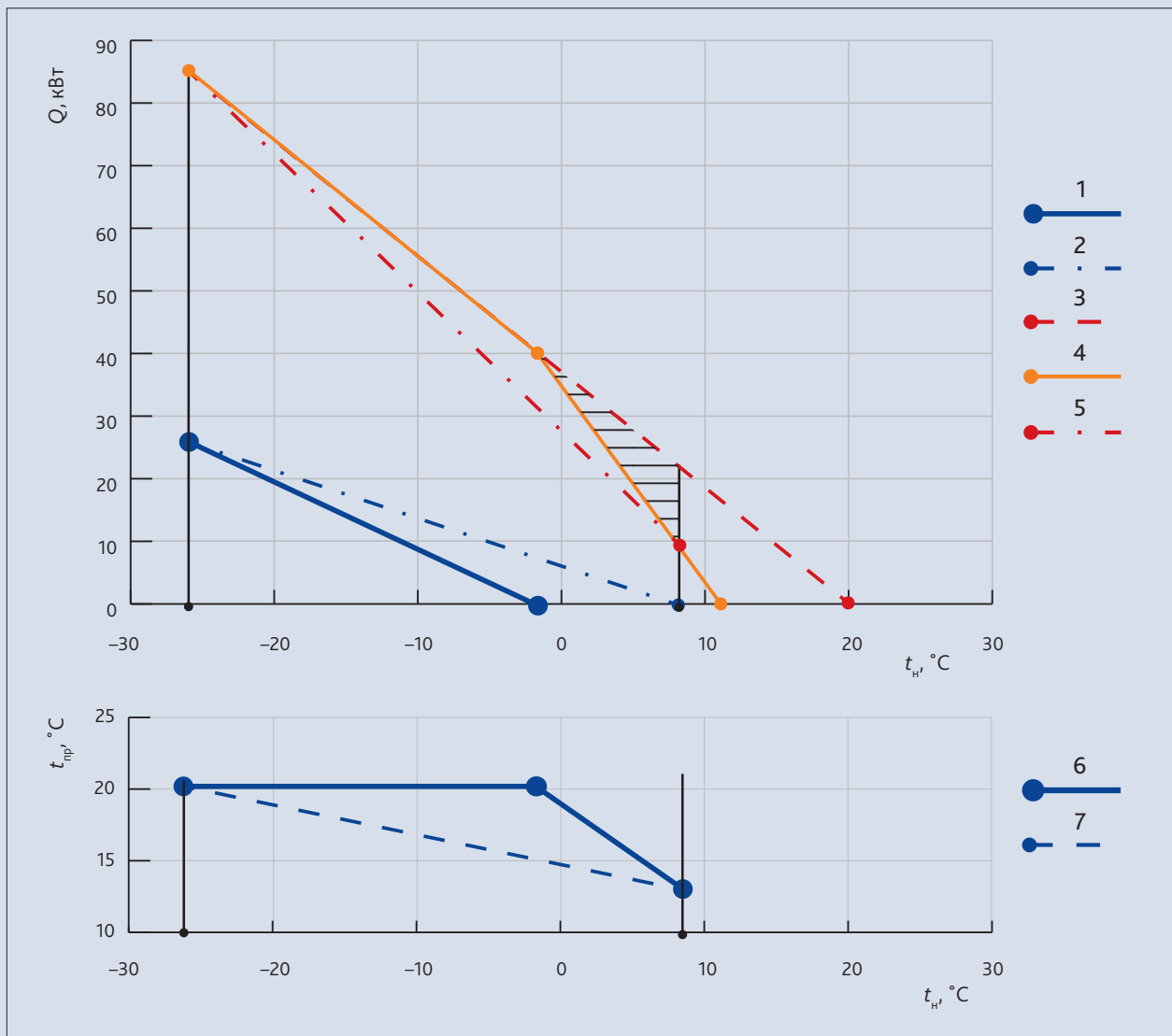


Рис. 2. Графики теплотребления на отопление и вентиляцию офисного здания: 1 – на отопление с учетом внутренних теплопоступлений и увеличения их доли в тепловом балансе здания с повышением t_n ; 2 – то же, с продолжением отопления в рабочее время в течение стандартного отопительного периода; 3 – на вентиляцию с постоянной температурой приточного воздуха в течение стандартного отопительного периода (при понижении t_n переходит в 4); 4 – то же, с учетом фрикулинга; 5 – то же, что и 4, с компенсацией перегрева от продолжения отопления до $t_{n,CT}^I = +8$ °C, с понижением температуры приточного воздуха; 6 – график изменения температуры приточного воздуха в системе вентиляции при работе в режиме фрикулинга; 7 – то же, с компенсацией перегрева от продолжения отопления до $t_{n,CT}^I = +8$ °C

