



**ЛАБОРАТОРИЯ
ЛУЧИСТОГО
ОТОПЛЕНИЯ**



**СИСТЕМЫ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ НА
БАЗЕ ВОДЯНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ
МАРКИ HELIOS 750**

Рекомендации по проектированию

Версия 1.3

Нижний Новгород, 2020

Предисловие

Рекомендации разработаны ООО «Флайг+Хоммель» в рамках договора от 17.10.2019 № 2018/141 с в ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». Работа выполнена в Учебно-научно-исследовательском центре «Системы отопления с использованием низкотемпературных инфракрасных излучателей» (далее – УНИЦ «СОНИИ») авторским коллективом в составе: М.В. Бодров – научный руководитель УНИЦ «СОНИИ», А.А. Смыков – начальник УНИЦ «СОНИИ», М.С. Морозов – инженер УНИЦ «СОНИИ».

© ООО «Флайг+Хоммель», 2020.

Настоящий документ является интеллектуальной собственностью ООО «Флайг+Хоммель» и не может быть полностью или частично воспроизведен без официального разрешения ООО «Флайг+Хоммель».

Содержание

Введение.....	4
1. Область применения.....	7
2. Нормативные ссылки.....	8
3. Термины, определения и сокращения	9
4. Общие положения.....	11
5. Особенности систем отопления на базе ВИИ.....	12
6. Конструкция и характеристики профилей.....	14
6.1. Устройство отдельного модуля профиля	14
6.2. Характеристики профилей.....	14
7. Проектирование системы отопления на базе ВИИ.....	16
7.1. Общие требования.....	16
7.2. Определение тепловой мощности системы отопления.....	16
7.3. Размещение профилей.....	19
7.4. Подключение профилей.....	20
7.5. Использование дополнительного оборудования в системе.....	22
7.6. Тепловой поток профилей.....	25
7.7. Рекомендации по гидравлическому расчету.....	25
7.8. Рекомендации по монтажу системы отопления.....	28
7.9. Рекомендации по эксплуатации системы отопления.....	30
8. Сравнительный технико-экономический анализ применения ВИИ.....	32
8.1. Исходные данные.....	32
8.2. Требуемое сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций.....	33
8.3. Расчёт капитальных затрат на устройство теплоизоляции в наружных ограждениях здания.....	36
8.4. Затраты на тепловую энергию.....	37
8.5. Определение совокупных дисконтированных затрат.....	38
Библиографический список.....	39
Приложения.....	41

Введение

В современном мире проблема энергосбережения является одной из важнейших в строительной отрасли России, ввиду роста цен на энергоносители. Большая доля энергетических ресурсов расходуется на отопление крупнообъемных помещений. Среди известных способов оптимизации и снижения затрат тепловой энергии при отоплении таких помещений – это использование систем лучистого отопления. Среди прочих способов оно является приоритетным и заслуживающим особого внимания, т.к., по сравнению с водяными и воздушными системами отопления, требует меньших затрат теплоты без снижения уровня теплового комфорта.

В отопительных системах на базе инфракрасных излучателей (ИИ) теплота подается в рабочую зону направленным потоком теплового излучения. Так как воздушные массы в помещении не поглощают электромагнитное излучение в инфракрасном спектре, а лишь рассеивают его, то энергия от ИИ аккумулируется на облученных поверхностях и затем способствует формированию конвективных токов, обеспечивающих нагрев воздуха рабочей зоны, что указывает на принципиальное отличие от «традиционных» систем отопления и перспективность использования лучистых систем.

Нормативная база, определяющая требуемые параметры микроклимата крупнообъемных помещений, не учитывает специфику работы систем лучистого отопления, она, в свою очередь, является определяющей при рассмотрении преимуществ данных систем по сравнению с водяными и воздушными. По объему затрачиваемой тепловой энергии превосходство лучистых систем отопления может составлять до 40 %. Одним из факторов, позволяющих снизить энергопотребление является снижение температуры воздуха рабочей зоны $t_{в,р}$ на величину до 4 °С по сравнению с нормативными значениями, предусмотренными при проектировании «традиционных» систем отопления. Это становится возможным за счёт большей плотности потока теплового из-

лучения в помещениях с системой отопления на базе ИИ, которое непосредственно нагревает поверхность тела людей, животных.

