



# РЕКОМЕНДАЦИИ АВОК

## СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ПОТОЛОЧНЫМИ ПОДВЕСНЫМИ ИЗЛУЧАЮЩИМИ ПАНЕЛЯМИ

ISBN 978-5-98267-058-8

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО  
«Инженеры по отоплению, вентиляции,  
кондиционированию воздуха, теплоснабжению  
и строительной теплофизике» (НП «АВОК»)  
[www.abok.ru](http://www.abok.ru)

## Предисловие

Сведения о рекомендациях

1 РАЗРАБОТАНЫ творческим коллективом специалистов некоммерческого партнерства «Инженеры по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике» (НП «АВОК»):

Ю. Я. Кувшинов (НП «АВОК») – руководитель;

А. В. Баранов (ООО «Цендер ГмбХ»);

Н. В. Шилкин, канд. техн. наук (МАрхИ).

2 УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ приказом Президента НП «АВОК» от XXXX 2009 г.

3 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ.

© ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС», 2009

Настоящий документ является интеллектуальной собственностью ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС» и не может быть полностью или частично воспроизведен без официального разрешения ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС».

## Содержание

Введение .....	IV
1 Область применения .....	1
2 Нормативные ссылки .....	1
3 Термины и определения .....	1
4 Технические особенности систем отопления с панелями .....	3
5 Конструкция панелей .....	3
5.1 Устройство отдельного модуля панели .....	3
5.2 Габариты и монтажные размеры панели .....	4
5.3 Поверхность панели .....	4
5.4 Специальное исполнение панелей .....	4
5.5 Теплоизоляция верхней части панелей .....	4
6 Расположение панелей .....	4
7 Подключение панелей .....	4
8 Гидравлическая балансировка панелей .....	5
9 Регулирование теплоотдачи панелей .....	7
10 Монтаж панелей .....	7
10.1 Способы монтажа панелей .....	7
10.2 Соединение отдельных модулей .....	7
11 Общие требования к проектированию систем панельно-лучистого отопления .....	7
12 Требования к комфортности тепловой обстановки в помещении при отоплении панелями .....	10
13 Теплоотдача панелей .....	12
14 Рекомендации по гидравлическому расчету панелей .....	13
15 Оценка тепловых условий в помещении с панелями .....	14
Приложение А (справочное) Габариты и монтажные размеры панелей Zehnder ZBN .....	16
Приложение Б (справочное) Технические данные панелей Zehnder ZBN .....	19
Приложение В (справочное) Технические данные и теплоотдача панелей Zehnder ZIP .....	20
Приложение Г (справочное) Теплоотдача панелей Zehnder ZBN .....	22
Приложение Д (справочное) Данные по гидравлическим потерям панелей и подводящих трубопроводов панелей Zehnder .....	25
Приложение Е (справочное) Пример подбора и расчета панелей .....	27
Приложение Ж (обязательное) Уточненный метод расчета теплоотдачи панели и тепловых условий в помещении .....	30
Библиография .....	33

## Введение

Отопительные панели – один из наиболее комфортных видов обогрева помещения. Панели представляют собой конструкцию из греющих элементов змеевиковой и регистравой формы, по которым движется теплоноситель. Используют панели двух типов:

- совмещенные с ограждающими конструкциями здания. В панелях этого типа греющие элементы замоноличивают в наружные стены, перекрытия, внутренние перегородки;
- подвесные, или приставные. Панели этого типа представляют собой отдельную конструкцию, жестко прикрепленную к ограждающим конструкциям здания. Греющие элементы плотно примыкают к теплоотдающей поверхности. С тыльной стороны панель покрывают теплоизоляцией.

Потолочные подвесные излучающие панели обладают следующими преимуществами перед совмещенными:

- имеют малую тепловую инерционность;
- способствуют улучшению звукоизоляции помещения;
- пространство над панелями можно использовать для размещения воздуховодов, трубопроводов и кабелей;
- ремонт и обслуживание панелей осуществляют без вскрытия конструкции.

Характеристики потолочных подвесных излучающих панелей заводской готовности определяются их конструкцией и моделью. В настоящих рекомендациях в качестве примера рассматриваются потолочные подвесные излучающие панели фирмы Zehnder (приложения А–Е).

# РЕКОМЕНДАЦИИ АВОК

## СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ПОТОЛОЧНЫМИ ПОДВЕСНЫМИ ИЗЛУЧАЮЩИМИ ПАНЕЛЯМИ

### RADIANT HEATING CEILING PANEL SYSTEMS

Дата введения – 2009-XX-XX

#### 1 Область применения

1.1 Настоящие рекомендации распространяются на проектирование и монтаж систем отопления с потолочными подвесными излучающими панелями (далее – панели) двух типов:

- из отдельных модулей стандартных ширины и длины;
- из сблокированных модулей стандартной ширины и произвольной длины.

1.2 Панели используют для отопления помещений любого типа высотой от 3 до 30 м: помещений для технического обслуживания судов, самолетов и автомобилей; производственных помещений в машиностроительной, электронной, деревообрабатывающей и керамической отраслях промышленности; многоэтажных хранилищ и складов; торговых залов и универсагов; выставочных центров; пожарных депо; гаражей; спортивных залов; центров отдыха и т. д.

1.3 Панели устанавливают под потолком помещения. Панели занимают минимальное пространство, и их конструкция позволяет быстро осуществлять монтаж.

1.4 Максимальное рабочее давление теплоносителя для панелей составляет до 10 бар в зависимости от производителя и модельного ряда.

1.5 Панели используют, как правило, в системах отопления с температурой теплоносителя до 95 °С.

#### 2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 12.1.005–88\* Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 30494–96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях

СНиП 2.08.02–89\* Общественные здания и сооружения

СНиП 41-01–2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование

СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

НПБ 105–2003 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

#### 3 Термины и определения

В настоящих рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **добавочные теплопотери:** Надбавки в виде процентов к основным теплопотерям через вертикальные наружные ограждения.

3.2 **комфортность тепловой обстановки:** Тепловые условия в помещении, при которых человек не испытывает чувства перегрева или переохлаждения.

Примечание – Комфортность тепловой обстановки достигается определенным уровнем и соотношением лучистой, конвективной и за счет испарения влаги теплоотдачи организмом человека.

**3.3 комфортные параметры микроклимата:** Комплекс численных значений температуры воздуха, радиационной температуры, подвижности и влажности воздуха, обеспечивающих комфортность тепловой обстановки в помещении.

**3.4 конвективная теплоотдача организма человека:** Тепловой поток, передаваемый поверхностью организма человека воздуху помещения за счет испарения теплоты, затрачиваемой на испарение жидкости с поверхности организма человека.

**3.5 конвективная теплоотдача панели:** Теплоотдача теплоотдающей поверхности в воздух помещения за счет естественной конвекции.

**3.6 локальная асимметрия результирующей температуры:** Разность результирующих температур в точке помещения, определенных шаровым термометром для двух противоположных направлений.

[ГОСТ 30494–96, пункт 2]

**3.7 лучистая теплоотдача организма человека:** Тепловой поток, передаваемый поверхностью организма человека в сторону окружающих поверхностей в помещении.

**3.8 лучистая теплоотдача панели:** Теплоотдача теплоотдающей поверхности в сторону помещения за счет излучения.

**3.9 микроклимат помещения:** Состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха.

[ГОСТ 30494–96, пункт 2]

**3.10 основные теплопотери:** Потери теплоты через наружные ограждения за счет разности внутренней и наружной температуры.

**3.11 подвижность воздуха:** Средняя или локальная скорость движения воздуха в пределах обслуживаемой зоны помещения измеренная или принятая по нормам.

**3.12 потолочная подвесная излучающая панель:** Отопительный прибор, устройство для передачи теплоты в помещение от циркулирующего теплоносителя.

Примечание – Панель имеет теплоотдающую поверхность, обращенную в сторону пола, жестко прикреплена к потолочной конструкции.

**3.13 обслуживаемая зона помещения:** Пространство в помещении, ограниченное плоскостями, параллельными полу и стенам: на высоте 0,1 и 2,0 м над уровнем пола (но не ближе чем 1,0 м от потолка при потолочном отоплении), на расстоянии 0,5 м от внутренних поверхностей наружных и внутренних стен, окон и отопительных приборов.

[ГОСТ 30494–96, пункт 2]

**3.14 радиационная температура помещения:** Осредненная по площади (по коэффициентам облученности) температура внутренних поверхностей ограждений помещения и отопительных приборов.

[ГОСТ 30494–96, пункт 2]

**3.15 результирующая температура помещения:** Комплексный показатель радиационной температуры помещения и температуры воздуха помещения.

[ГОСТ 30494–96, пункт 2]

**3.16 система панельно–лучистого отопления:** Система отопления с отопительными приборами в виде панелей.

**3.17 средняя температура поверхности панели:** Осредненная по площади теплоотдающей поверхности панели температура, определяющая суммарную теплоотдачу панели.

**3.18 средняя температура теплоносителя:** Среднеарифметическая температура воды на входе и выходе из панели.

**3.19 суммарная теплоотдача панели:** Отдача теплоты теплоотдающей поверхности.

**3.20 температура воздуха в помещении:** Средняя или локальная температура воздуха в пределах обслуживаемой зоны помещения, измеренная или принятая по нормам.

**3.21 температура горячей воды:** Температура теплоносителя на входе в панель.

**3.22 температура обратной воды:** Температура теплоносителя на выходе из панели.

**3.23 тепловая нагрузка на систему отопления:** Сумма теплопотерь помещения, равная требуемой тепловой мощности системы отопления.

**3.24 теплозащита одежды:** Показатель, численно оцениваемый величиной сопротивления теплопередаче, которая в зарубежных нормах исчисляется с помощью единицы clo ( $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ м}^2 \cdot \text{С/Вт}$ ).

**3.25 теплоноситель:** Вода, проводящая теплоту к панелям и циркулирующая в системе отопления.

**3.26 теплоотдача панели в стандартных условиях:** Измеренная величина теплоотдачи той или иной панели при определенных условиях, определяемых, например, по [1].

**3.27 теплоотдающая поверхность панели:** Нагреваемая теплоносителем поверхность панели, обращенная в сторону пола помещения.

**3.28 теплопотери от инфильтрации:** Потери теплоты на нагревание наружного воздуха, фильтрующегося в помещение через притворы окон.

**3.29 шаровой термометр:** Тонкостенная полая сфера, моделирующая комплексное влияние температуры воздуха, радиационной температуры и подвижности воздуха в помещении.

## 4 Технические особенности систем отопления с панелями

4.1 Панели существенную часть теплоты передают в помещение посредством излучения; остальная часть передается за счет конвекции.

Основным теплоносителем в системе является вода, которая передает теплоту поверхности панели. Теплоотдающая поверхность, в свою очередь, передает теплоту помещению, которая обогревает его.

4.2 Преимущество системы заключается в непосредственной передаче теплоты поверхностям в помещении (в том числе поверхности организма человека) без нагрева воздуха помещения. Тепловые условия помещения определяются теплообменом организма человека с окружающими поверхностями. В помещении с холодными стенами и полом лучистая теплоотдача организма человека очень высока, и результирующая температура помещения ощущается как слишком низкая. Избыточная величина теплоотдачи может быть компенсирована за счет повышения температуры воздуха или внутренних поверхностей помещения. При отоплении с помощью панелей обогрев помещения осуществляют за счет повышения температуры внутренних поверхностей.

4.3 Более высокая степень комфортности тепловой обстановки в помещении достигается за счет следующих мероприятий:

- повышения уровня радиационной температуры помещения. Это позволяет понизить температуру воздуха и, следовательно, улучшить конвективную теплоотдачу организмом человека, что при повышенной теплозащите одежды (в холодное время года) воспринимается человеком комфортно;
- равномерного распределения температуры воздуха по высоте помещения (рисунок 1) и отсутствия перегрева верхней зоны и недогрева нижней зоны помещения, что наблюдается при отоплении с помощью нагрева воздуха помещения (рисунок 2).

## 5 Конструкция панелей

### 5.1 Устройство отдельного модуля панели

5.1.1 Панель состоит из профилированной стальной теплоотдающей поверхности, к которой посредством сварки, гарантирующей максимальную теплопередачу, приварены трубы из стали. Зиговка теплоотдающей поверхности в точности повторяет форму труб, проводящих теплоноситель.

5.1.2 Коллекторы выполнены, как правило, из трубы квадратного сечения. Их оснащают необходимыми для подключения патрубками и заглушками.

5.1.3 Профилирование теплоотдающей поверхности служит для увеличения жесткости панели, что позволяет располагать оси подвеса панели (стационарные или подвижные) на расстоянии 3 000 мм

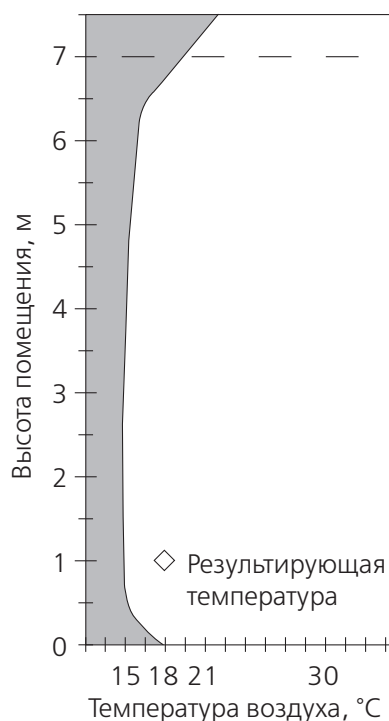


Рисунок 1 – Профиль температуры в помещении, отапливаемом панелями (◇ – температура на высоте 1 м от пола помещения, измеренная шаровым термометром)

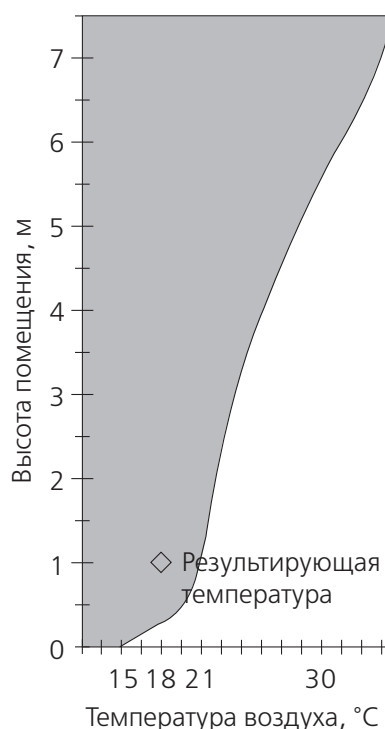


Рисунок 2 – Профиль температуры в помещении, отапливаемом воздушной системой (◇ – температура на высоте 1 м от пола, измеренная шаровым термометром)

друг от друга без уменьшения стабильности положения панели.

5.1.4 Верхняя отбортовка теплоотдающей поверхности также увеличивает статическую жесткость панели. Кроме этого, она служит для закрепления термоизоляции. Термоизоляция позволяет направить вниз весь поток излучения и способствует поглощению шума. Наиболее эффективны с точки зрения защиты от шума панели с перфорированной теплоотдающей поверхностью.

