

ТЕМА 17. ПАННЕЛЬНО-ЛУЧИСТОЕ ОТОПЛЕНИЕ

17.1. Характеристика и классификация панельно - лучистого отопления

Для того чтобы говорить о наличии в помещении панельно-лучистого отопления, необходимы два признака:

– система отопления должна создавать температурную обстановку, характерную для лучистого способа обогрева, при которой справедливо выражение

$$t_R > t_g, \quad (17.1)$$

где t_R – радиационная температура, °С;

t_g – температура воздуха в помещении, °С.

– в системе должны быть использованы отопительные приборы, имеющие гладкую поверхность. Этот признак называют необходимым, но недостаточным.

Системы панельно-лучистого отопления подразделяются на:

1. местные, в которых отопление осуществляется высокотемпературными приборами (панелями и плафонами с отражательными экранами). Для обогрева используются электроэнергия и продукты сгорания газообразного топлива, а температура излучающей поверхности достигает 800-850 °С;

2. центральные, в которых теплоносителями являются вода, электрический ток, пар, воздух, а температура излучающей поверхности ниже 100°С.

Наибольшее распространение в настоящее время получило панельно-лучистое отопление, конструктивно выполненное в виде труб или нагревательного кабеля заделанных в массив бетона. В таком отоплении используется явление увеличения теплопередачи трубы или нагревательного кабеля, покрытых теплопроводным материалом (рис.17.1), по сравнению с открыто проложенными. Это объясняется увеличением внешней теплоотдающей поверхности, которая с ростом диаметра развивается быстрее, чем сопротивление теплопроводности бетона.

У трубопровода, покрытого материалом, внешняя поверхность увеличивается, и условия теплоотвода улучшаются. В то же время с увеличением толщины материала термическое сопротивление слоя материала возрастает.

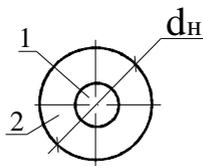


Рис. 17.1. Схема трубопровода, покрытого слоем материала: 1 – трубопровод; 2 – слой материала

Из курса «Теплопередача» известно, что условием правильного выбора теплоизоляционного материала является выполнение соотношения

$$I_M < \frac{a_H d_H}{2}, \quad (17.2)$$

где I_M – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°С);
 a_H – коэффициент теплообмена на внешней теплоотдающей поверхности, Вт/(м²·°С);
 d_H – внешний диаметр трубы покрытый слоем материала, м.
 Если же выбран материал, для которого

$$I_M > \frac{a_H d_H}{2}, \quad (17.3)$$

где I_M , a_H , d_H – то же, что и в формуле (17.2), то при его нанесении на трубопровод тепловые потери будут расти.

Увеличение теплоотдачи трубы при увеличении наружного диаметра называется эффектом оребрения.

К местным системам панельно-лучистого отопления относятся инфракрасные электрические обогреватели и газовые горелки инфракрасного излучения.

Системы панельно-лучистого отопления, конструктивно выполненные в виде нагревательных элементов из труб или нагревательного кабеля, заделанных в массив бетона подразделяются в зависимости от расположения нагревательных приборов на: стеновые (при расположении нагревательного элемента в конструкции стен); потолочные (при расположении нагревательного элемента в конструкции потолка); напольные (при расположении нагревательного элемента в конструкции пола). Лишь потолочная система передает в помещение 50 % и более теплового потока путем излучения и может быть отнесена к лучистым. Напольная система передает в

помещение путем лучеиспускания 30-40 % теплового потока, а стеновая 30-60 %.

Различают две конструкции панелей: совмещенные – составляющие одно целое с ограждающими конструкциями; приставные (подвесные) – изготовленные отдельно и смонтированные рядом или в выемках строительных конструкций.

