

ступень 2 – частичное устранение дефицита комфортности, компенсирующее только лучистое охлаждение;

ступень 3 – полное устранение дефицита комфортности.

Условия ступени 3 считаются выполненными, если

- дискомфортные воздушные течения не достигают заданной комфортной зоны;
- поверхности нагрева благодаря своим размерам и расположению полностью препятствуют ниспадающему потоку охлажденного воздуха от “холодных” поверхностей;
- лучистое охлаждение в комфортной зоне отсутствует;
- поверхности нагрева размещенности, что и “холодные” ограждения;
- видимая площадь и средняя температура поверхностей нагрева компенсируют лучистое охлаждение поверхностями ограждений;
- поверхности нагрева покрывают нормативную тепловую нагрузку;
- учтен предусмотренный резерв мощности натопа.

Кроме устранения или снижения дефицита комфортности, предусматривается возможность использования поверхностей нагрева для других целей, таких, как обеспечение резерва мощности, выполнение эстетических требований и дополнительных функций, например сушки и подогрева полотенец, геометрического разделения объема помещения и т.д.

Расчетная температура теплоносителя в подающей линии может составлять от 45 до 60°C и ограничивается в целях энергосбережения и предотвращения несчастных случаев, вызванных прикосновением детей к горячим частям отопительной установки. Для обеспечения резерва мощности температура теплоносителя может временно составлять 70°C. Расчетный расход теплоносителя для обеспечения хорошей регулируемости мощности отопительного прибора должен составлять не более половины от нормативного (по EN 442).

Пример расчета по условиям ступени 3 директивы VDI 6030

Помещение:

площадь 20 м², размеры в плане 5 м (глубина) и 4 м (ширина), высота 2,5 м,

одна наружная стена 4 м x 2,5 м, $U_{AW} = 0,625 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $\alpha_i^{-1} = 0,13 \text{ м}^2\text{К/Вт}$,

одно окно с проемом 2 м x 1,5 м, $U_{FE} = 1,3 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $\alpha_i^{-1} = 0,13 \text{ м}^2\text{К/Вт}$.

Расчетная внутренняя температура $\Theta_{int} = 22 \text{ °C}$

Расчетная наружная температура $\Theta_e = -26 \text{ °C}$

Нормативная тепловая нагрузка $\Phi_{HL} = 940 \text{ Вт}$

Комфортная зона максимальна (расстояние до наружного ограждения не более 1 м)

Резерв мощности натопа $\Phi_{RH} = 30 \text{ Вт/м}^2$

Ход расчета

1. Определение разности температур помещения и поверхности окна

$$\text{окно } \Delta T_{FE} = U_{FE} \cdot \alpha_i^{-1} (\Theta_{int} - \Theta_e) = 8,1 \text{ К}$$

2. Определение размеров радиатора и средней температуры теплоносителя

Высота радиатора H_H ограничена высотой расположения подоконника относительно чистого пола, в настоящем примере принимается 0,5 м. Его длина должна быть не менее ширины оконного проема для предотвращения распространения в помещении ниспадающего потока охлажденного поверхностью окна воздуха, $L_H = 2 \text{ м}$. Кроме того, во избежание возникновения существенной радиационной асимметрии в помещении

радиатор обязательно должен располагаться в той же плоскости, что и холодные поверхности ограждения.

Чтобы радиатор компенсировал лучистое охлаждение поверхностью окна, должно выполняться условие:

$$\Delta T_H \cdot L_H \cdot H_H \geq \Delta T_{FE} \cdot S_{FE},$$

где ΔT_H – температурный напор отопительного прибора.

$$\Delta T_H \geq \Delta T_{FE} \cdot S_{FE} / L_H \cdot H_H$$

$$\Delta T_H = 8,1 \cdot 3 / 0,5 \cdot 2 = 24,3 \text{ K}$$

При ограничении максимальной температуры теплоносителя значением, например, 60°C, ее превышение в расчете должно корректироваться увеличением площади отопительного прибора за счет увеличения его длины. Для нескольких помещений и радиаторов ΔT_H рассчитывается отдельно и принимается максимальное значение.

3. Определение параметров теплоносителя

Расчетные температуры подающей t_1 и обратной t_2 линии определяются как сумма и разность средней температуры радиатора $\Delta T_H + \Theta_{int}$ и половины перепада температур σ :

$$t_1 = \Delta T_H + \Theta_{int} + \sigma/2$$

$$t_2 = \Delta T_H + \Theta_{int} - \sigma/2$$

В соответствии с рекомендациями VDI 6030, минимальный перепад температур теплоносителя связан с температурным напором следующим соотношением:

$\sigma = 2 \cdot \sigma_{норм} \cdot \Delta T_H / \Delta T_{норм}$, где $\sigma_{норм}$, $\Delta T_{норм}$ соответствуют нормативным параметрам теплоносителя по DIN EN 442 (75/65/20 °C)

$$\sigma = 2 \cdot 10 \cdot 24,3 / 49,83 = 9,75 \text{ K} \approx 10 \text{ K}$$

$$t_1 = 24,3 + 22 + 5 \approx 52 \text{ °C}$$

$$t_2 = 24,3 + 22 - 5 \approx 42 \text{ °C}$$

4. Определение требуемой относительной мощности радиатора

Такая задача может быть выполнена, например, при помощи диаграммы “Зависимость тепловой мощности от расхода теплоносителя” (стр. 36).