## 5.2 Габариты и монтажные размеры панели

5.2.1 Панели имеют ряд стандартной монтажной ширины.

5.2.2 Панели составляют из отдельных модулей длиной от 2 000 до 7 500 мм, расположенных друг за другом. Отдельные модули соединяют посредством сварки или пресс-фитингов. Места соединения закрывают декоративными крышками. Общая длина одной панели составляет не более 120 000 мм.

5.2.3 Максимальное расстояние между осями подвеса – 3 000 мм. Максимальное расстояние между коллектором и первой осью подвеса – 500 мм. Максимальное расстояние между соединением модулей и осью подвеса – 1 500 мм.

5.2.4 Панели длиной до 25 000 мм с максимальной рабочей температурой 95 °С и максимальной разностью температуры 20 °С могут быть подключены параллельно (с одного конца). При этом расстояние до перекрытия должно обеспечивать тепловое расширение панели.

Габаритные и монтажные размеры, а также технические характеристики панелей Zehnder приведены соответственно в приложениях А, Б, В.

## 5.3 Поверхность панели

Поверхность панели может быть гладкой или перфорированной. В обоих случаях теплоотдающую поверхность окрашивают порошковой эмалью с последующей полимеризацией при высокой температуре. Обработку поверхности производят из расчета на работу при температуре 95 °С.

## 5.4 Специальное исполнение панелей

5.4.1 Панели могут быть выполнены с прерывистой теплоотдающей поверхностью для беспрепятственного проникновения дневного света через фонари верхнего света.

5.4.2 Коллекторы панелей могут быть закрыты декоративной крышкой, если важна эстетика помещения.

5.4.3 В панелях предусмотрены отверстия под встраиваемое оборудование: светильники различной формы, пожарные датчики, динамики и т. п.

5.4.4 Существуют панели со срезанной под углом теплоотдающей поверхностью. Их используют для максимального соответствия архитектонике помещения.

5.4.5 В некоторых случаях из гигиенических соображений целесообразно использовать дополни-

тельную пластину, защищающую поверхность панели от пыли.

5.4.6 Панели, используемые в спортивных залах, могут быть оснащены решеткой, которая защищает их от удара мячом.

## 5.5 Теплоизоляция верхней части панелей

5.5.1 В качестве теплоизоляции используют слой теплоизоляционного материала, как правило, толщиной 40 мм, с удельной теплопроводностью приблизительно 0,04 Вт/(м · °С) и плотностью около 25 кг/м<sup>3</sup>, покрытый с верхней стороны алюминиевой фольгой.

5.5.2 Ширина теплоизоляции должна соответствовать ширине панели.

5.5.3 Все швы и соединения следует прокладывать алюминиевой фольгой.

## 6 Расположение панелей

6.1 При использовании панелей тепловое излучение направляется в помещение сверху вниз. Равномерность распределения теплоты в помещении зависит от размеров помещения, температуры поверхности, площади теплоотдающей поверхности и расположения панелей.

Особенности расположения панелей:

- несколько рядов панелей располагают параллельно длинным наружным стенам, по одному ряду панелей – у остальных наружных стен;
- расстояние от наружной стены до ближайшей к ней панели должно составлять менее 0,25 высоты от пола до панели;
- расстояние между центральными осями панелей должно соответствовать расстоянию от пола до панели;
- панели большей ширины следует располагать вдоль наружных стен, в центре помещения – панели меньшей ширины (компенсация по наружным ограждениям);
- для уменьшения инвестиционных затрат рекомендуется использовать панели большей длины.

6.2 Если в помещении имеется другой вид отопления, то с помощью панелей можно при необходимости повысить температуру в отдельной части помещения. Обогрев отдельной части помещения с соблюдением условий комфортности тепловой обстановки при отсутствии основного отопления невозможен.

## 7 Подключение панелей

7.1 При свободном расположении панелей рекомендуют асимметричное подключение (рисунки 3а, 4).

7.2 При установке панелей в подвесном потолке рекомендуют симметричное подключение с целью обеспечения равномерного теплового расширения панелей (рисунки 3б, 4).



7.3 Одностороннее и разностороннее подключение обычно определяют исходя из конструктивных условий и расположения подвода теплоносителя.

7.4 Число труб определяют в соответствии с необходимым для данной панели расходом теплоносителя.

## 8 Гидравлическая балансировка панелей

8.1 В любой разветвленной системе отопления для эффективной работы необходимо правильное распределение потока теплоносителя. Кроме того,

необходимо наличие возможности отдельного заполнения, опорожнения и отключения любой панели от системы.

8.2 Для систем с использованием однотипных панелей и, соответственно, с одинаковым расходом теплоносителя на панель целесообразно применение системы с попутным движением теплоносителя (рисунок 5). При этом необходим дополнительный трубопровод.

Систему с попутным движением теплоносителя не следует применять в случае использования панелей различных типов и длин.

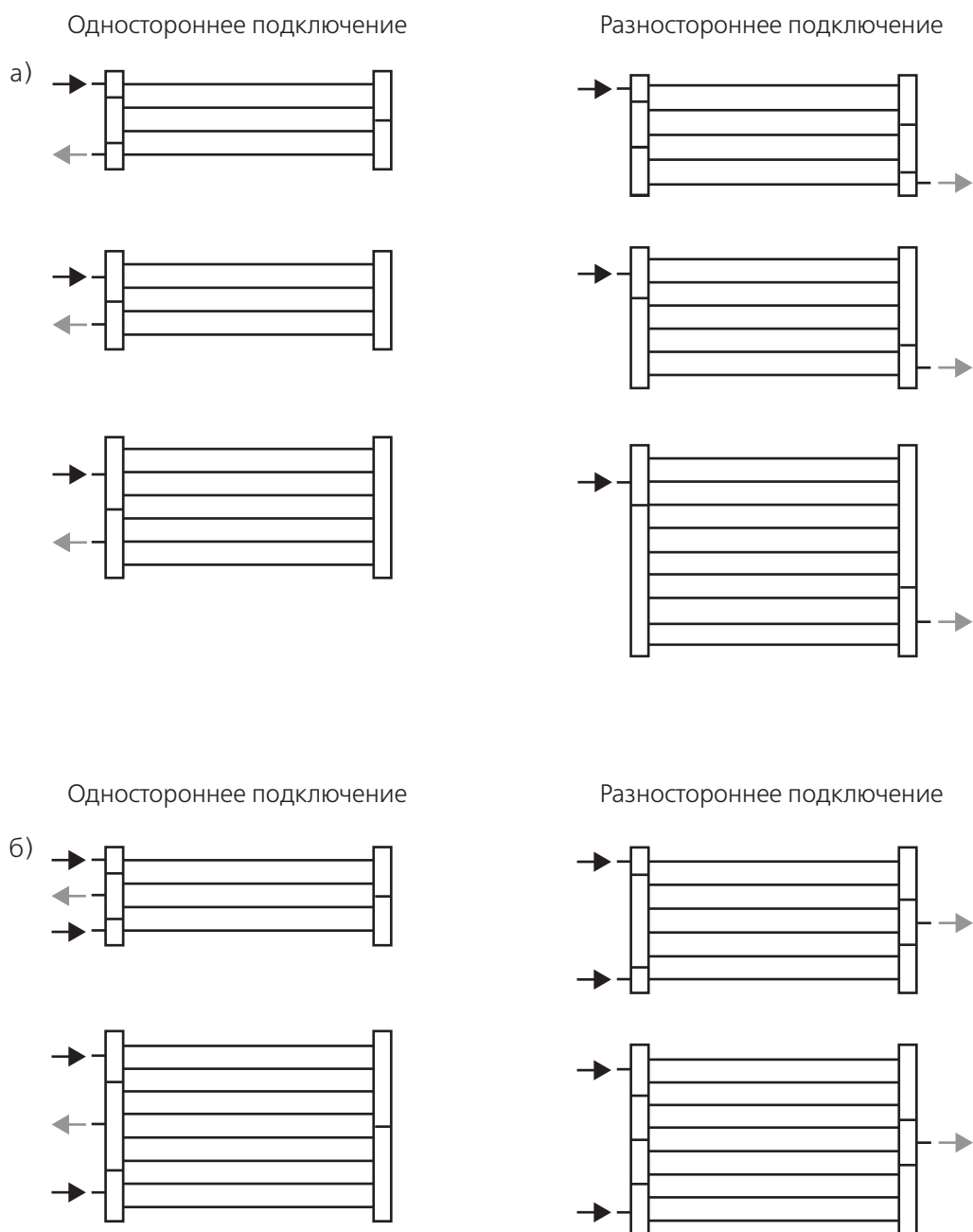


Рисунок 3 – Схемы подключения панелей из отдельных модулей: а – ассиметричное подключение; б – симметричное подключение

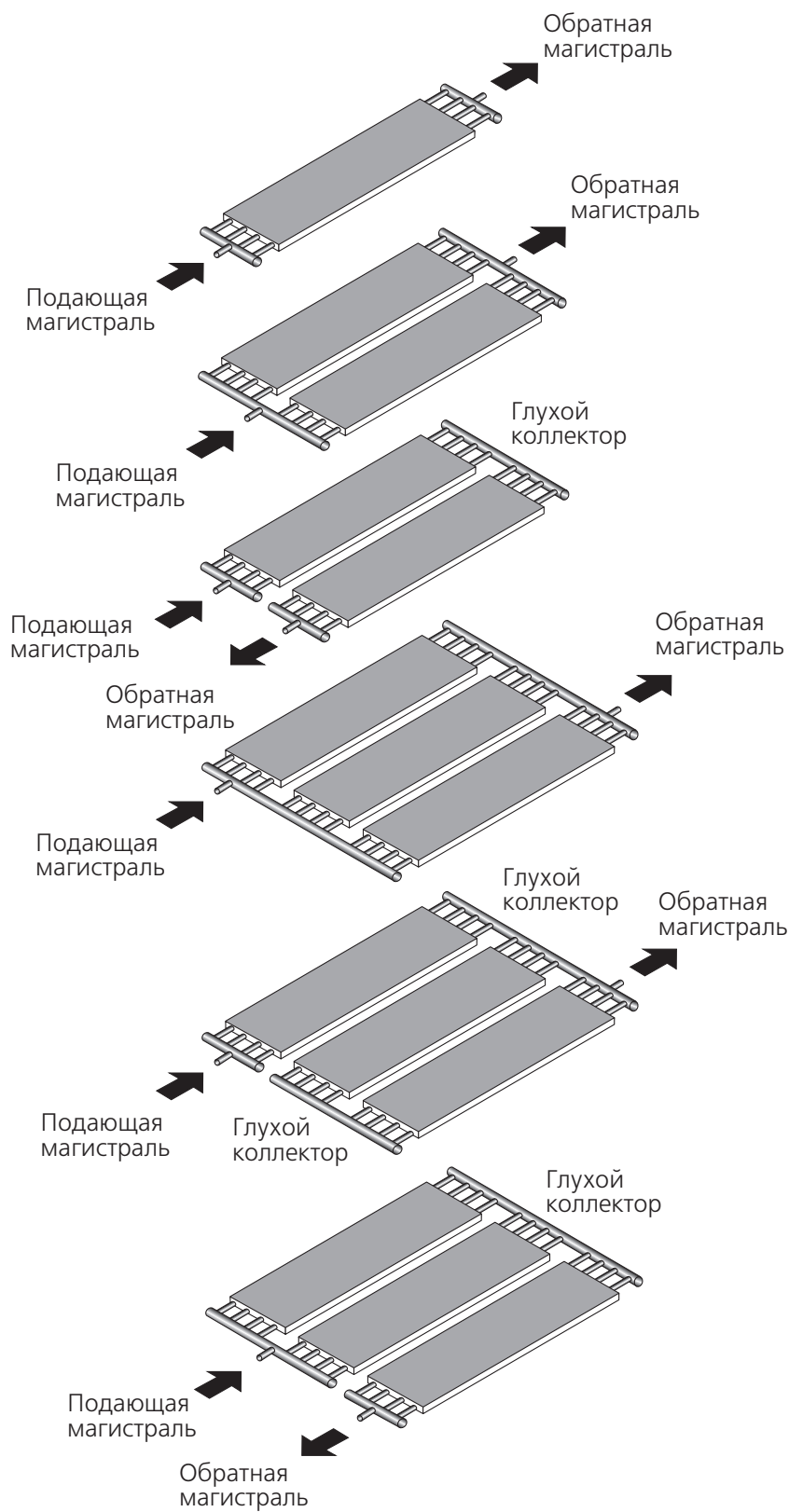


Рисунок 4 – Схемы соединения и подключения заблокированных панелей к теплоносителю

8.3 При расчете систем, в которых применяются панели различных типов и, следовательно, мощности, необходима гидравлическая балансировка за счет расчета трубопровода и регулировки системы. Использование регуляторов расхода (рисунок 6) для гидравлической балансировки значительно упрощает весь процесс.

Комплект для регулирования расхода состоит из регулятора потока, шаровых кранов и кранов для заполнения/опорожнения панели. Коллектор панели изготавливают с патрубками необходимого диаметра для подключения при монтаже комплекта.

8.4 Регулятор настраивают на заводе на определенный расход, заданный для каждой панели. При достаточно высоких потерях давления и постоянном расходе теплоносителя регулятор позволяет выполнить гидравлическую балансировку панелей различных типов и длин.

## 9 Регулирование теплоотдачи панелей

9.1 Использование системы панелей возможно в помещениях с существенно изменяющейся тепловой нагрузкой. Схемы и состав регуляторов теплоотдачи панелей приведены на рисунке 7.

9.2 Результирующую температуру помещения следует измерять шаровым термометром. В качестве датчиков тепловых условий в помещении при отоплении панелями обычно используют серийные полусферические настенные датчики, измеряющие результирующую температуру помещения в зоне установки.

## 10 Монтаж панелей

### 10.1 Способы монтажа панелей

Возможные способы монтажа панелей представлены на рисунке 8.

Подвеску панелей осуществляют двумя способами: с подвижной и стационарной осями подвеса. Использование подвижных осей подвеса позволяет передвигать ось подвеса на некоторое расстояние вправо или

влево по длине панели в соответствии с конструктивными особенностями помещения.

В случае использования стационарных осей подвеса точки подвеса расположены в определенных местах на панели и не могут передвигаться.

### 10.2 Соединение отдельных модулей

Соединение посредством сварки применяется при любой температуре теплоносителя, размерах панелей и видах подключения. Трубы панелей стыкуются точно друг напротив друга и свариваются попеременно с двух сторон в направлении от крайних труб к центральным.

Применение пресс-фитингов для соединения панелей имеет ряд ограничений, связанных с действием сил, возникающих при тепловом расширении панели и приводящих при длительном использовании к неплотности соединения.

## 11 Общие требования к проектированию систем панельно-лучистого отопления

11.1 Системы отопления должны быть рассчитаны на обеспечение в отапливаемых помещениях при расчетных параметрах наружного воздуха для соответствующих районов строительства и в течение отопительного периода температуры внутреннего воздуха в допустимых пределах, установленных в ГОСТ 30494–96 для жилых и общественных зданий и в ГОСТ 12.1.005–88\* для административно-бытовых и производственных зданий, а также с учетом требований СНиП 41-01-2003.