вышеприведенного примера, находим температуру наружного воздуха t_n , при которой прекращается нагрев приточного воздуха уже при выключенной системе отопления:

$$t_n = t_b - 0,85 \cdot q_{вн} \cdot A_{пол} / (1,1 \cdot K_{тр} \cdot A_{огр}^{сум} + 0,28 \times L_{вент} \cdot \rho_v \cdot c_a) = 20 - 0,85 \cdot 22,02 \cdot 1243 / (1,1 \cdot 0,407 \times 2146 + 0,28 \cdot 40 \cdot 124 \cdot 1,2 \cdot 1) = 11,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Другая реперная точка – это расход тепловой энергии для нагрева наружного воздуха до расчетной температуры внутреннего воздуха $t_b = +20$ °C в момент прекращения отопления из-за равенства

теплотерь здания внутренним теплопоступлениям (при $t_n^I = -1,8$ °C):

$$Q_{вент} = 0,28 \cdot 40 \cdot 124 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot (20 + 1,8) \cdot 1,1 \times 10^{-3} = 39,9 \text{ кВт}.$$

Графически перерасход теплоты, устраняемый за счет применения режима «фрикулинг» – снижения температуры приточного воздуха системы вентиляции без догрева его до стандартной температуры +20 °C после отключения системы отопления, – изображен на рис. 2. Заштрихованная область – это экономия тепловой энергии, которая



Shutterstock.com

достигается при использовании режима «фрикулинг» вместо изотермической вентиляции.

В нижней части рис. 2 показано изменение температуры приточного воздуха в зависимости от наружной температуры, где одна реперная точка – это $t_{пр} = +20\text{ }^\circ\text{C}$ при $t_{н}^I = -1,8\text{ }^\circ\text{C}$ (при $t_{н}^I < -1,8\text{ }^\circ\text{C}$ температура приточного воздуха поддерживается постоянно равной $t_{пр} = +20\text{ }^\circ\text{C}$), а вторая реперная точка – это температура начала/окончания стандартного отопительного периода $t_{н.ст}^I = +8\text{ }^\circ\text{C}$, при которой температура приточного воздуха находится из уравнения:

$$t_{пр} = t_{в} + [1,1 \cdot K_{тр} \cdot A_{огр. сум} \cdot (t_{в} - t_{н.ст}^I) - 0,85 \cdot q_{быт} \times A_{пол}] / (0,28 \cdot L_{вент} \cdot \rho_{в} \cdot c_{а}) = 20 + [1,1 \cdot 0,407 \cdot 2146 \times (20 - 8) - 0,85 \cdot 22,02 \cdot 1243] / (0,28 \cdot 40 \cdot 124 \cdot 1,2 \cdot 1) = 13,0\text{ }^\circ\text{C}.$$

Следует заметить, что отключение системы отопления с температуры наружного воздуха выше $t_{н}^I = -1,8\text{ }^\circ\text{C}$ может повлиять на расширение дискомфортной зоны вблизи окна, поэтому и в этот период желательно продолжать отопление на минимальном уровне, но дополнительно снизить температуру приточного воздуха для компенсации увеличенных суммарных теплопоступлений, что не скажется на изменении общего расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию. На рис. 2 соответствующее увеличение расхода теплоты на отопление и уменьшение ее на вентиляцию, а также понижение температуры приточного воздуха для реализации сокращения

подачи теплоты на вентиляцию показаны штрихпунктирными линиями.

Высказываются опасения, что при таком режиме регулируемые системы отопления и вентиляции будут мешать друг другу, но этого не произойдет, потому что в системе приточной вентиляции будет автоматически поддерживаться не постоянная температура приточного воздуха, как ранее, а переменная, в зависимости от изменения наружной температуры и с учетом перегрева системой отопления. В системе отопления на ИТП также автоматически, в зависимости от изменения наружной температуры, будет поддерживаться заданный график температуры теплоносителя, циркулирующего в системе, но с меньшим наклоном, чем ранее, а термостаты на отопительных приборах будут решать локальные задачи по доведению температуры воздуха в помещении до желательной пользователям и по сокращению теплопотребления системой отопления за счет учета солнечных теплопоступлений, область использования которой возрастает (увеличивается глубина сокращения при $t_{н}^I < -1,8\text{ }^\circ\text{C}$ и диапазон воздействия при $t_{н}^I > -1,8\text{ }^\circ\text{C}$).

Литература

1. Наумов А. Л. Оценка и роль теплозащиты общественных зданий // АВОК. 2009. № 7.
2. Ливчак В. И. Гармонизация исходных данных российских норм, определяющих величину внутренних теплопоступлений, с европейскими нормами // АВОК. 2014. № 1.
3. Ливчак В. И. Энергоаудит и энергетическая паспортизация жилых зданий – путь к стимулированию энергосбережения // АВОК. 2002. № 2.
4. Ливчак В. И. Учет внутренних теплопоступлений в жилых домах // АВОК. 2013. № 6.
5. Ливчак В. И. О длительности отопительного периода для многоквартирных домов и общественных зданий // Энергосбережение. 2013. № 6. ■

*Окончание статьи
читайте в следующем номере.*

Приложение «Методика расчета годового теплопотребления на отопление и вентиляцию офисного здания» смотрите на сайте www.abok.ru, в разделе «Библиотека статей».