17.2. Конструктивные решения панельно-лучистого отопления

Первые системы панельно-лучистого отопления, конструктивно выполненные из труб, заделанных в массив бетона, были построены по проектам инженера В.А. Яхимовича начиная с 1905 по 1911гг. в больничных, школьных и общественных зданиях. В качестве теплоносителя в таких системах использовалась горячая вода и водяной пар.

В 1952г. в жилищное строительство была внедрена система с подоконными бетонными приставными отопительными панелями. Бетонные отопительные панели размещались под окнами по аналогии с чугунными радиаторами, прокладка стояков вертикальных стояков допускалась открытая.

В 1954г. в жилищное строительство была внедрена система с совмещенными перегородочными бетонными отопительными панелями в здании со стенами из кирпичных блоков.

В 1961г. Академией Строительства и Архитектуры УССР совместно с НИИ санитарной техники (г. Киев) была разработана панельная система отопления крупнопанельных зданий, рис. 17.2. По высоте дома стояки соединялись специальными скобами, рис. 17.3.

Примером потолочного панельно-лучистого отопления с приставными отопительными панелями, размещенными в междуэтажном перекрытии со сборным несущим настилом (рис. 17.4) является система отопления смонтированная в одном из лечебных учреждений г. Москвы (в больнице им. Кашенко).

В зарубежной практике широко применяют конструкции подвесных потолков из алюминия, гипса и других материалов, в которых размещают нагревательные элементы системы отопления (рис. 17.5). Такая конструкция обеспечивает звукоизоляцию помещения, имеет малую тепловую инерцию, более ремонтпригодна (трубы доступны для осмотра), пространство над подвесным потолком может быть использовано для прокладки электрических кабелей и т.п.

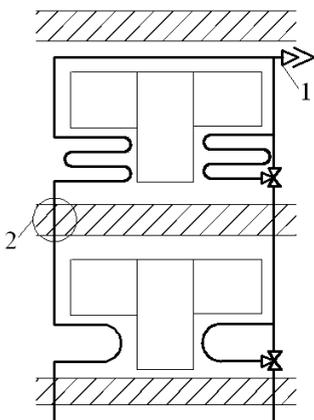


Рис. 17.2. Панельная система отопления крупнопанельных зданий: 1 - воздухоотводчик; 2 - монтажный стык

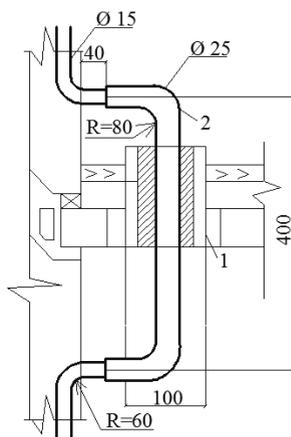


Рис. 17.3. Монтажный стык: 1 - гильза; 2 - соединительная скоба

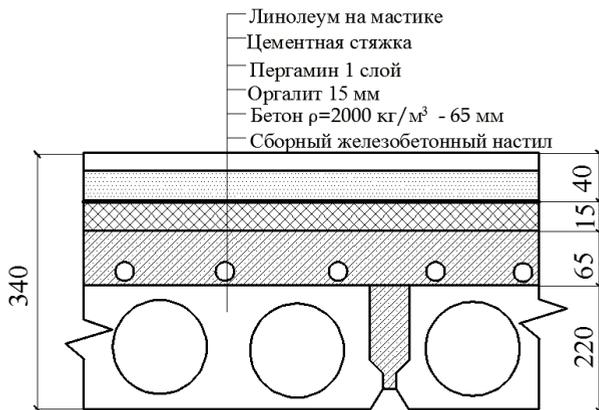


Рис. 17.4. Укладка змеевиков в перекрытиях в палатах первого – пятого этажей

Обычно в системах потолочно-напольного отопления трубопроводы нагревательного элемента не использовались как рабочая арматура перекрытия, хотя такая возможность была показана еще в 1939г. экспериментальными исследованиями, проведенными в Дюсельдорфском институте испытания строительных материалов. В России в г. Новокуйбышевске был построен экспериментальный девятиэтажный дом в 1968-1972гг., в котором были применены панели перекрытий размером на комнату. Нагрева-

тельный элемент был изготовлен из стальных труб по ГОСТ 32 62 диаметром 20мм.