11.2 Температуру теплоносителя следует принимать не менее чем на 20 % ниже температуры самовоспламенения веществ, находящихся в помещении. Горячие поверхности отопительного и вентиляционного оборудования, трубопроводов и воздухопроводов, размещаемых в помещениях, в которых они создают опасность воспламенения газов, паров, аэрозолей или пыли, следует изолировать, предусматривая температуру на поверхности теплоизоляционной

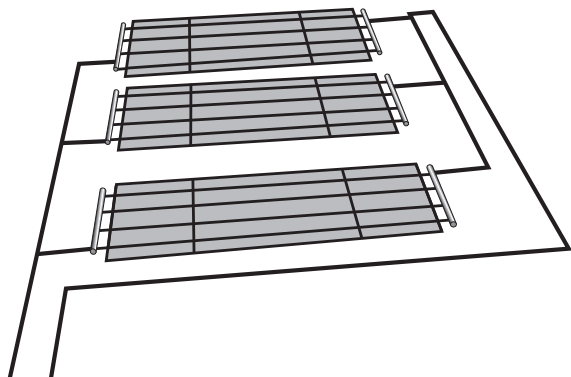


Рисунок 5 – Прокладка трубопровода с попутным движением теплоносителя

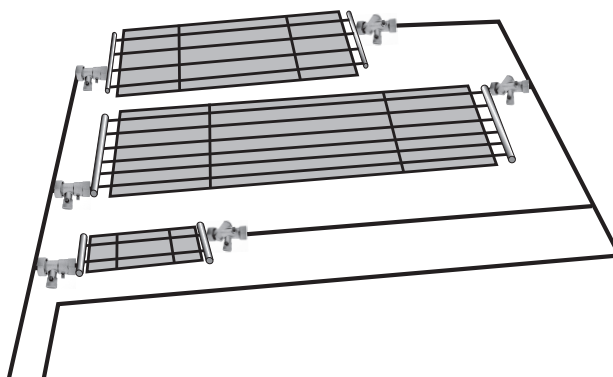
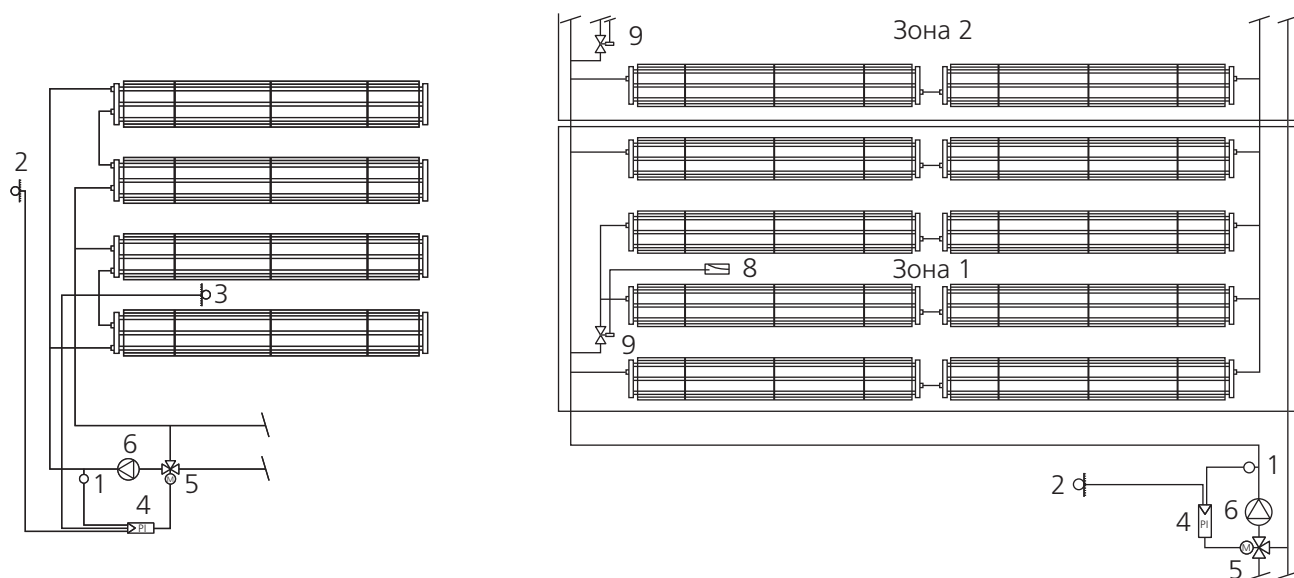


Рисунок 6 – Вариант прокладки трубопровода с подключением регуляторов расхода



Регулирование температуры подающей магистрали с компенсацией температуры воздуха в помещении в зависимости от изменения наружной температуры: составляющие системы:

1 – датчик температуры подающей магистрали; 2 – датчик наружной температуры; 3 – датчик температуры в помещении; 4 – регулятор температуры подающей магистрали с компенсацией температуры в помещении в зависимости от изменения наружной температуры; 5 – исполнительный элемент; 6 – циркуляционный насос

Зональное регулирование, позволяющее отключить отдельные панели от общей системы (при наличии регулятора температуры подающей магистрали в зависимости от изменения наружной температуры): предварительное регулирование:

1 – датчик температуры подающей магистрали; 2 – датчик наружной температуры; 3 – датчик климатических условий; 4 – регулятор температуры подающей магистрали; 5 – исполнительный элемент; 8 – комнатный термостат или электронный двухточечный регулятор



Регулирование температуры подающей магистрали на основании заданного значения температуры воздуха в помещении (при наличии регулятора температуры подающей магистрали в зависимости от изменения наружной температуры): предварительное регулирование:

3 – датчик температуры в помещении; 5 – исполнительный элемент; 7 – регулятор температуры в помещении;

регулирование температуры в помещении:

1 – датчик температуры подающей магистрали; 2 – датчик наружной температуры; 3 – датчик климатических условий; 4 – регулятор температуры подающей магистрали; 5 – исполнительный элемент

Рисунок 7 – Схемы и состав регуляторов теплоотдачи панелей

конструкции не менее чем на 20 % ниже температуры их самовоспламенения.

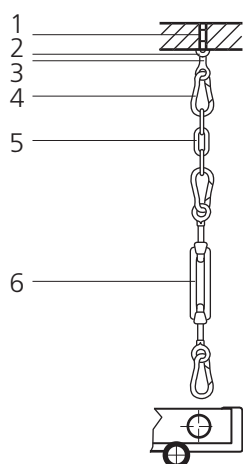
Отопительное и вентиляционное оборудование, трубопроводы и воздуховоды не следует размещать в указанных помещениях, если отсутствует техническая возможность снижения температуры на поверхности изоляции до указанного уровня.

11.3 Температуру поверхности панелей для обогрева отдельных рабочих мест не следует принимать выше 60 °С.

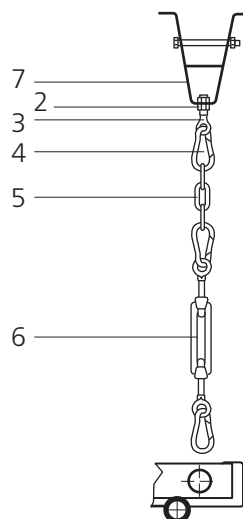
11.4 Система отопления должна быть рассчитана на постоянное рабочее давление теплоносителя, но не менее 0,4 МПа при расчетной температуре теплоносителя. Пробное давление воды превышает рабочее давление в системе отопления в 1,5 раза, но не менее 0,6 МПа при постоянной температуре воды 95 °С.

Система считается выдержавшей испытание, если в течение 5 мин, когда она находится под пробным давлением, потери давления не превысят 0,02 МПа и будет отсутствовать тяга в сварных швах, трубах,

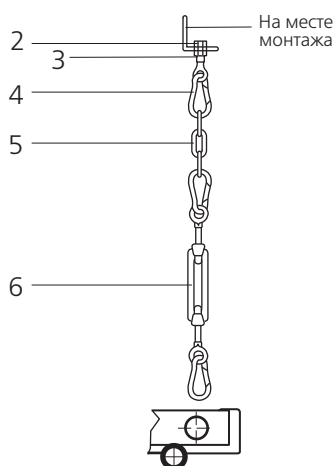
Крепление к бетонному потолку



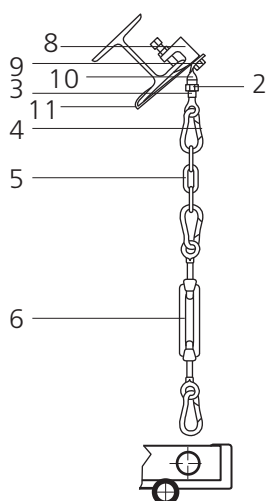
Крепление к стальному листу трапециевидного профиля



Крепление к стальному профилю



Крепление к наклонной стальной балке



Крепление к горизонтально расположенной стальной балке

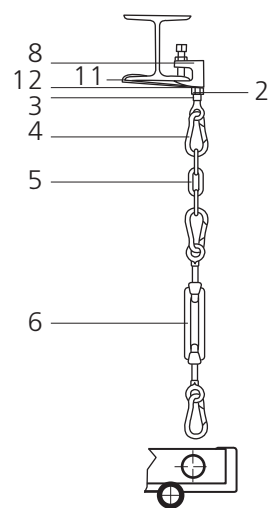


Рисунок 8 – Варианты монтажа панелей:

1 – стальной забивной дюбель; 2 – шестигранная гайка; 3 – рым-болт; 4 – карабин; 5 – цепь; 6 – стяжная муфта с двумя проушинами; 7 – кронштейн трапециевидного сечения; 8 – струбцина; 9 – шестигранный болт; 10 – болт с плоской головкой; 11 – предохранительная скоба; 12 – шайба

резьбовых соединениях, арматуре, отопительных приборах и оборудовании.

11.5 Комфортные параметры микроклимата при использовании систем панельно-лучистого отопления следует принимать по ГОСТ 30494–96 и СНиП 41-01–2003. Результирующую температуру помещения при использовании систем панельно-лучистого отопления на постоянных рабочих местах принимают равной нормируемой температуре воздуха в обслуживаемой зоне помещения. При этом температура воздуха в обслуживаемой зоне помещения не должна быть более чем на 3 °С ниже результирующей температуры помещения, а поверхностная плотность лучистого теплового потока на рабочем месте не должна превышать 35 Вт/м<sup>2</sup>.

## 12 Требования к комфортности тепловой обстановки в помещении при отоплении панелями

12.1 Комфортность тепловой обстановки в помещении при отоплении панелями оценивают по следующим факторам:

- комфортное сочетание температуры воздуха и радиационной температуры помещения;
- максимально допустимая температура поверхности панели;
- локальная асимметрия результирующей температуры нагретых и охлажденных поверхностей помещения, окружающих человека.

12.2 Комфортное сочетание температуры воздуха  $t_b$ , °С, и радиационной температуры помещения  $t_r$ , °С, для отопления помещения панелями определяют зависимостью

$$t_r = c - dt_b, \quad (1)$$

где  $c$  и  $d$  – расчетные коэффициенты; их значения приведены в таблице 1.

Температуру воздуха  $t_b$ , °С, принимают на 1–2 °С ниже расчетной результирующей температуры помещения  $t_n$ , °С, которую определяют по формуле

$$t_n = 0,5(t_b + t_r), \quad (2)$$

где  $t_r$  – то же, что в формуле (1).

Расчетная результирующая температура помещения не должна выходить за допустимый диапазон относительно расчетного значения, принимаемого по 11.5.

12.3 Максимальное и минимальное допустимые значения результирующей температуры помещения определяют по допустимому отклонению исходя из данных, представленных на рисунке 9 [2]. Эти данные можно также использовать в качестве рекомендаций по выбору комфортной результирующей температуры помещения для различной категории тяжести работы и уровней теплозащиты одежды.

12.4 Максимально допустимую температуру поверхности панели определяют исходя из положения о допустимом (положительном) балансе лучистой теплоты на поверхности головы человека, который не должен превышать 12 Вт/м<sup>2</sup>.

Таблица 1

Вид одежды	Степень тяжести выполняемой работы	Температура воздуха в помещении $t_b$ , °С	Коэффициент $c$	Коэффициент $d$
Легкая	Состояние покоя	15–25	65,0	1,4
	Средняя	15–25	47,0	1,2
	Высокая	10–20	38,5	1,7
Нормальная	Состояние покоя	15–25	67,0	1,5
	Средняя	10–20	43,0	1,1
	Высокая	5–10	22,5	1,9
Теплая	Состояние покоя	10–20	54,0	1,8
	Средняя	5–15	29,5	1,7

Примечание – Значения коэффициентов  $c$  и  $d$  получены по результатам обработки данных П. О. Фангера для подвижности воздуха в помещении 0,2 м/с.

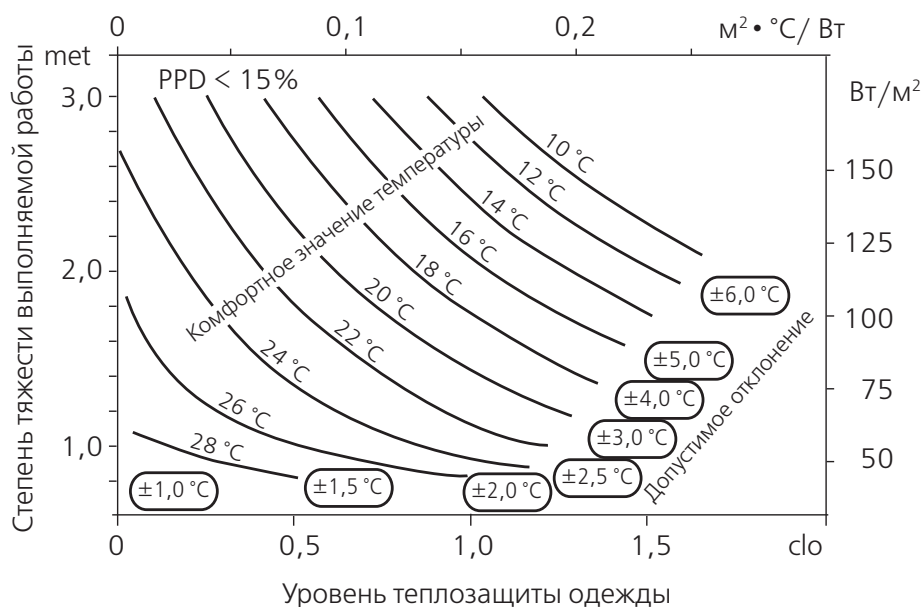


Рисунок 9 – Соответствие допустимого диапазона температуры помещения оптимальным значениям температуры в нем:

PPD – ожидаемая вероятность неприятного теплоощущения, %;

met – условная единица, характеризующая теплопродукцию организма человека в зависимости от степени тяжести выполняемой им работы;

clo – показатель, характеризующий теплоизоляционные качества различных видов одежды.