Наиболее энергоэффективным видом лучистого отопления ввиду ряда факторов можно считать отопление на базе газовых инфракрасных излучателей (ГИИ). В таких системах исключено использование промежуточного теплоносителя (воды, пара), тепловая энергия поступает в помещение от первичного энергоносителя – газа. Но использование подобных систем связано с некоторыми сложностями, например, применение любых видов ГИИ в категорийных помещениях ограничено, оно не допускается:

- во взрывоопасных зонах производственных и складских помещений;
- в помещениях подвальных и цокольных этажей;
- зданиях V степени огнестойкости;
- зданиях любой степени огнестойкости классов конструктивной пожарной опасности С1, С2 и С3.

Кроме того, использование «светлых» ГИИ связано с выбросом уходящих газов непосредственно в объём обслуживаемого помещения, что накладывает свой отпечаток на спектр помещений, где возможна их установка. Стоит учесть, что подключение газа во многих регионах России сопряжено с крупными финансовыми затратами.

Одним из самых эффективных видов лучистого отопления, применение которого является не столь ограниченным, является система лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей (ВИИ). Отопительные приборы в данных системах – излучающие профили или потолочные излучающие панели, в качестве теплоносителя используется горячая вода (от 30 до 130 °С). Тепловая энергия передаётся от теплоносителя к ВИИ, он, в свою очередь начинает излучать электромагнитные волны в инфракрасном диапазоне, что обеспечивает отопление обслуживаемого помещения.

Одной из причин малого распространения систем отопления на базе ВИИ, является отсутствие апробированной и научно-обоснованной методики проектирования.

Стоит отметить, что использование систем отопления на базе ВИИ характеризуется рядом преимуществ, ведущим к высокой энергоэффективности системы отопления, таким как: низкая тепловая инерция, что обеспечивает короткое время реагирования; простое и эффективным регулирование, за счёт небольшого количества теплоносителя в системе; направленная подача тепловой энергии в рабочую зону помещения, что позволяет создать зональную систему отопления; простота монтажа и обслуживания, за счёт кратного уменьшения длины транзитных трубопроводов; снижение трансмиссионных тепловых потерь через покрытие здание, к которому ведёт небольшой градиент температуры воздуха по высоте помещения и отсутствие «тепловой подушки»; возможность применения возобновляемых источников энергии и систем рекуперации теплоты; отсутствие сквозняков и пылевых масс, благодаря минимизации конвективных процессов; бесшумная работа системы; экономия пространства; долгий срок службы.

Настоящие рекомендации предназначены для использования при проектировании систем лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей, как одного из наиболее перспективных направлений повышения энергоэффективности систем отопления производственных и общественных зданий и помещений.

1. Область применения

Настоящие рекомендации распространяются на проектирование систем лучистого водяного отопления помещений с потолочными подвесными излучающими профилями Helios 750 (далее – профили из отдельных модулей стандартной длины (1...6 м с шагом 1 м)).

2. Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003;

СП 118.13330.2012* Общие здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009;

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

ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях;

СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;

СП 347.1325800.2017 Внутренние системы отопления, горячего и холодного водоснабжения. Правила эксплуатации;

СП 73.13330.2016 Внутренние санитарно-технические системы зданий. СНиП 3.05.01-85 (с Изменением N 1);

СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

3. Термины, определения и сокращения

В настоящих рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями и сокращения:

3.1. Лучистое отопление: отопление помещения и/или обогрев рабочих мест с помощью инфракрасных излучателей.