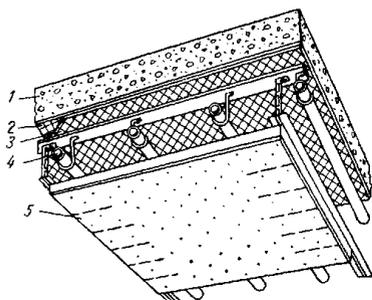


Рис.17.5. Конструкции пустотного греющего потолка: 1- бетонное перекрытие; 2 – теплоизоляция; 3 – алюминиевая фольга; 4 – змеевик; 5 – подвесной перфорированный потолок

За последние годы достаточно широкое распространение в Республике Беларусь нашли современные западные технологии по устройству напольного отопления. Их особенностью является применение в качестве теплопроводов медных труб и труб из полимерных материалов. Рассмотрим схему устройства системы подогрева пола (рис. 17.6). Трубы укладывают в виде змеевика той или иной формы, например, с двойной проводкой (рис. 17.7). Применяется еще «зигзагообразная» форма змеевика, с переменным шагом укладки труб и с дополнительным греющим контуром.

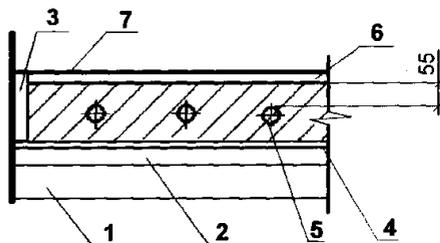


Рис. 17.6. Конструкция устройства системы подогрева пола: 1-перекрытие; 2- тепловая изоляция; 3- усадочный шов; 4- гидроизоляция; 5 – греющий контур; 6 - стяжка на цементно-песчаном растворе; 7 – напольное покрытие

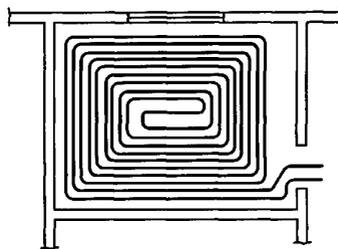


Рис. 17.7. Зигзагообразный способ укладки труб системы напольного отопления

17.3. Теплопотери через ограждения помещений при панельно-лучистом отоплении

При определении потерь теплоты при обычном конвективном отоплении считают, что температура внутренней поверхности для наружных ограждений зданий зависит от температуры воздуха, а для внутренних -

равна последней. При панельно-лучистом отоплении температура внутренних поверхностей зависит еще также и от лучистого теплообмена, происходящего между греющей панелью и всеми ограждениями. Поэтому расчет теплотерь по обычной формуле при панельно-лучистом отоплении не может дать точных результатов.

В литературе вопросы теплообмена в отапливаемых помещениях рассматривались многими авторами, но в практике проектирование из-за сложности и громоздкости вычислений, предлагаемые методы расчета использовались редко. К тому же из-за введения некоторых допущений эти методы становятся приближенными. В.Н. Богословский, обработав литературные данные, приходит к выводу, что нельзя полностью пренебрегать учетом лучисто-конвективного теплообмена при расчете панельно-лучистого отопления, но можно существенно уменьшить степень сложности этих расчетов путем совместного решения уравнений, определяющих условия температурного комфорта и теплообмена системы обогрева с помещением. Он предложил упрощенный метод с использованием полного коэффициента облученности наружных ограждений греющей панелью точность которого достаточна для практических целей.

Расчеты могут производиться с применением эквивалентного коэффициента теплопередачи ограждений всего помещения в целом.