Примечание – Градация теплозащиты одежды: легкая одежда – 0,5 clo; нормальная одежда – 1 clo; теплая одежда – 1,5 clo; высокая степень тяжести выполняемой работы – 175 Вт/м<sup>2</sup>; средняя степень тяжести выполняемой работы – 115 Вт/м<sup>2</sup>; состояние покоя – 60 Вт/м<sup>2</sup>. 1 clo эквивалентен 0,155 м<sup>2</sup> · °C/Вт.

Подробнее информацию об этом показателе см. в [3]

Максимально допустимую температуру поверхности панели  $t_{п,доп}$ , °C, определяют по формуле

$$t_{п,доп} = t_{гч} + \frac{6,8}{\Phi_{гн}}, \quad (3)$$

где  $t_{гч}$  – температура поверхности головы человека, °C;  
 $t_{гч} = 30^\circ C$ ;

$\Phi_{гн}$  – приведенный коэффициент облученности головы человека нагретой поверхностью, учитывающий дискретное расположение панелей; определяют по формуле

$$\Phi_{гн} = \varphi_{гн} \frac{F_n}{ab}, \quad (4)$$

где  $\varphi_{гн}$  – коэффициент облученности головы человека нагретой поверхностью в случае расположения человека под центром поверхности, определяемый по таблице 2 в зависимости от геометрических параметров X и Y:

$$X = \frac{b}{h}; Y = \frac{a}{h}, \quad (5)$$

где b и a – размеры помещения в плане, м;

h – высота помещения за вычетом высоты человека, м; определяют по формуле

$$h = H - 1,7, \quad (6)$$

где H – высота помещения, м;

$F_n$  – площадь теплоотдающей поверхности панелей (при их дискретном расположении), м<sup>2</sup>.

12.5 Проверку максимально допустимой температуры поверхности панели можно провести в упрощенном виде, пользуясь таблицей 3 (применительно к панелям фирмы Zehnder). Расчетная температура поверхности панелей не должна превышать указанные в таблице 3 максимально допустимые значения температуры для помещений различной высоты и доли покрытия потолка панелями. В помещениях, где предполагается кратковременное пребывание людей, можно ориентироваться на более высокие значения максимально допустимой температуры.

12.6 Локальная асимметрия результирующей температуры должна быть не более 2,5 °C для оптимальных и не более 3,5 °C для допустимых показателей.

Приведенная норма ГОСТ 30494–96 для жилых и общественных зданий относится к приборной оценке комфортности тепловой обстановки в фактических условиях помещения, не поддается расчету и не является обязательной.

Таблица 2

Значение параметра Y	Коэффициент облученности для значения параметра X						
	0,5	0,75	1	1,5	2	3	10 и более
0,5	0,24	0,31	0,36	0,41	0,43	0,44	0,50
0,75	0,31	0,41	0,48	0,54	0,57	0,59	0,60
1	0,36	0,48	0,55	0,61	0,67	0,69	0,71
1,5	0,41	0,54	0,61	0,74	0,78	0,81	0,83
2	0,43	0,57	0,67	0,78	0,83	0,87	0,89
3	0,44	0,59	0,69	0,81	0,87	0,92	0,95
10 и более	0,45	0,60	0,71	0,83	0,89	0,95	0,99

Таблица 3

Температура в °С

Высота помещения, м	Максимально допустимая температура поверхности панели при доле покрытия помещения/потолка панелями, %					
	10	15	20	25	30	35
3	73	71	68	64	58	56
4	115	105	91	78	67	60
5	Более 147	123	100	83	71	64
6	–	132	104	87	75	69
7	–	137	108	91	80	74
8	–	Более 141	112	96	86	80
9	–	–	117	101	92	87
10	–	–	122	107	98	94

### 13 Теплоотдача панелей

13.1 Теплоотдачу панелей европейских производителей в стандартных условиях определяют в соответствии с нормами [1] опытным путем в специальной климатической камере. По данным испытаний, удельную (на 1 пог. м длины) суммарную теплоотдачу панели в стандартных условиях  $Q_H$ , Вт/м, определяют по формуле

$$Q_H = A \Delta t^m, \quad (7)$$

где  $A$  – константа;

$\Delta t$  – разность температуры, °С; определяют по формуле

$$\Delta t = t_{\text{гв.ср}} - t_{\text{ш}}, \quad (8)$$

где  $t_{\text{гв.ср}}$  – средняя температура теплоносителя, °С;  
 $t_{\text{ш}}$  – температура внутри испытательного стенда, измеренная шаровым термометром, °С;  
 $m$  – показатель; для панелей фирмы Zehnder приведен в приложениях Б и В.

13.2 Величина суммарной теплоотдачи панели в помещении складывается из лучистой составляющей, зависящей от температуры поверхностей ограждений в помещении, которые, в свою очередь, зависят и от лучистого потока теплоты от панели,



и конвективной составляющей, определяемой температурой воздуха помещения.

Суммарную теплоотдачу панели  $Q_n$ , Вт, в помещении определяют по формуле

$$Q_n = F_n q_n, \quad (9)$$

где  $F_n$  – то же, что в формуле (4);

$q_n$  – удельная суммарная теплоотдача панели, Вт/м<sup>2</sup>.

Уточненный метод расчета теплоотдачи панели и тепловых условий в помещении приведен в приложении Ж. Приблизительно удельную суммарную теплоотдачу панели  $q_n$ , Вт/м<sup>2</sup>, определяют по формуле

$$q_n = \left( 4(t_n - t_b) + 0,025(t_n^2 - t_b^2) + 1,16(t_n - t_b)^{\frac{4}{3}} \right) k_1 k_2, \quad (10)$$

где  $t_n$  – температура поверхности панели, °С; принимают равной средней температуре теплоносителя;

$t_b$  – то же, что в формуле (1);

$k_1$  – коэффициент, учитывающий ширину панели  $d_n$ , м; определяют по формуле

$$k_1 = 0,87 - 0,27 \ln d_n; \quad (11)$$

$k_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение теплоотдачи панели при отсутствии теплоизоляции;  $k_2 = 1,2$ .

В интервале разности температуры ( $t_n - t_b$ ) от 20 °С до 100 °С формулу (10) можно заменить приближенной упрощенной формулой с погрешностью не более 3 %:

$$q_n = (0,025(t_n^2 - t_b^2) + 9,5(t_n - t_b) - 50) k_1 k_2, \quad (12)$$

где  $t_n$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  – то же, что в формуле (10);

$t_b$  – то же, что в формуле (1).

13.3 Величины суммарной теплоотдачи панели в помещении  $Q_n$ , Вт/м, для панелей фирмы Zehnder приведены в приложениях В и Г в зависимости от разности температур  $\Delta t$ , °С:

$$\Delta t = 0,5(t_r + t_o - t_b - t_R), \quad (13)$$

где  $t_r$  – температура горячей воды, °С;

$t_o$  – температура обратной воды, °С;

$t_b$ ,  $t_R$  – то же, что в формуле (1).

13.4 Площадь теплоотдающей поверхности и среднюю температуру поверхности панели определяют исходя из равенства теплоотдачи панели  $Q_n$  требуемой тепловой нагрузки на помещение  $Q_{ном}$ :

$$Q_n = Q_{ном}. \quad (14)$$

Величину тепловой нагрузки на помещение  $Q_{ном}$ , Вт, определяют как сумму тепловых потерь через наружные ограждения:

$$Q_{ном} = \sum k_{но} F_{но} (t_n - t_H) \eta + Q_{инф}, \quad (15)$$

где  $k_{но}$  – коэффициенты теплопередачи наружных ограждений, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);

$F_{но}$  – площади поверхности наружных ограждений, м<sup>2</sup>;

$t_n$  – то же, что в формуле (2);

$t_H$  – температура наружного воздуха, °С;

$\eta$  – коэффициент добавочных теплопотерь;

$Q_{инф}$  – расход теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха, Вт; определяют по формуле

$$Q_{инф} = G_{инф} F_{ок} (t_b - t_H) \frac{f}{3,6}, \quad (16)$$

где  $G_{инф}$  – расход инфильтрационного воздуха, кг/(ч · м<sup>2</sup>);

$F_{ок}$  – площадь поверхности окон, м<sup>2</sup>;

$t_b$  – то же, что в формуле (1);

$t_H$  – то же, что в формуле (15);

$f$  – коэффициент рекуперации; учитывает подогрев наружного воздуха при фильтрации его через конструкцию окна.

13.5 Требуемую площадь теплоотдающей поверхности панели  $F_n$ , м<sup>2</sup>, определяют по формуле

$$F_n = \frac{Q_{ном}}{q_n}, \quad (17)$$

где  $Q_{ном}$  – то же, что в формуле (15);

$q_n$  – то же, что в формуле (12).

13.6 Требуемую температуру поверхности панели (среднюю температуру теплоносителя  $t_{гв.ср}$ , °С)  $t_n$ , °С, определяют при известной площади теплоотдающей поверхности панели  $F_n$ , м<sup>2</sup>, и величине тепловой нагрузки на помещение  $Q_{ном}$ , Вт, по формуле

$$t_n = 20,3 \cdot \left( 95 + 0,1 \right) \cdot 9,5 t_b + 0,025 t_b^2 + \frac{q_{н.тп}}{k_1 k_2} \Bigg)^{\frac{1}{2}} - 190, \quad (18)$$

где  $t_b$  – то же, что в формуле (1);

$q_{н.тп}$  – требуемая удельная теплоотдача панели, Вт/м<sup>2</sup>;

$k_1$ ,  $k_2$  – то же, что в формуле (10).

## 14 Рекомендации по гидравлическому расчету панелей

14.1 Для достижения номинального значения мощности необходимо обеспечение в трубах панелей минимального массового расхода теплоносителя, который зависит от температуры обратной воды. Если необходимое минимальное значение расхода теплоносителя в трубах не достигается, возможно снижение мощности на 15 % от номинального значения. Величину необходимого минимального расхода теплоносителя в трубах (диаметром 25 мм) можно определить по рисункам 10 и 11.

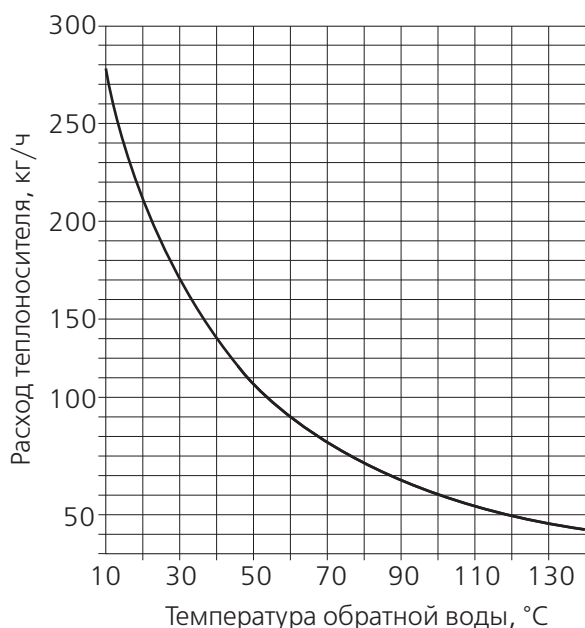


Рисунок 10 – Минимальный расход теплоносителя в отдельных модулях

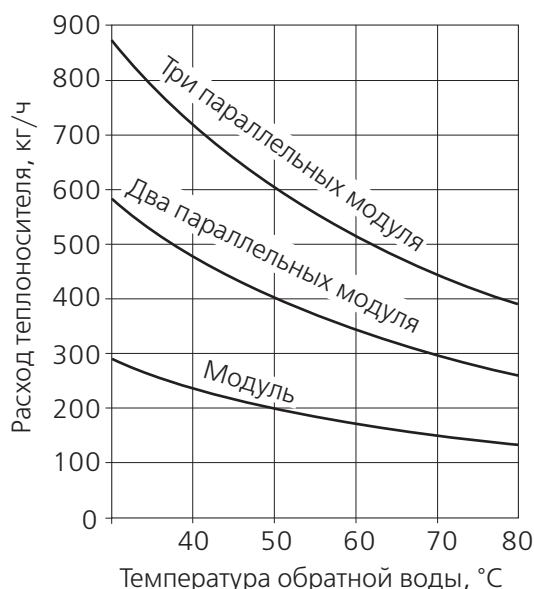


Рисунок 11 – Минимальный расход теплоносителя в заблокированных модулях

Расход теплоносителя в системе  $G$ , кг/ч, определяют по формуле

$$G = \frac{0,86Q}{t_r - t_o}, \quad (19)$$

где  $Q$  – суммарная тепловая мощность системы отопления, Вт;

$t_r, t_o$  – то же, что в формуле (13).

Расход теплоносителя в одной трубе панели  $g$ , кг/ч, определяют по формуле

$$g = \frac{G}{nN}, \quad (20)$$

где  $G$  – то же, что в формуле (19);

$n$  – число труб в панели;

$N$  – число включенных параллельно по теплоносителю рядов панелей.

14.2 Общие потери давления в панели складываются из потерь давления в трубах и потерь давления в коллекторных парах. Величины гидравлических потерь приведены в приложении Д.

Удельные потери давления  $R$ , Па/м, в одной трубе панели (диаметром 25 мм) допустимо определять по формуле

$$R = 2 \left( \frac{g}{100} \right)^2, \quad (21)$$

где  $g$  – то же, что в формуле (20).

## 15 Оценка тепловых условий в помещении с панелями

15.1 Эффективность системы панельно-лучистого отопления оценивают величиной баланса лучистой теплоты в помещении. Чем больше оказывается положительный баланс, тем в большей степени радиационная температура превышает температуру воздуха в помещении.

15.2 Радиационную температуру помещения  $t_r$ , °C, определяют по формуле

$$t_r = \frac{(t_{но} + \Delta t)F_{но} + (t_{во} + \Delta t)F_{во} + t_{п}F_{п}}{F_{но} + F_{во} + F_{п}}, \quad (22)$$

где  $t_{но}$  – средняя температура наружных ограждений, °C;

$\Delta t$  – температурная надбавка, определяемая балансом лучистой теплоты в помещении, °C;

$F_{но}$  – то же, что в формуле (15);

$t_{во}$  – средняя температура внутренних ограждений, °C;

$F_{во}$  – площадь поверхности внутренних ограждений, м<sup>2</sup>;

$t_{п}$  – то же, что в формуле (10);

$F_{п}$  – то же, что в формуле (4).