Эта диаграмма построена для опорных параметров теплоносителя 90/70/20 °C и позволяет получить коэффициенты относительной мощности и относительного расхода по полученным параметрам теплоносителя. В нашем примере искомая точка на диаграмме образована пересечением линий $t_1 - t_2 = 10 \text{ K}$ и $t_1 - \Theta_{int} = 30 \text{ K}$.

Отношение фактической мощности отопительного прибора к мощности того же прибора, но при опорных параметрах теплоносителя, равно $Q_{отн} = 0,32$. Мощность отопительного прибора при опорных параметрах 90/70/20 °C, дающая возможность выбрать радиатор по каталогам или прайс-листам продавцов, должна составить

$$\Phi_{S, \text{eff}} = \Phi_{HL} / Q_{отн} = 2937 \text{ Вт}$$

5. Выбор соответствующего отопительного прибора.

По заданным высоте и длине может быть выбран радиатор как меньшей, так и большей номинальной мощности, с учетом имеющихся ограничений по максимальной температуре и минимальному перепаду температур теплоносителя.

Для нашего примера может быть выбран профильный панельный радиатор тип 12 высотой 500 мм и длиной 2000 мм. Его номинальная мощность $\Phi_{ном}$ составляет 2668 Вт против требуемых 2937 Вт. Соответственно, температурный напор должен быть увеличен для достижения нового значения $Q_{отн} = 940 / 2668 = 0,35$. При повышении температурного напора необходимо проверить, достаточен ли для новых условий перепад температур

теплоносителя. Расчетные параметры теплоносителя увеличатся до:

$$t_1 = 57^\circ\text{C}, t_2 = 47^\circ\text{C}, \Delta T_H = 29,72\text{ K}, \Phi_{\text{факт}} = 1084\text{ Вт}$$

$$\sigma = 2 \cdot 10 \cdot 29,72 / 49,83 = 11,93\text{ K} \approx 12\text{ K. Тогда}$$

$$t_{1, \text{факт}} = 57^\circ\text{C}, t_{2, \text{факт}} = 45^\circ\text{C}, \Delta T_{H, \text{факт}} = 28,6\text{ K}, \Phi_{\text{факт}} = 1030\text{ Вт.}$$

Большее значение мощности радиатора означает, что при выбранной температуре подающей линии 57°C расчетная температура теплоносителя на выходе из радиатора будет несколько ниже и составит около 42°C .

6. Проверка способности радиатора компенсировать радиационное охлаждение.

$$\Delta T_{H, \text{факт}} \geq \Delta T_H$$

$$\Delta T_{H, \text{факт}} = 29,6 \geq \Delta T_H = 24,3\text{ K}$$

7. Проверка резерва мощности натопа.

Для обеспечения резерва мощности температура теплоносителя может кратковременно составлять 70°C . При параметрах теплоносителя $70/58/22^\circ\text{C}$ относительная мощность радиатора составит $Q_{\text{отн}} = 0,65$. При этом фактическая мощность выбранного радиатора составит $\Phi_{\text{натопа}} = 2668 \cdot 0,65 = 1734\text{ Вт}$. Требуемый резерв мощности составляет $\Phi_{\text{РН}} = 30\text{ Вт/м}^2 \cdot 20\text{ м}^2 = 600\text{ Вт}$, радиатор может обеспечить резерв $1734 - 940 = 794\text{ Вт}$, требование резерва выполнено.

8. Определение расчетного расхода теплоносителя.

$$q_m = \Phi_{\text{HL}} / \sigma_{\text{факт}} \cdot c_p = 940 / (57 - 45) \cdot 1,17 = 68\text{ кг/час}$$

Выбор отопительного прибора в соответствии с требованиями ступеней 1 и 2 имеет следующие отличия:

- для ступени 2 расчет выполняется аналогичным образом, длина отопительного прибора не имеет значения и выбирается свободно;
- для ступени 1 не имеет значения расположение и размеры отопительного прибора, а также параметры теплоносителя, ограниченные только возможностями источника теплоснабжения;
- при расчете конвекторов вследствие почти полного отсутствия лучистой составляющей теплового потока какие-либо ограничения не учитываются. Несмотря на это, выполнение требований ступени 3 возможно, но в меньшем комфортном объеме внутри помещения, с большими отступами от ограждений.

В рассмотренном примере отопительный прибор компенсирует только лучистое охлаждение поверхностью окна, имеющей минимальную температуру. Расчет может включать требование компенсации охлаждения также поверхностью наружной стены, если ее температура ниже на 3 K и более температуры воздуха. Для принятых в примере расчетной температуры наружного воздуха и коэффициента теплопроводности конструкции стены практическая реализация такого требования будет означать либо увеличение длины (и площади) радиатора при сохранении его высоты, либо повышение температурного напора выше допустимой по VDI 6030 температуры теплоносителя 60°C .

Гидравлический расчет отопительных приборов.

Потери давления на отопительных приборах при расчете определяют по формулам $\Delta p = \zeta \varpi^2 \rho / 2$ или $\Delta p = S G^2$, где

ζ – коэффициент местного сопротивления ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3

ϖ – скорость движения теплоносителя, м/с G – расход теплоносителя, кг/с

S – характеристика удельного сопротивления участка сети, Па/(кг/с)^2