В то же время при расчетах теплотерь температуры теплоотдающих поверхностей панелей находят при заданных температурах внутренних поверхностей наружных ограждений $t_{н.с.}$. При проектировании панельного отопления следует стремиться, чтобы $t_{н.с.}$ была не ниже, чем при конвективном отоплении. Следовательно, сохраняя равным значение $t_{н.с.}$ при различных способах отопления. Теплотери помещения не могут существенно отличаться. Поэтому при проектировании панельно-лучистого отопления Теплотери находят обычным способом.

Расчет теплотерь с учетом теплообмена в помещении с лучистым (потолочным) отоплением, проведенный М.И. Кисиним, показывает, что разница в теплотерях находится в пределах 5%. А.К. Андреевский, анализируя переход тепла через ограждения при различных способах обогрева помещений, приходит к выводу, что: «отправной величиной для расчетов лучистого отопления помещений должна быть величина потерь тепла с учетом всех добавочных теплотерь, определяемая обычными и общепринятыми методами». К аналогичному заключению приходит И.Ф. Лив

чак: «подсчет теплотерь для расчета панельного отопления можно вести обычным способом как при конвективном отоплении.

17.4. Расчет теплопередачи вертикальных бетонных отопительных панелей

Вертикальные бетонные отопительные панели с односторонней теплоотдачей в помещение в большинстве случаев представляют собой панели наружных стен, во внутренний слой тяжелого бетона которых замоноличены нагревательные элементы: участки стояков, змеевики или регистры, размещаемые в подоконной части наружных стен (рис. 17.8).

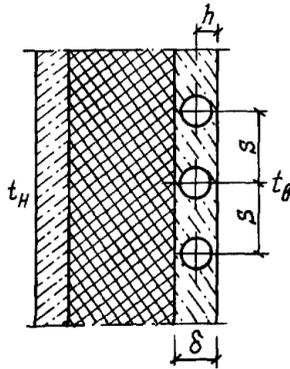


Рис. 17.8. Размещение нагревательных элементов в наружной стеновой панели

Теплоотдача в помещение (лицевая теплоотдача) 1 м трубы в бетоне $q_{лиц}$, Вт/м, определяется по формуле

$$q_{лиц} = q_{dt} K_G K_I K_d, \quad (17.4)$$

где q_{dt} - теплоотдача 1 м трубы нагревательного элемента, определяемая по табл. 17.1 или по формуле

$$q_{dt} = 1,16 \left[0,96(t_{cp} - t_g) - 4,8 \right] \left(1,13 - 0,13 \frac{h}{d_n} \right) e^{a(s-0,1)/s^{0,954}}; \quad (17.5)$$

K_G, K_I и K_d - поправочные коэффициенты, учитывающие расход теплоносителя через трубы нагревательного элемента G , кг/ч, коэффици-

ент теплопроводности l , Вт/(м·°С) и толщину слоя бетона d , м, в который замоноличены трубы;

t_{cp} -средняя температура теплоносителя, °С;

$t_в$ -температура воздуха в помещении, °С;

h -расстояние от оси замоноличенной трубы до внутренней поверхности стены, м;

d_n -наружный диаметр замоноличенной трубы, м;

a -коэффициент, принимаемый в зависимости от диаметра труб нагревательного элемента: при $d_y=10, 15, 20$ мм коэффициент a соответственно равен 0,78; 0,9 и 0,95;

S -расчетная ширина поверхности теплоотдачи (шага) участка трубы нагревательного элемента, м, зависящая от расстояния C от оси рассчитываемого участка трубы нагревательного элемента до границы поверхности теплоотдачи.