15.3 Величину баланса лучистой теплоты  $\Delta Q$ , Вт, определяют по формуле

$$\Delta Q = Q_{п}\eta_1 - (Q_{ном} - Q_{инф})\eta_2, \quad (23)$$

где  $Q_{п}$  – то же, что в формуле (9);

$Q_{ном}, Q_{инф}$  – то же, что в формуле (15);

$\eta_1, \eta_2$  – коэффициенты, показывающие долю лучистой части суммарной теплоотдачи панели  $Q_{п}$ , Вт, и тепловой нагрузки на помещение  $Q_{ном}$ , Вт; определяют по формулам

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \beta_1}; \quad (24)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \beta_2}. \quad (25)$$

Коэффициенты  $\beta_1$  и  $\beta_2$  определяют по формулам

$$\beta_1 = \frac{1,16(t_n - t_B)^{\frac{4}{3}}}{4(t_n - t_1) + 0,025(t_n^2 - t_1^2)}; \quad (26)$$

$$\beta_2 = \frac{1,66(t_2 - t_B)^{\frac{4}{3}}}{4(t_2 - t_{HO}) + 0,025(t_2^2 - t_{HO}^2)}, \quad (27)$$

где  $t_n$  – то же, что в формуле (10);

$t_B$  – то же, что в формуле (1);

$t_1, t_2$  – осредненные значения температуры поверхности ограждений, °С; определяют по формулам

$$t_1 = \frac{t_{HO} F_{HO} + t_{BO} F_{BO}}{F_{HO} + F_{BO}}; \quad (28)$$

$$t_2 = \frac{t_{BO} F_{BO} + t_n F_n}{F_{BO} + F_n}, \quad (29)$$

где  $t_{HO}, t_{BO}, F_{BO}$  – то же, что в формуле (22);

$F_{HO}$  – то же, что в формуле (15);

$t_n$  – то же, что в формуле (10);

$F_n$  – то же, что в формуле (4).

15.4 Среднюю температуру наружных ограждений  $t_{HO}$ , °С, в формулах (22), (27) и (28) определяют как средневзвешенную по площади соответствующих наружных ограждений, например наружных стен и окон, по формуле

$$t_{HO} = \frac{t_{HC} F_{HC} + t_{OK} F_{OK}}{F_{HC} + F_{OK}}, \quad (30)$$

где  $t_{HC}, t_{OK}$  – температура соответственно наружных стен и окон, °С;

$F_{HC}$  – площадь поверхности наружных стен, м<sup>2</sup>;

$F_{OK}$  – то же, что в формуле (16).

15.5 Температуру наружного ограждения  $t$ , °С, определяют по формуле

$$t = t_n - 0,115k(t_n - t_H), \quad (31)$$

где  $t_n$  – то же, что в формуле (2);

$k, t_H$  – то же, что в формуле (15).

15.6 Температуру внутренних ограждений  $t_{BO}$ , °С, в формулах (22), (28) и (29) допустимо принимать равной температуре воздуха в помещении  $t_B$ , °С.

15.7 Положительный (отрицательный) баланс лучистой теплоты определяет повышение (понижение) температуры наружных и внутренних ограждений в помещении на величину  $\Delta t$ , °С, равную

$$\Delta t = \frac{\Delta Q}{(F_{HO} + F_{BO})(4 + 0,025(t_1 + t))}, \quad (32)$$

где  $\Delta Q$  – то же, что в формуле (23);

$F_{BO}$  – то же, что в формуле (22);

$F_{HO}$  – то же, что в формуле (15);

$t_1$  – то же, что в формуле (26);

$t$  – то же, что в формуле (31);  $t = t_n$ , если  $\Delta Q > 0$  и  $t = t_2$  при  $\Delta Q < 0$ .

Полученные с учетом баланса лучистой теплоты значения радиационной температуры  $t_r$ , °С, по формуле (22) и соответствующей результирующей температуры помещения  $t_n$ , °С, должны удовлетворять требованиям раздела 12.

## Габариты и монтажные размеры панелей Zehnder ZBN

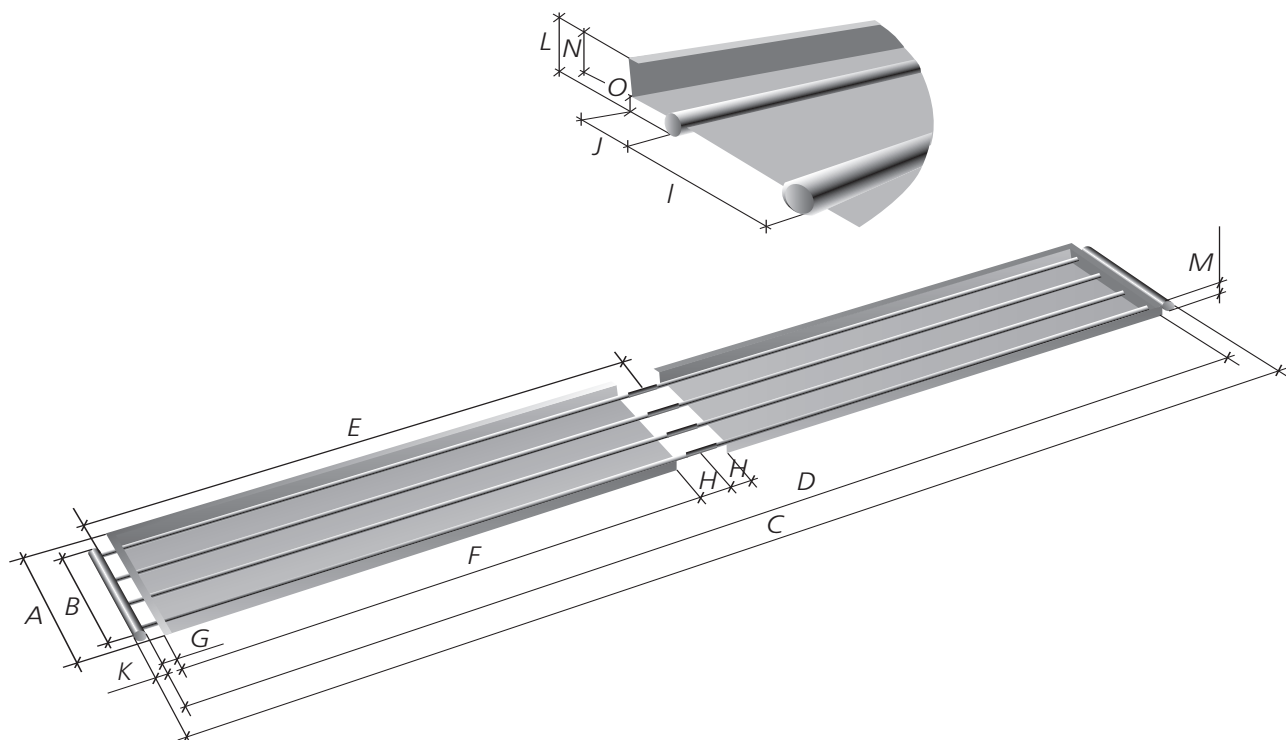


Рисунок А.1 – Габариты отдельного модуля Zehnder ZBN

Таблица А.1 – Габариты

В миллиметрах

Обозначение	Описание	Размер	Примечание
A	Общая ширина	От 300 до 1 200	Шаг 150 мм
B	Ширина коллектора	» 250 » 1 150	Шаг 150 мм
C	Общая длина (без учета длины патрубков)	» 2 090 » 120 090	–
D	Длина трубы	» 2 000 » 120 000	–
E	Длина отдельного модуля	» 2 000 » 7 500	–
F	Длина теплоотдающей поверхности отдельного модуля	» 1 900 » 7 400	–
G	Длина выступающей части труб со стороны коллектора	» 50 » 2 000	Стандартная – 50 мм
H	Длина выступающей части труб со стороны соединения	» 100 » 2 000	Стандартная – 100 мм
I	Расстояние между трубами	150	–
J	Расстояние от крайних труб до отбортовки панели	75	–
K	Длина (глубина) коллектора	45	–
L	Общая высота (без монтажных наборов)	69	–
M	Высота коллектора	45	–
N	Высота отбортовки	50	–
O	Высота зиговки труб	19	–

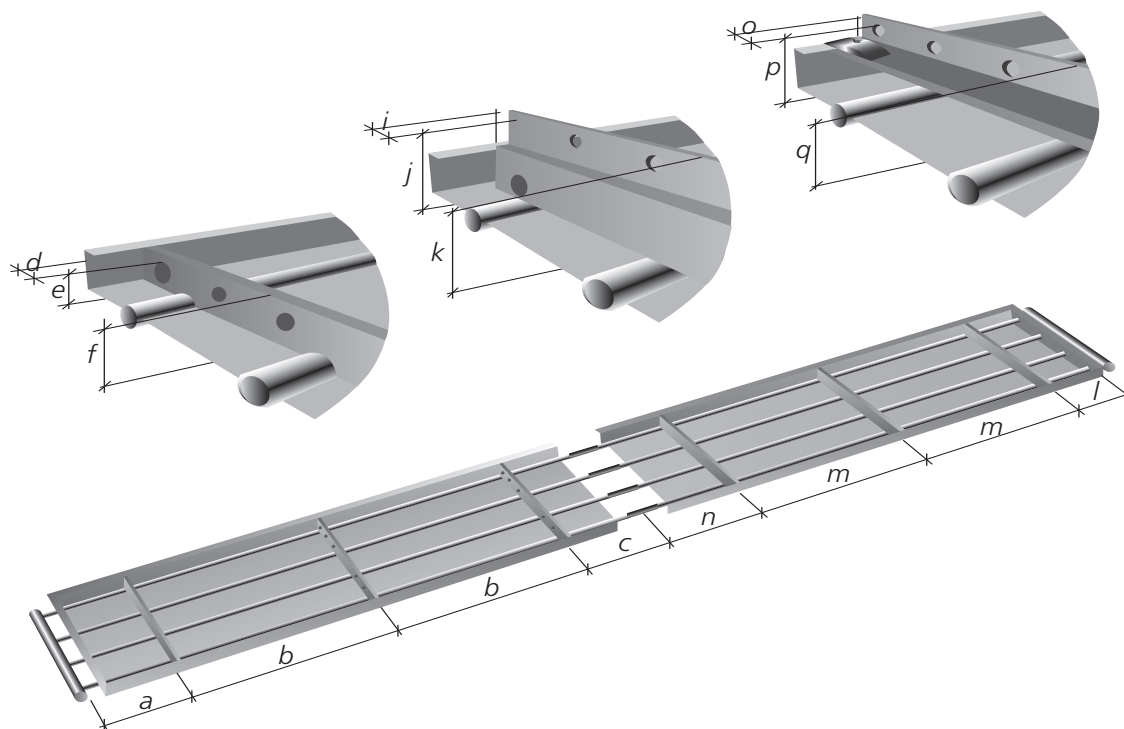


Рисунок А.2 – Монтажные размеры отдельного модуля

Таблица А.2 – Монтажные размеры

В миллиметрах

Обозначение	Описание	Размер	Примечание
Стационарные оси для панелей типов 300–900			
<i>a</i>	Коллектор – центр оси (стационарной)	От 50 до 1 000	Стандартная – 500 мм
<i>b</i>	Центр оси (стационарной) – центр оси (стационарной)	» 50 » 3 250	Стандартная – 3 250 мм
<i>c</i>	Центр оси (стационарной) – место соединения	» 100 » 3 150	Стандартная – 800 мм
<i>d</i>	Внешняя кромка модуля – центр первой точки подвеса	50	–
<i>e</i>	Нижний кант теплоотдающей поверхности – верхний кант теплоотдающей поверхности	39	–
<i>f</i>	Нижний кант теплоотдающей поверхности – верхний кант оси подвеса	47	–
Стационарные оси для панелей типов 1 050–1 200			
<i>a</i>	Коллектор – центр оси (стационарной)	От 50 до 1 000	Стандартная – 500 мм
<i>b</i>	Центр оси (стационарной) – центр оси (стационарной)	» 50 » 3 250	Стандартная – 3 250 мм
<i>c</i>	Центр оси (стационарной) – место соединения	» 100 » 3 150	Стандартная – 800 мм
<i>i</i>	Внешняя кромка модуля – центр первой точки подвеса	50	–

## Окончание таблицы А.2

Обо- значение	Описание	Размер	Примечание
<i>j</i>	Нижний кант теплоотдающей поверхности – верхний кант теплоотдающей поверхности	92	–
<i>k</i>	Нижний кант теплоотдающей поверхности – верхний кант оси подвеса	100	–
Подвижные оси для панелей типов 300–1 200			
<i>l</i>	Коллектор – центр оси (подвижной)	От 90 до 750	–
<i>m</i>	Центр оси (подвижной) – центр оси (подвижной)	» 60 » 3 000	–
<i>n</i>	Центр оси (подвижной) – место соединения	» 190 » 2 810	–
<i>o</i>	Внешняя кромка модуля – центр первой точки подвеса	50	–
<i>p</i>	Нижний кант теплоотдающей поверхности – верхний кант теплоотдающей поверхности	74	Начиная с монтажной ширины 1 050; 77 мм
<i>q</i>	Нижний кант теплоотдающей поверхности – верхний кант оси подвеса	82	Начиная с монтажной ширины 1 050; 94 мм

**Технические данные панелей Zehnder ZBN**

Таблица Б.1

Наименование показателя	Значение показателя						
	300/2	450/3	600/4	750/5	900/6	1 050/7	1 200/8
Тип	300/2	450/3	600/4	750/5	900/6	1 050/7	1 200/8
Монтажная ширина, мм	300	450	600	750	900	1 050	1 200
Число труб, шт.	2	3	4	5	6	7	8
Материал труб / размер, мм (внутренний диаметр x толщина стенки)	Прецизионная сталь / 25 x 1,5						
Материал теплоотдающей поверхности	Сталь						
Расстояние между трубами, мм	150						
Монтажная длина отдельного модуля, мм: – мин. – макс.	2 000 7 500						
Число точек подвеса на одну ось, шт.	2						
Расстояние между точками подвеса, мм	200	350	500	650	800	950	1 100
Рабочая температура, °С, не более	120						
Рабочее давление, бар, не более	10						
Масса с теплоизоляцией без учета содержания теплоносителя, кг: – панель; – коллектор	6,95 1,00	9,67 1,50	12,42 2,00	15,14 2,50	17,86 3,00	22,08 3,50	24,83 4,00
Масса с учетом массы теплоносителя и теплоизоляции, кг: – панель; – коллектор	7,94 1,50	11,14 2,20	14,38 3,00	17,59 3,70	20,80 4,50	25,52 5,20	28,76 6,00
Масса теплоизоляции, кг/м	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20
Масса защитной сетки, кг/м	0,29	0,42	0,55	0,68	0,81	0,94	1,67
Масса теплоносителя, кг/м	0,982	1,473	1,964	2,455	2,946	3,437	3,928
Тепловая мощность согласно EN 14037 при $\Delta t = 55\text{ °C}$ с теплоизоляцией, Вт/м	199	270	342	425	507	590	672
Константа тепловой мощности A	1,787	2,421	3,055	3,798	4,540	5,283	6,029
Показатель m	1,176	1,177					1,176
Холодильная мощность согласно EN 14240 при $\Delta t = 10\text{ °C}$ с теплоизоляцией, Вт/м	32	45	57	73	90	106	122
Константа холодильная мощность	2,683	3,695	4,707	6,056	7,405	8,753	10,102
Экспонента холодильной мощности	1,083						

**Технические данные и теплоотдача панелей Zehnder ZIP**

Таблица В.1 – Технические данные панелей Zehnder ZIP 1

Наименование показателя	Значение показателя
Расстояние между трубами, мм	80
Наружный диаметр трубы, мм	15
Монтажная ширина панели, мм	320
Число точек крепления штанги, шт.	2
Тепловая мощность панели согласно EN 14037 (DIN V 4706, ч. 1, 2), Вт/м	208
Холодильная мощность при $\Delta t = 10\text{ }^\circ\text{C}$ , Вт/м	36
Холодильная мощность без теплоизоляции при $\Delta t = 10\text{ }^\circ\text{C}$ , Вт/м	42
Холодильная мощность коллекторной пары при $\Delta t = 10\text{ }^\circ\text{C}$ , Вт/м	10
Рабочая масса панели с учетом массы теплоносителя и теплоизоляции, кг/м	4,7
Примечания: 1 Данные по тепловой и холодильной мощности необходимо соответственно увеличивать для ZIP 2 / ZIP 3 / ZIP 4. 2 Максимальная рабочая температура составляет $95\text{ }^\circ\text{C}$ ; максимальное рабочее давление – 5 бар.	

Таблица В.2 – Тепловая мощность панелей Zehnder ZIP (в соответствии с [1])

Разность температуры $\Delta t$ , $^\circ\text{C}$	Теплоотдача панели $Q_p$ , Вт/м, при $A = 2,0805$ ; $m = 1,1489$	Теплоотдача коллекторной пары $Q_{\text{колл.пара}}$ , Вт, при $A = 0,2456$ ; $m = 1,3524$
80	320	92
78	310	89
76	301	86
74	292	83
72	283	80
70	274	77
68	265	74
66	256	71
64	247	68
62	238	65
60	230	82
58	221	60
56	212	57
55	208	55
54	203	54
52	195	51
50	186	49
48	178	46
46	169	44
44	161	41
42	152	39



Окончание таблицы В.2

Разность температуры $\Delta t$ , °C	Теплоотдача панели $Q_1$ , Вт/м, при $A = 2,0805$ ; $m = 1,1489$	Теплоотдача коллекторной пары $Q_{\text{колл.пара}}$ , Вт, при $A = 0,2456$ ; $m = 1,3524$
40	144	36
38	136	34
36	128	31
34	120	29
32	112	27
30	104	24
28	96	22
26	88	20
24	80	18
22	73	16

Примечание. Теплоотдачу определяют по формуле (7).

## Теплоотдача панелей Zehnder ZBN

Таблица Г.1

Разность температуры $\Delta t$ , °С	Теплоотдача панелей типа													
	300/2		450/3		600/4		750/5		900/6		1 050/7		1 200/8	
	при константе А													
	1,787	0,726	2,421	1,223	3,055	1,845	3,798	2,184	4,540	2,461	5,283	2,682	6,026	2,856
	при показателе													
	1,176	1,199	1,177	1,167	1,177	1,134	1,177	1,154	1,177	1,174	1,177	1,194	1,176	1,213
	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара
120	498	226	677	326	856	420	1 063	548	1 270	678	1 477	813	1 683	952
118	488	222	663	320	839	413	1 043	537	1 245	665	1 448	797	1 650	933
116	479	217	650	313	823	405	1 022	527	1 221	652	1 419	781	1 617	914
114	469	213	637	307	806	397	1 001	516	1 196	639	1 390	765	1 584	895
112	459	208	624	301	789	389	980	506	1 171	626	1 361	749	1 551	876
110	450	204	611	295	773	381	960	495	1 147	612	1 333	733	1 519	857
108	440	199	598	288	756	373	939	485	1 122	599	1 304	717	1 486	838
106	430	195	585	282	740	365	919	475	1 098	586	1 276	701	1 454	819
104	421	191	572	276	723	358	899	464	1 073	573	1 248	686	1 422	800
102	411	186	559	270	707	350	878	454	1 049	560	1 220	670	1 390	782
100	402	182	546	264	691	342	858	444	1 025	548	1 191	654	1 358	763
98	392	177	533	257	675	334	838	433	1 001	535	1 163	639	1 326	745
96	383	173	520	251	658	326	818	423	977	522	1 136	623	1 294	726
94	374	169	508	245	642	319	798	413	953	509	1 108	608	1 262	708
92	364	164	495	239	626	311	778	403	929	497	1 080	592	1 231	690
90	355	160	482	233	610	303	758	393	905	484	1 053	577	1 199	671
88	346	156	470	227	594	296	738	383	882	471	1 025	562	1 168	653
86	337	152	457	221	578	288	718	373	858	459	998	546	1 137	635

Продолжение таблицы Г.1

Разность температуры $\Delta t$ , °С	Теплоотдача панелей типа													
	300/2		450/3		600/4		750/5		900/6		1 050/7		1 200/8	
	при константе А													
	1,787	0,726	2,421	1,223	3,055	1,845	3,798	2,184	4,540	2,461	5,283	2,682	6,026	2,856
	при показателе $m$													
	1,176	1,199	1,177	1,167	1,177	1,134	1,177	1,154	1,177	1,174	1,177	1,194	1,176	1,213
	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара
84	327	147	445	215	563	281	699	363	835	446	970	531	1 106	618
82	318	143	432	209	547	273	679	353	811	434	943	516	1 075	600
80	309	139	420	203	531	266	660	343	788	421	916	501	1 044	582
78	300	135	408	197	516	258	640	333	765	409	889	486	1 014	564
76	291	131	395	191	500	251	621	323	742	397	863	471	983	547
74	282	127	383	185	485	243	602	313	719	385	836	457	953	530
72	273	123	371	180	469	236	583	304	696	372	810	442	923	512
70	264	119	359	174	454	228	564	294	674	360	783	427	892	495
68	255	114	347	168	439	221	545	284	651	348	757	413	863	478
66	247	110	335	162	424	213	526	275	629	336	731	398	833	461
64	238	106	323	157	409	206	507	265	606	324	705	384	803	444
62	229	102	311	151	394	199	489	256	584	312	679	370	774	427
60	220	98,5	299	145	379	192	470	246	562	301	653	356	744	411
58	212	94,6	288	140	364	184	452	237	540	289	628	341	715	394
56	203	90,7	276	134	349	177	434	227	518	277	602	327	686	378
55	199	88,7	270	131	342	174	425	223	507	271	590	320	672	369
54	195	86,8	264	128	334	170	415	218	496	266	577	314	658	361
52	186	83,0	253	123	320	163	397	209	475	254	552	300	629	345
50	178	79,2	242	117	305	156	379	199	453	243	527	286	601	329
48	170	75,4	230	112	291	149	362	190	432	231	502	272	573	313
46	161	71,6	219	107	277	142	344	181	411	220	478	259	545	297

Окончание таблицы Г.1

Разность температуры $\Delta t$ , °С	Теплоотдача панелей типа													
	300/2		450/3		600/4		750/5		900/6		1 050/7		1 200/8	
	при константе А													
	1,787	0,726	2,421	1,223	3,055	1,845	3,798	2,184	4,540	2,461	5,283	2,682	6,026	2,856
	при показателе $m$													
	1,176	1,199	1,177	1,167	1,177	1,134	1,177	1,154	1,177	1,174	1,177	1,194	1,176	1,213
	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара	Вт/м	Вт/колл. пара
44	153	67,9	208	101	263	135	326	172	390	209	453	246	517	282
42	145	64,2	197	95,8	249	128	309	163	369	198	429	232	489	266
40	137	60,6	186	90,5	235	121	292	154	349	187	405	219	462	251
38	129	57,0	175	85,2	221	114	275	145	328	176	382	206	435	236
36	121	53,4	164	80,0	208	107	258	136	308	165	358	193	408	221
34	113	49,8	153	74,9	194	101	241	128	288	154	335	181	382	206
32	105	46,4	143	69,7	181	93,9	224	119	268	144	312	168	355	191
30	97,5	42,9	132	64,7	167	87,3	208	111	249	133	289	155	329	177
28	89,9	39,5	122	59,7	154	80,7	192	102	229	123	266	143	304	163
26	82,4	36,1	112	54,7	141	74,2	176	93,8	210	113	244	131	278	149
24	75,0	32,8	102	49,9	129	67,8	160	85,5	191	103	222	119	253	135
22	67,7	29,6	91,9	45,1	116	61,4	144	77,3	173	92,6	201	107	229	122
20	60,5	26,4	82,2	40,3	104	55,1	129	69,3	154	82,8	179	95,8	204	108

**Данные по гидравлическим потерям панелей и подводящих  
трубопроводов панелей Zehnder**

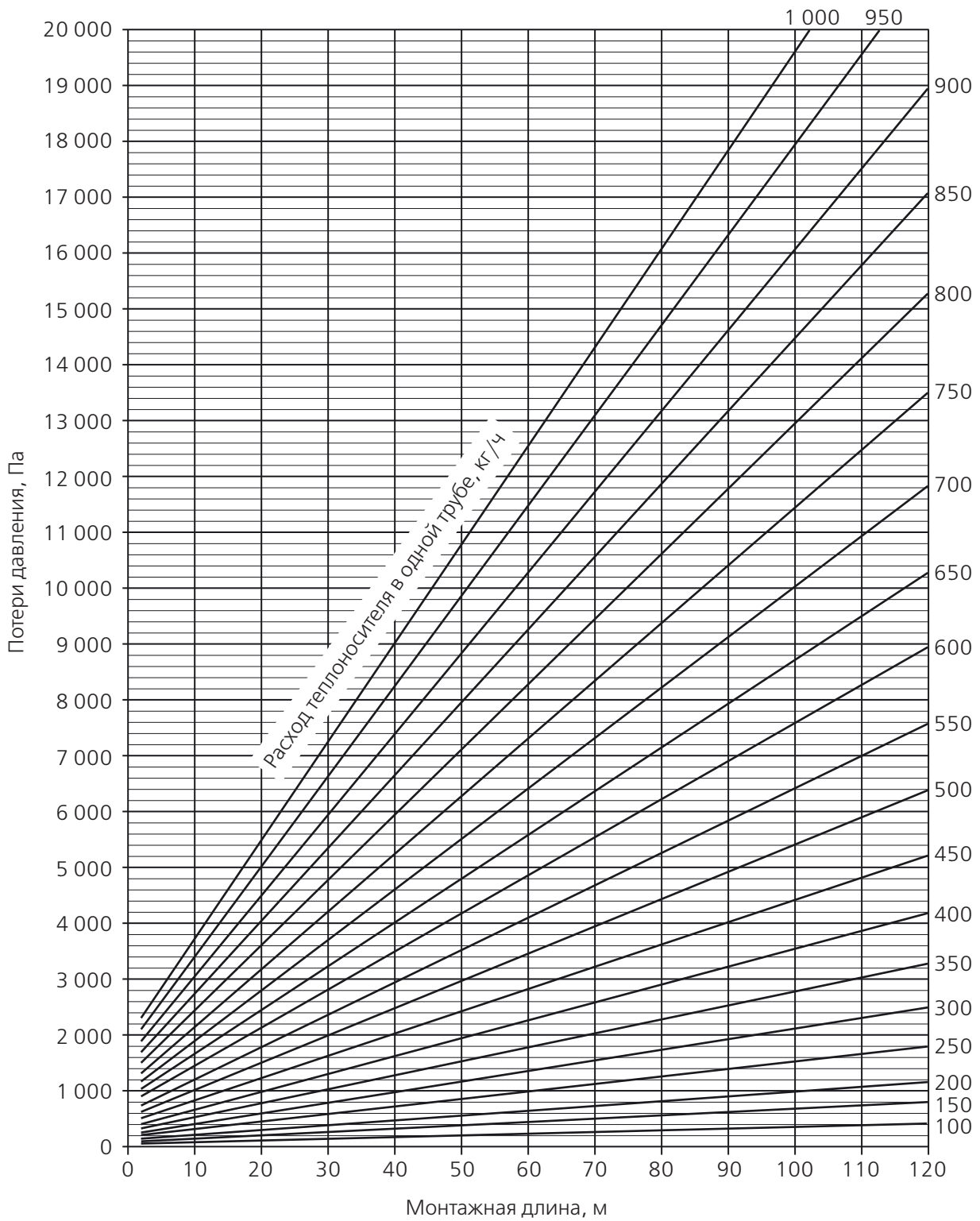


Рисунок Д.1 – Потери давления в трубах панелей Zehnder

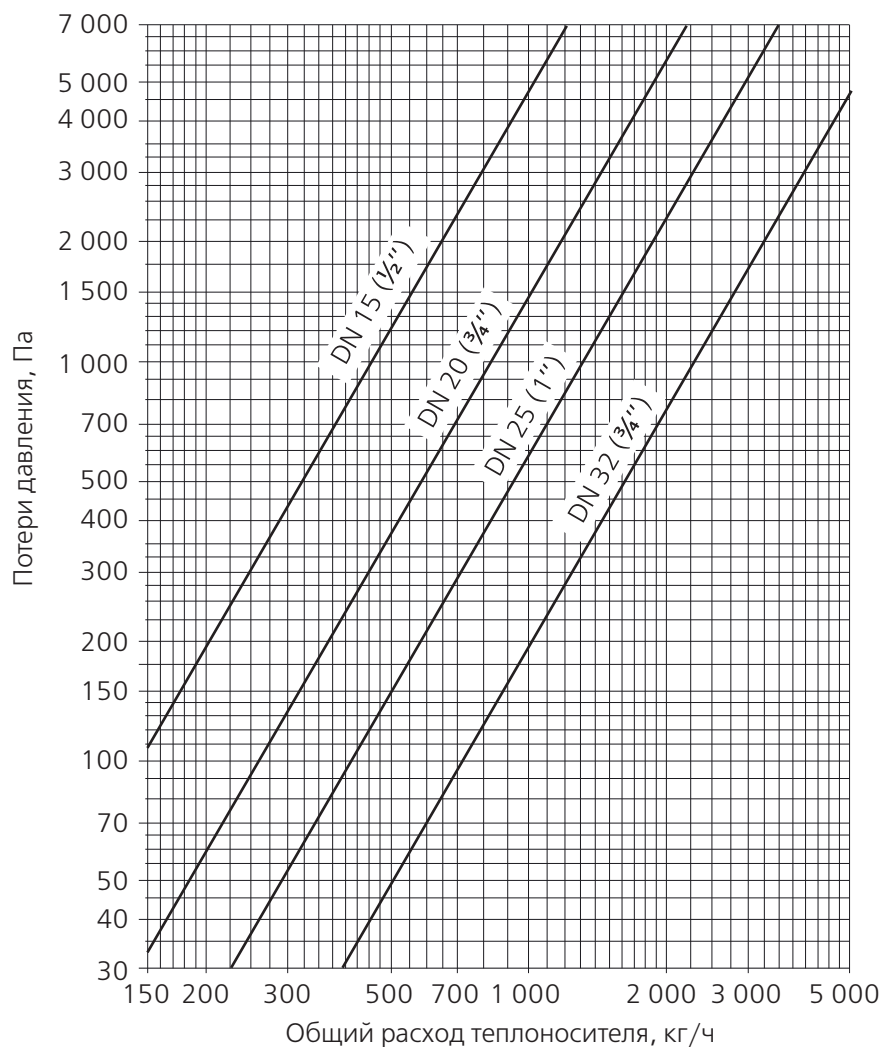


Рисунок Д.2 – Потери давления в коллекторной паре Zehnder ZBN

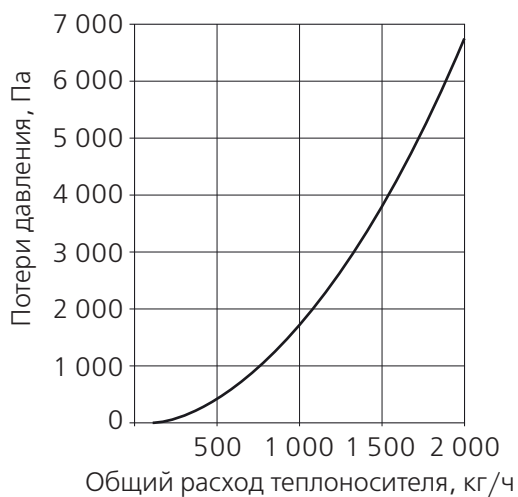


Рисунок Д.3 – Потери давления в подводящем трубопроводе панели Zehnder ZIP

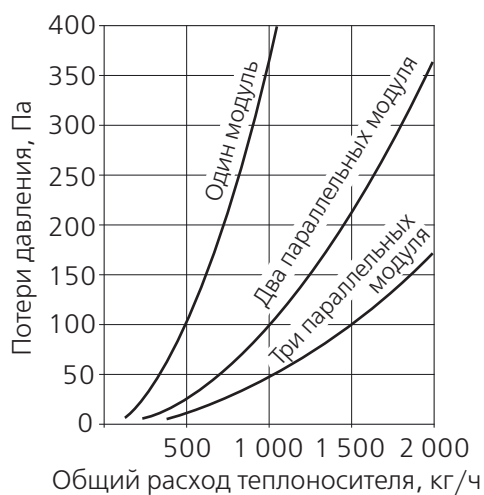


Рисунок Д.4 – Потери давления в панели Zehnder ZIP

## Пример подбора и расчета панелей

### Е.1 Постановка задачи

Подобрать и рассчитать систему отопления с панелями в помещении на среднем этаже с наружными ограждениями с двух сторон. Длина каждого наружного ограждения (наружная стена и ленточное остекление)  $a = 36$  м; ширина помещения  $b = 24$  м; высота помещения  $h = 8$  м.