Таблица 17.1

		Теплоотдача труб нагревательных элементов							
$t_{cp} - t_в, °C$	h/d	Теплоотдача, Вт/м, 1м труб диаметром, мм							
		15				20			
		при ширине поверхности S , мм							
		100	200	300	400	100	200	300	400
64,5	1	66,4	100,9	116,9	126,9	66,4	102,9	119,1	129,3
	1,5	62,1	94,4	109,3	118,6	62,1	97,7	113	122,7
	2	57,8	87,8	101,6	110,4	57,8	91,1	105,4	114,4
69,5	1	81,3	123,5	143	155,3	81,3	125,9	145,7	158,3
	1,5	76,1	115,6	133,9	145,3	76,1	119,6	138,4	150,1
	2	70,7	107,5	124,4	135,1	70,7	11,4	129	140

Для определения границ поверхности теплоотдачи различают следующие случаи расположения нагревательных элементов:

1. Рассматриваемая труба находится между двумя другими трубами (рис. 17.9, а). В этом случае значение C принимается равным половине среднего (с учетом уклонов) расстояния между осями двух смежных труб.

2. С одной или обеих сторон рассматриваемой трубы отсутствуют другие трубы (рис. 17.9, б). Значение C равно расстоянию от оси трубы до соответствующего торца наружной стеновой панели с учетом четвертей и ширины оконных (балконных) откосов от поверхности стены до оконных (балконных) коробок. Оконные откосы, изолированные деревянными подоконными досками, при определении C не учитываются.

3. Рассматриваемая труба находится в замыкающих участках П-образных контуров (рис. 17.9, в). Значение C внутри контура принимается равным 0,1 м.

Калачи змеевиков, отводы или отогнутые под прямым углом трубы нагревательных элементов (при условии, что длина этих труб не превышает 0,4 м) рассчитывают совместно с ближайшими участками нагревательного элемента (с одинаковым значением C , определенным для участка большей длины).

Максимальное значение C принимается равным 0,2 м, расстояние свыше 0,2 м не учитывается. При $C_1=C_2$; $S=C_1+C_2$; если C_1 и $C_2 \geq 0,2$ м (даже при $C_1 \neq C_2$) значение C принимается равным 0,4 м.

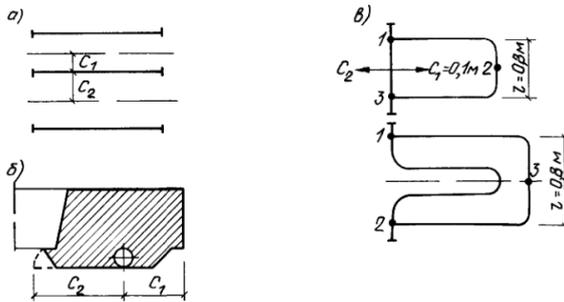


Рис. 17.9. Расчетные схемы нагревательного элемента для определения границ поверхности теплоотдачи: 1-2; 2-3; 1-3 – расчетные участки

Если труба расположена несимметрично относительно границ поверхности теплоотдачи (причем $C_1 \neq C_2$, а $C_2 < 0,2$ м), значение $q_{лиц1}$, Вт/м, определяется по формуле

$$q_{лиц1} = (q_{S1} + q_{S2}) / 2, \quad (17.6)$$

где q_{S1} и q_{S2} -теплоотдача, Вт/м, условных симметрично расположенных нагревательных элементов при $S_1=2C_1$ и $S_2=2C_2$.

Значения поправочных коэффициентов K_G , K_I и K_d определяют по рис. 17.10, 17.11 и по табл. 17.2.

Общая полезная теплоотдача $q_{пол}$, Вт/м, замоноличенного в наружную стену нагревательного элемента, определяется по формуле

$$q_{полі} = q_{лиці} + q_{mni}, \quad (17.7)$$

где q_{mni} - расчетные теплотери части наружной стены, прогреваемой 1 м нагревательного элемента, Вт/м,

$$q_{mni} = K_{cm} S (t_{г} - t_{н}); \quad (17.8)$$

K_{cm} - коэффициент теплопередачи участка наружной стены, в который замоноличены трубы, Вт/(м²·°C);

$t_{н}$ - расчетная температура наружного воздуха, °C.