Стены, пол и потолок помещения граничат с аналогичными соседними помещениями. Наружные стены и окна занимают половину площади поверхности наружных ограждений:  $F_{\text{нс}} = F_{\text{ок}} = 288$  м<sup>2</sup>. Коэффициенты теплопередачи наружной стены  $k = 0,55$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С), окна  $k = 2,1$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С). Средний расход инфильтрационного воздуха  $G_{\text{инф}} = 3$  кг/(ч · м<sup>2</sup>). Расчетная температура наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -28$  °С.

Степень тяжести выполняемой работы в помещении близка к средней (выделение явной теплоты составляет 75 Вт/м<sup>2</sup>), одежда нормальная (1 clo).

Панели фирмы Zehnder располагаются под потолком и имеют теплоизоляцию с тыльной стороны.

### Е.2 Выбор тепловых условий в помещении

Для расчетных условий одежды (1 clo) и степени тяжести выполняемой работы (75 Вт/м<sup>2</sup>) по рисунку 9 определяют комфортную результирующую температуру помещения  $t_{\text{н}}$ , равную 20 °С с допустимым отклонением 3 °С. Комфортную температуру воздуха принимают равной 19 °С. Комфортную радиационную температуру  $t_{\text{р}}$  рассчитывают по формуле (1):

$$t_{\text{р}} = 43 - 1,1 \cdot 19 = 22,1 \text{ °С.}$$

Тогда результирующая температура  $t_{\text{н}}$  по формуле (2) составляет

$$t_{\text{н}} = 0,5 \cdot (19 + 22,1) = 20,55 \text{ °С.}$$

Найденная величина соответствует величине комфортной результирующей температуры (см. рисунок 9).

### Е.3 Определение тепловой нагрузки на систему отопления

Расход теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха  $Q_{\text{инф}}$  определяют по формуле (16):

$$Q_{\text{инф}} = 3 \cdot 288 \cdot (19 + 28) \cdot \frac{1}{3,6} = 11280 \text{ Вт.}$$

Суммарную тепловую нагрузку на помещение (систему отопления)  $Q_{\text{пом}}$  находят по формуле (15):

$$Q_{\text{пом}} = 288 \cdot (0,55 + 2,1) \cdot (20,55 + 28) \cdot 1,1 + 11280 = 52000 \text{ Вт.}$$

### Е.4 Выбор расположения панелей

В соответствии с 6.2 следует принять три ряда панелей: по одному вдоль наружных стен на расстоянии 2 м от них и один в центре помещения во всю его длину.

Удельную суммарную теплоотдачу панелей  $q_{\text{п}}$  определяют по формуле (12):

$$q_{\text{п}} = \frac{52000}{3 \cdot 36} = 481,5 \text{ Вт/м.}$$

Для панелей шириной 900, 1050 и 1200 мм суммарная площадь теплоотдающей поверхности панели  $F_{\text{п}}$  составляет соответственно 97,2 м<sup>2</sup>; 113,4 м<sup>2</sup> и 129,6 м<sup>2</sup>, доля площади потолка помещения, занятая панелями, будет соответственно 11,3 %; 13,1 % и 15 %.

### Е.5 Определение максимально допустимой температуры поверхности панелей

Е.5.1 Для определения максимально допустимой температуры поверхности панелей  $t_{\text{п,доп}}$  предварительно принимают:

– параметры  $X$  и  $Y$  по формуле (5):

$$X = \frac{24}{8 - 1,7} = 3,81; Y = \frac{36}{8 - 1,7} = 5,71;$$

– коэффициент облученности  $\varphi_{\text{п}}$  по табл. 2:  $\varphi_{\text{п}} = 0,94$ ;

– приведенный коэффициент облученности  $\Phi_{\text{п}}$  для рассматриваемых панелей по формуле (4):

$$\Phi_{\text{п}} = 0,94 \cdot \frac{97,2}{36 \cdot 24} = 0,106; \Phi_{\text{п}} = 0,94 \cdot \frac{113,4}{36 \cdot 24} = 0,123;$$

$$\Phi_{\text{п}} = 0,94 \cdot \frac{129,6}{36 \cdot 24} = 0,141.$$

Таким образом, по формуле (3)

$$t_{\text{п,доп}} = 30 + \frac{6,8}{0,106} = 94 \text{ °С}; t_{\text{п,доп}} = 30 + \frac{6,8}{0,123} = 85 \text{ °С};$$

$$t_{\text{п,доп}} = 30 + \frac{6,8}{0,141} = 78 \text{ °С.}$$

Е.5.2 Величина максимально допустимой температуры поверхности рассматриваемых панелей составляет более 141 °С (см. таблицу 3).

## Е.6 Определение температуры поверхности панелей

Е.6.1 Разность температуры  $\Delta t$ , соответствующую определенной требуемой удельной суммарной теплоотдаче, определяют по таблице В.1 (приложение В). Для рассматриваемых панелей разность температуры при  $q_{n,тр} = 481,5$  Вт/м составляет  $\Delta t = 53$  °С (при 900 мм); 46 °С (при 1 050 мм); 42 °С (1 200 мм). Требуемая температура поверхности рассматриваемых панелей составляет при  $t_n = 20$  °С соответственно  $t_n = 73$  °С; 66 °С и 62 °С.

Требуемая удельная теплоотдача  $q_{n,тр}$  трех панелей шириной 900 мм панелей при  $t_n = 75$  °С и  $\Delta t = 55$  °С составляет 507 Вт/м (см. таблицу В.1, приложение В), а суммарная теплоотдача панелей  $Q_n$  по формуле (9):

$$Q_n = 3 \cdot 36 \cdot 507 = 54\,756 \text{ Вт.}$$

Полученное значение на 5 % превышает требуемую тепловую нагрузку на помещение  $Q_{пом}$ , равную 52 000 Вт.

Е.6.2 Требуемая температура поверхности панелей  $t_n$  шириной 900 при  $q_{n,тр} = 481,5$  Вт/м ( $q_{n,тр} = 535$  Вт/м<sup>2</sup>) по формуле (18) составляет 73,4 °С.

Удельная суммарная теплоотдача панели  $q_n$  для панели шириной 900 мм с  $t_n = 75$  °С по формуле (10) составляет 557 Вт/м<sup>2</sup>, соответственно, суммарная тепловая мощность системы отопления из трех рядов панелей длиной 36 м –  $Q = 54\,108$  Вт, что на 5 % выше требуемой отопительной нагрузки помещения. Для панелей шириной 1 050 и 1 200 мм величина теплоотдачи намного превышает требуемую. Таким образом, необходимо принять три ряда панелей длиной 36 м и шириной 900 мм каждая.

## Е.7 Определение гидравлических потерь панелей

Е.7.1 Принимают следующие параметры теплоносителя: температура горячей воды  $t_g = 80$  °С; температура обратной воды  $t_o = 70$  °С; средняя температура составляет

$$0,5 \cdot (80 + 70) = 75 \text{ °С.}$$

Общий расход теплоносителя в системе определяют по формуле (19):

$$G = \frac{0,86 \cdot 52\,000}{80 - 70} = 4\,472 \text{ кг/ч.}$$

Расход теплоносителя в одной трубе  $g$  при двухстороннем присоединении панелей с параллельным движением теплоносителя по всем трубам в панелях

и в рядах панелей; ширине панели 900 мм; шести трубах в панели и трех рядах панелей составляет по формуле (20)

$$g = \frac{4\,472}{6 \cdot 3} = 248 \text{ кг/ч.}$$

Полученное значение существенно больше минимально допустимой величины 85 кг/ч, полученной по рисунку 10 при  $t_o = 70$  °С.

Е.7.2 Для определения потерь давления в панелях находят потери давления в трубах и потери давления в коллекторных парах.

Потери давления в коллекторной паре при подводящем трубопроводе с  $d = 25$  мм,  $g = 4\,472/3 = 1\,491$  кг/ч по рисунку Д.2 (приложение Д) определяют равными 1 300 Па.

Удельные потери давления  $R$  в одной трубе при  $g = 248$  кг/ч по формуле (21) составляют

$$R = 2 \cdot \left( \frac{248}{100} \right)^2 = 12,3 \text{ Па/м.}$$

Для всего ряда труб длиной 36 м потери давления составляют  $12,3 \cdot 36 = 443$  Па.

Таким образом, общие потери давления составляют

$$1\,300 + 443 = 1\,743 \text{ Па.}$$

## Е.8 Оценка тепловых условий в помещении

Суммарная площадь поверхностей всех ограждений помещения составляет

$$F = 36 \cdot 24 \cdot 2 + (36 + 24) \cdot 2 \cdot 8 = 2\,688 \text{ м}^2,$$

в том числе:

– наружных ограждений:

$$F_{но} = 36 \cdot 8 \cdot 2 = 576 \text{ м}^2;$$

– теплоотдающих панелей:

$$F_n = 36 \cdot 3 \cdot 0,9 = 97,2 \text{ м}^2;$$

– внутренних ограждений:

$$F_{во} = 2\,688 - 576 - 97,2 = 2\,014,8 \text{ м}^2.$$

Температуру соответственно наружной стены  $t_{нс}$  и окна  $t_{ок}$  определяют по формуле (31):

$$t_{нс} = 20,55 - 0,115 \cdot 0,55 \cdot (20,55 + 28) = 17,5 \text{ °С;}$$

$$t_{ок} = 20,55 - 0,115 \cdot 2,1 \cdot (20,55 + 28) = 8,8 \text{ °С.}$$

Среднюю температуру наружных ограждений  $t_{но}$  находят по формуле (30):

$$t_{но} = \frac{17,5 \cdot 288 + 8,8 \cdot 288}{288 + 288} = 13,15 \text{ °С.}$$



Осредненные значения температуры поверхностей ограждений  $t_1$  и  $t_2$  определяют соответственно по формулам (28) и (29):

$$t_1 = \frac{13,15 \cdot 576 + 19 \cdot 2014,8}{576 + 2014,8} = 17,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_2 = \frac{19 \cdot 2014,8 + 75 \cdot 97,2}{97,2 + 2014,8} = 21,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коэффициенты  $\beta_1$  и  $\beta_2$  определяют соответственно по формулам (26) и (27):

$$\beta_1 = \frac{1,16 \cdot (75 - 19)^{\frac{4}{3}}}{4 \cdot (75 - 17,7) + 0,025 \cdot (75^2 - 17,7^2)} = 0,686;$$

$$\beta_2 = \frac{1,66 \cdot (21,6 - 19)^{\frac{4}{3}}}{4 \cdot (21,6 - 13,15) + 0,025 \cdot (21,6^2 - 13,15^2)} = 0,144.$$

Коэффициенты  $\eta_1$  и  $\eta_2$  определяют соответственно по формулам (24) и (25):

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + 0,686} = 0,59;$$

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + 0,144} = 0,87.$$

Величина баланса лучистой теплоты находят по формуле (23):

$$\Delta Q = 54108 \cdot 0,59 - (52000 - 11280) \cdot 0,87 = -3502 \text{ Вт}.$$

Величину  $\Delta t$  при отрицательном балансе лучистой теплоты определяют по формуле (32):

$$\Delta t = \frac{-3502}{(576 + 2014,8) \cdot (4 + 0,025 \cdot (17,7 + 21,6))} = -0,27 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Радиационную температуру помещения  $t_r$  определяют по формуле (22):

$$t_r = \frac{(21,6 - 0,26) \cdot 576 + (19 - 0,28) \cdot 2014,8 + 75 \cdot 97,2}{2688} = 19,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученное значение ниже определенного в Е.2 значения комфортной радиационной температуры помещения  $t_r = 22,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Несмотря на то что радиационная температура выше расчетной температуры воздуха, а результирующая температура находится в допустимом диапазоне, условие комфортности в помещении выполняется не полностью. Для улучшения комфортности тепловой обстановки следует увеличить радиационную температуру за счет увеличения площади панелей и уменьшения температуры их поверхности.

**Уточненный метод расчета теплоотдачи панели и тепловых условий в помещении**

Суммарная теплоотдача панели в помещении складывается из конвективной и лучистой составляющих.

Конвективную теплоотдачу панели  $Q_{пк}$ , Вт, определяют по формуле

$$Q_{пк} = F_n \alpha_k^n (t_n - t_B), \quad (Ж.1)$$

где  $F_n$  – то же, что в формуле (4);

$\alpha_k^n$  – коэффициент конвективной теплоотдачи поверхности панели, Вт/(м<sup>2</sup> • °С);

$t_n$  – то же, что в формуле (10);

$t_B$  – то же, что в формуле (1).