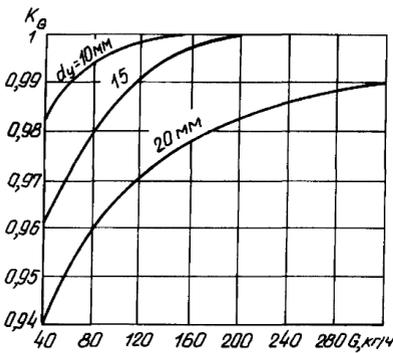


Рис. 17.10. Зависимость поправочного коэффициента K_G от расхода воды G при различных диаметрах труб нагревательных элементов

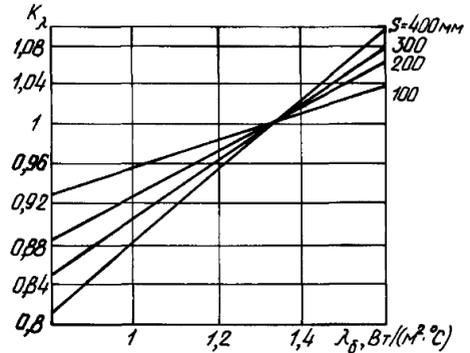


Рис. 17.11. Зависимость поправочного коэффициента K_I от теплопроводности бетона λ_g при различных расстояниях между трубами S

Суммарный расход теплоты $q_{общ}$, Вт/м, с учетом бесполезных потерь теплоты в сторону наружного воздуха составляет

$$q_{общі} = (1 - \bar{q}) q_{полі}, \quad (17.9)$$

где \bar{q} - относительная величина дополнительных потерь теплоты

$$\bar{q} = \frac{q_{тылі} - q_{mni}}{q_{полі}}; \quad (17.10)$$

$q_{\text{тыли}}$ - теплоотдача 1 м нагревательного элемента в сторону наружного воздуха, Вт/м.

Таблица 17.2

Значение поправочного коэффициента K_d на толщину слоя бетона

S , мм	h/d_H	Значения K_d при трубах d_y , мм						
		15			20			
		при толщине слоя бетона d , мм						
		90-70	60	50	40	90-70	60	50
100	1	1	0,99	0,98	0,97	1	0,99	0,98
	1,5	1	0,99	0,98	–	1	–	–
	2	1	–	–	–	1	–	–
200	1	1	0,98	0,97	0,96	1	0,97	0,95
	1,5	1	0,91	0,90	–	1	–	–
	2	1	–	–	–	1	–	–
300	1	0,99	0,97	0,95	0,95	0,98	0,96	0,94
	1,5	0,99	0,91	0,89	–	0,98	–	–
	2	0,98	–	–	–	0,97	–	–
400	1	0,97	0,95	0,92	0,91	0,97	0,94	0,91
	1,5	0,97	0,87	0,86	–	0,96	–	–
	2	0,96	–	–	–	0,96	–	–

Значение q при применении трехслойных наружных панелей определяют по рис. 17.12; оно, как правило, не должно превышать 0,1.

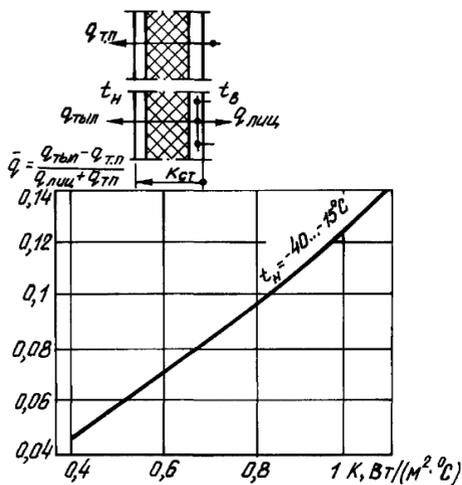


Рис. 17.12. Зависимость относительных дополнительных потерь тепла \bar{q} от коэффициента теплопередачи наружной стены $K_{\text{ст}}$

Общая полезная теплоотдача всех нагревательных элементов, замонтированных в наружную стену, $Q_{\text{пол}}$, Вт, составляет

$$Q_{\text{пол}} = \sum_1^n q_{\text{пол}i} l_{\text{эл}i}, \quad (17.11)$$

где $l_{\text{эл}i}$ - общая длина i -го нагревательного элемента, м.

17.5. Расчет систем напольного отопления

Средняя разность температур в системе отопления определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = [(t_{\text{г}} + t_{\text{о}}) / 2] - t_{\text{р}}, \quad (17.12)$$

где $t_{\text{г}}, t_{\text{о}}$ - соответственно температуры воды на входе и выходе из контура напольного отопления, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{р}}$ - расчетная температура воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$.

Тепловой поток контура Q , Вт, напольного отопления определяется из выражения

$$Q=q \cdot F_t, \quad (17.13)$$

где q – удельная теплоотдача контура, определяемая по номограммам Д1, Д2, Д3 и Д4 приложения Д [14], Вт/м²;

F_t – площадь, занимаемая контуром напольного отопления, м².

Расход теплоносителя G , кг/ч, в расчетном контуре напольного отопления определяется по формуле

$$G=3,6 \frac{Q}{c \cdot \Delta t}, \quad (17.14)$$

где c – массовая теплоемкость воды, кДж/(кг·°С);

$\Delta t=(t_z - t_o)$ – расчетная разность температур подающего и обратного теплоносителя, °С

Длина трубопровода контура L , м, определяется по формуле

$$L=\frac{F_t}{\epsilon}, \quad (17.15)$$

где F_t – то же, что в формуле (17.13);

ϵ – шаг укладки трубопроводов контура напольного отопления, м.

Гидравлическое сопротивление контура

$$\Delta P_t=1,3LR, \quad (17.16)$$

где R – удельная потеря давления на трение трубы, применяемой для напольного отопления, Па/м.

17.6. Преимущества и недостатки, область применения систем панельно-лучистого отопления

К преимуществам систем панельно-лучистого отопления относят:

– экономия места, занимаемого отопительными приборами (это преимущество характерно для систем с совмещенными отопительными панелями);

– повышенные температуры внутренних поверхностей ограждений и небольшие температуры на теплоотдающих поверхностях;

- экономия металла;
- индустриальность монтажа (это преимущество характерно для систем с совмещенными отопительными панелями);
- легкость очистки поверхности теплоотдачи от пыли;
- улучшение интерьера помещений.

Основными недостатками систем панельно-лучистого отопления являются:

- облучение мебели и других предметов (их порча);
- возможность внутренней коррозии и нарушения гидравлической плотности для осмотра труб;
- большая тепловая инерция систем, осложняющая их регулировку;
- опасность засорения труб;
- невозможность изменения поверхности нагрева;
- сложность ремонта (неремонтопригодность).

Область применения систем панельно-лучистого отопления определена в Приложении Л [1]. Анализ этого приложения показывает, что водяное отопление с нагревательными элементами, встроенными в наружные стены, перекрытия и полы рекомендуется устраивать во всех помещениях за исключением торговых залов, помещений для обработки и хранения материалов, содержащих легковоспламеняющиеся жидкости, производственных помещений категории А, Б, В1+В4 и категорий Г1, Г2 и Д, если в последних имеют место значительные влаговыведения. Напольное панельно-лучистое отопление необходимо обязательно предусматривать на первом этаже в помещениях групповых всех типов детских дошкольных учреждений, а также в спальнях и в раздевальных учреждениях для детей с нарушением опорно-двигательного аппарата.

В больницах и поликлиниках в качестве отопительных приборов в помещениях операционных, предоперационных, реанимационных, наркозных, родовых, электросветолечения и психиатрических отделений, а также в палатах интенсивной терапии и послеоперационных палатах следует применять бетонные панели, размещенные под окнами.