Лучистую теплоотдачу панели  $Q_{пл}$ , Вт, определяют по формуле

$$Q_{пл} = Q_{пл.но} + Q_{пл.во}, \quad (Ж.2)$$

где  $Q_{пл.но}$  – лучистая теплоотдача в сторону поверхности наружных ограждений, Вт; определяют по формуле

$$Q_{пл.но} = 4,9 \left( \left( \frac{t_n}{100} \right) \cdot 4 - \left( \frac{t_{но}}{100} \right) \cdot 4 \right) \varphi \sum F_n, \quad (Ж.3)$$

где  $t_n$  – то же, что в формуле (10);

$t_{но}$  – то же, что в формуле (22);

$\varphi$  – коэффициент облученности поверхности наружных ограждений поверхностью панели;

$F_n$  – то же, что в формуле (4);

$Q_{пл.во}$  – лучистая теплоотдача в сторону поверхности внутренних (остальных) ограждений, Вт; определяют по формуле

$$Q_{пл.во} = 4,9 \left( \left( \frac{t_n}{100} \right) \cdot 4 - \left( \frac{t_{во}}{100} \right) \cdot 4 \right) (1 - \varphi) \sum F_n, \quad (Ж.4)$$

где  $t_n$  – то же, что в формуле (10);

$t_{во}$  – то же, что в формуле (22);

$\varphi$  – то же, что в формуле (Ж.3);

$F_n$  – то же, что в формуле (4).

При расположении модулей панелей перпендикулярно наружному ограждению увеличение числа модулей принимают симметрично от оси наружного ограждения в обе стороны. При расположении модулей панелей параллельно наружному ограждению увеличение числа модулей принимают от наружного ограждения в сторону противоположного ограждения.

Значения суммарных коэффициентов облученности  $\varphi$  в зависимости от числа модулей панелей и геометрии помещения приведены на рисунке Ж.1.

При расчете лучистой теплоотдачи панели рассматривается случай дискретного расположения панели  $П$ , которая имеет модельный размер по ширине и размер на глубину, совпадающий с глубиной помещения (рисунок Ж.2). При этом число модулей панелей по ширине может быть произвольным при условии соответствия требуемой суммарной поверхности нагрева.

Температуру поверхности наружных ограждений  $t_{но}$ , °С, определяют как среднюю по площади двух частей ( $F_{но.1}$ ,  $F_{но.2}$ ), например наружной стены ( $t_{но.1}$ ) и окна ( $t_{но.2}$ ), по формуле

$$t_{но} = \frac{t_{но.1} F_{но.1} + t_{но.2} F_{но.2}}{F_{но.1} + F_{но.2}}. \quad (Ж.5)$$

Температуру первой и второй частей ограждения (соответственно  $t_{но.1}$  и  $t_{но.2}$ , °С) определяют по формулам

$$t_{но.1} = \frac{F_{но.1} (q_l + k_{но.1} t_H) + Q_{пл.но.1} - \frac{K_{л.но.1}}{K_{во}} (Q_k + Q_{пк})}{\left(1 + \frac{K_{но}}{K_{во}}\right) K_{л.но} + K_{но} + k_{но} F_{но}} + \frac{t_B \left( K_{но.1} + \left(1 + \frac{K_{но}}{K_{во}}\right) K_{л.но.1} \right)}{\left(1 + \frac{K_{но}}{K_{во}}\right) K_{л.но} + K_{но} + k_{но} F_{но}}; \quad (Ж.6)$$

$$t_{но.2} = \frac{F_{но.2} (q_l + k_{но.2} t_H) + Q_{пл.но.2} - \frac{K_{л.но.2}}{K_{во}} (Q_k + Q_{пк})}{\left(1 + \frac{K_{но}}{K_{во}}\right) K_{л.но} + K_{но} + k_{но} F_{но}} + \frac{t_B \left( K_{но.2} + \left(1 + \frac{K_{но}}{K_{во}}\right) K_{л.но.2} \right)}{\left(1 + \frac{K_{но}}{K_{во}}\right) K_{л.но} + K_{но} + k_{но} F_{но}}. \quad (Ж.7)$$

Температуру поверхности внутренних ограждений  $t_{во}$ , °С, определяют по формуле

$$t_{во} = \left(1 + \frac{K_{но}}{K_{во}}\right) t_B - \frac{K_{но}}{K_{во}} t_{но} - \frac{Q_k + Q_{пк}}{K_{во}}. \quad (Ж.8)$$

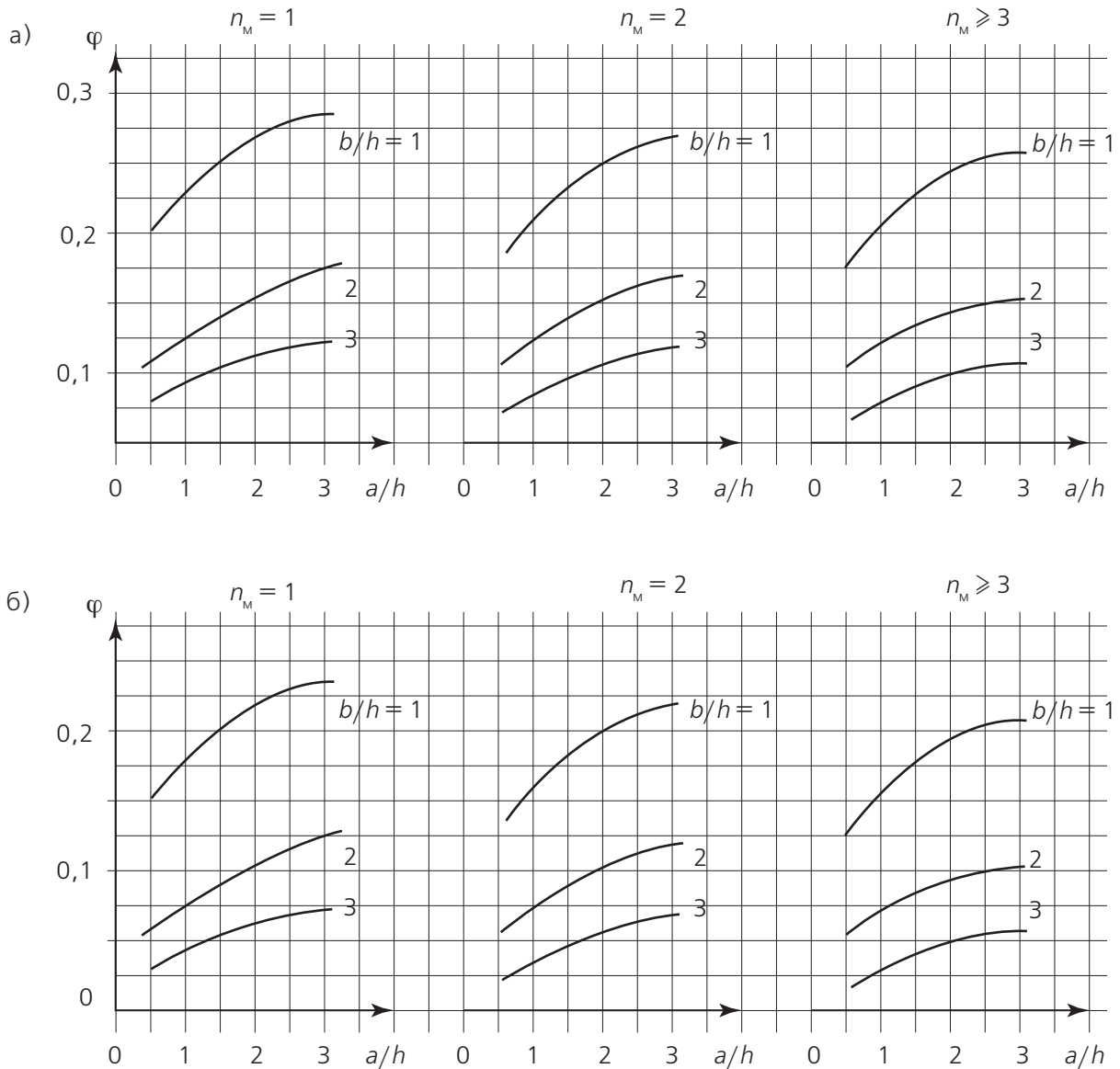


Рисунок Ж.1 – Суммарные коэффициенты облученности с панели на наружное ограждение:  
 а – при расположении модулей панелей перпендикулярно наружному ограждению;  
 б – при расположении модулей панелей параллельно наружному ограждению;  
 число модулей панелей  $n_m = 1, 2, 3$  и более; размеры помещения  $a, b, h$  см. на рисунке Ж.2

В приведенных формулах индекс «но.1» означает принадлежность величины к первой части наружного ограждения, индекс «но.2» означает принадлежность величины ко второй части наружного ограждения, индекс «но» означает принадлежность величины к сумме первой и второй частей наружного ограждения. Так, величина  $Q_{\text{пл.но.1}}$  показывает долю лучистой теплоотдачи панели в сторону первой части наружного ограждения, а величина  $Q_{\text{пл.но.2}}$  показывает долю лучистой теплоотдачи панели в сторону второй части наружного ограждения.

В формулах (Ж.6)–(Ж.8) принято с соответствующими индексами:

$F_{\text{но.1}}, F_{\text{но.2}}$  – то же, что в формуле (Ж.5);

$q_n$  – плотность лучистого теплового потока, поступающего на поверхности в помещение от внутренних источников и солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>; определяют по формуле

$$q_n = \frac{Q_{\text{пл}}}{F_n + F_{\text{но}} + F_{\text{во}}}, \quad (\text{Ж.9})$$

где  $Q_{\text{пл}}$  – то же, что в формуле (Ж.2);

$F_n$  – то же, что в формуле (4);

$F_{\text{но}}$  – то же, что в формуле (15);

$F_{\text{во}}$  – то же, что в формуле (22);

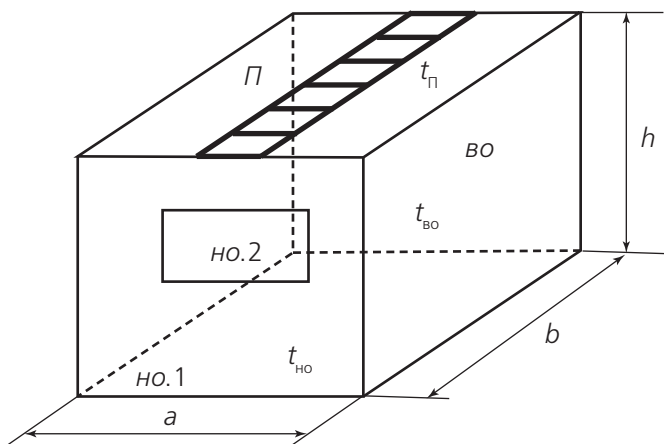


Рисунок Ж.2 – К определению облученности наружного ограждения греющей поверхностью

$k_{но}$  – частичный коэффициент теплопередачи всего наружного ограждения за вычетом теплообмена на внутренней поверхности, Вт/(м<sup>2</sup> · °С); определяют по формуле

$$k_{но} = \frac{k_{но.1} F_{но.1} + k_{но.2} F_{но.2}}{F_{но.1} + F_{но.2}}, \quad (Ж.10)$$

где  $F_{но.1}, F_{но.2}$  – то же, что в формуле (Ж.5);

$t_{п}$  – то же, что в формуле (15);

$Q_{пл.но}$  – лучистая теплоотдача панели в сторону поверхности наружных ограждений, Вт;

$K_{л.но}$  – коэффициент, Вт/°С; определяют по формуле

$$K_{л.но} = F_{но} \alpha_{л}, \quad (Ж.11)$$

где  $F_{но}$  – то же, что в формуле (15);

$K$  – коэффициент, Вт/°С; определяют по формуле

$$K = F \alpha_{к}, \quad (Ж.12)$$

где  $F$  – площадь поверхности ограждения, м<sup>2</sup>;

$\alpha_{л}$  и  $\alpha_{к}$  – коэффициенты лучистого и конвективного теплообмена на поверхностях, Вт/(м<sup>2</sup> · °С); определяют по формулам

$$\alpha_{л} = 4,9b \left( 1 - \frac{F_{п}}{F_{но}} \varphi \right); \quad (Ж.13)$$

$$\alpha_{к} = A_1 \sqrt[3]{|t_{б} - t|}, \quad (Ж.14)$$

где  $b$  – корректирующий коэффициент, для принятого диапазона температуры в помещении; определяют по формуле

$$b = 0,82 + 0,005(t_{п} + t_{но}), \quad (Ж.15)$$

где  $t_{п}$  – то же, что в формуле (10);

$t_{но}$  – то же, что в формуле (22);

$F_{п}$  – то же, что в формуле (4);

$F_{но}$  – то же, что в формуле (15);

$\varphi$  – то же, что в формуле (Ж.3);

$A_1$  – коэффициент, зависящий от положения поверхности: для нагретого пола – 2,16; для стен – 1,66; для нагретого потолка – 1,16;

$t_{б}$  – то же, что в формуле (1);

$t$  – температура поверхности, °С;

$Q_{к}$  – конвективный тепловой поток, поступающий в помещение от внутренних источников (в расчетных условиях – расход теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха), Вт;

$Q_{пк}$  – то же, что в формуле (Ж.1).

Радиационную температуру помещения  $t_{р}$ , °С, используемую для оценки комфортности тепловой обстановки, определяют как среднюю по площади температуру поверхностей

$$t_{р} = \frac{F_{п} t_{п} + F_{во} t_{во} + F_{но} t_{но}}{F_{п} + F_{во} + F_{но}}, \quad (Ж.16)$$

где  $F_{п}$  – то же, что в формуле (4);

$t_{п}$  – то же, что в формуле (10);

$F_{во}, t_{во}, t_{но}$  – то же, что в формуле (22);

$F_{но}$  – то же, что в формуле (15).

Решение системы в виде (Ж.6)–(Ж.8) неоднозначно, т. к. формулы включают значения величин  $Q_{п}$ , представляющих собой функцию результата – температуры  $t_{но}$  и  $t_{во}$ . Поэтому решение осуществляется с помощью итерации. Начальные значения величин в формулах принимают без учета особенностей лучистого теплообмена.

## Библиография

- [1] Стандарт ДИН EN 14037–2003 (DIN EN 14037–2003) Панели теплоизлучающие, монтируемые на потолке и снабжаемые водой при температуре ниже 120 °С. Ч. 1, 2, 3 (Deckenstrahlplatten fuer Wasser mit einer Temperatur unter 120 °C – Teil 1, Teil 2, Teil 3)
- [2] Стандарт ИСО 7730:2005 (ISO 7730:2005) Эргономика тепловых условий. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта (Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria)
- [3] ASHRAE Handbook – Fundamentals – SI Edition. 2005
- [4] Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещения: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди. – М.: Стройиздат, 1981

УДК 697.34:681.5.01(083.74)

Ключевые слова: панели лучистого отопления, комфортность тепловой обстановки в помещении, теплоотдача панели, потери давления теплоносителя

Ответственный за производство *А. Г. Жучков*  
Редактор *П. А. Корсунская*  
Корректор *Н. О. Рычкова*  
Компьютерная верстка *А. Г. Жучков*

Подписано в печать 00.00.2009. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Фрисет-С.  
Печать офсетная. Тираж 1 000 экз. Заказ №

ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС»  
127051, Москва, а/я 141, «АВОК-ПРЕСС»  
[www.abokbook.ru](http://www.abokbook.ru), [www.abok.ru](http://www.abok.ru), e-mail: [book@abok.ru](mailto:book@abok.ru)  
Тел.: (495) 621-80-48, 621-64-29

Отпечатано в ООО «Привет Принт»

ISBN 978-5-98267-058-8



9 785982 670588 >