3.2 Водяной инфракрасный излучатель (далее – ВИИ): прибор, предназначенный для отопления и/или обогрева рабочих мест путём передачи тепловой энергии в инфракрасном диапазоне спектра от теплоносителя – вода.

Примечание – температура наружной поверхности излучателя обычно находится в пределах 30...150 °С.

3.3. Результирующая температура помещения: комплексный показатель радиационной температуры помещения и температуры воздуха помещения.

3.4. Тепловая мощность излучателя: количество теплоты, выделяющейся в излучателе в единицу времени.

3.5. Температура воздуха в помещении: средняя или локальная температура воздуха в пределах обслуживаемой зоны помещения, измеренная или принятая по нормам.

3.6. Излучающий профиль: полое прессованное изделие, предназначенное для отопления помещений при помощи инфракрасного излучения, сечение которого включает одно внутреннее полое пространство, используемое в качестве канала для подачи теплоносителя.

3.7. Радиационный отопительный прибор: отопительный прибор, передающий теплоту в помещение, преимущественно, посредством инфракрасного излучения.

3.8. Тепловые условия: совокупность тепловых и температурных параметров обстановки в помещении.

3.9. Лучистая теплоотдача: тепловой поток, передаваемый объектом в сторону окружающих его поверхностей.

3.10. Степень теплового комфорта: удовлетворенность человека условиями температурной и тепловой среды.

3.11. Радиационная температура помещения: осредненная по площади (по коэффициентам облученности) температура внутренних поверхностей ограждений помещения и отопительных приборов.

3.12. Теплоотдающая поверхность – нагреваемая теплоносителем поверхность профиля, отдающая теплоту в помещение.

3.13. В настоящих рекомендациях применены следующие сокращения:

ГИИ – газовый инфракрасный излучатель;

ВИИ – водяной инфракрасный излучатель.

4. Общие положения

4.1. Профили применяются для отопления помещений любого типа высотой от 3 до 20 м (крупнообъёмные помещения, такие как: производственные помещения; «шоурумы»; здания транспортной инфраструктуры; спортивные комплексы и т.д.).

Профиль Helios 750 прошёл испытания на устойчивость к аммиаку и может быть применён для эксплуатации в животноводческих помещениях. В этом случае соединения и крепления следует применять из нержавеющей стали (латунные элементы не являются устойчивыми к аммиаку).

4.2. Профили устанавливаются под потолком помещения. Профили занимают минимальное пространство, их конструкция позволяет быстро осуществлять монтаж.

При проектировании следует учитывать нагрузку профилей на плиты перекрытия.

5. Особенности систем отопления на базе ВИИ

5.1. Профили относятся к радиационным отопительным приборам. Большая часть теплоты передаётся в помещение посредством излучения, остальная часть – за счёт конвекции. Теплоносителем является горячая вода.

5.2. Основное преимущество системы отопления на базе ВИИ заключается в передаче теплоты непосредственно поверхностям в помещении (в том числе поверхности организма человека) без нагрева воздуха помещения без нагрева воздуха помещения.

5.3. 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 профилей обогрев помещения осуществляют за счет повышения температуры внутренних поверхностей.

5.4. Более высокая степень теплового комфорта 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 холодный период года) воспринимается человеком комфортно;

- равномерного распределения температуры воздуха по высоте помещения и отсутствия перегрева верхней зоны и недогрева нижней зоны помещения, что наблюдается при конвективном отоплении путем нагрева воздуха помещения.

5.5. При использовании систем лучистого отопления температура воздуха в обслуживаемой (рабочей) зоне должна быть не менее чем на 1 °С ни-

же максимально допустимой температуры в холодный период года и не должна быть ниже минимально допустимой температуры в холодный период года более чем на 3 °С для общественных и на 4 °С для производственных помещений.

6. Конструкция и характеристики профилей

6.1. Устройство отдельного модуля профиля

Профиль – полое прессованное изделие, сечение которого включает одно внутреннее полое пространство, используемое в качестве канала для подачи теплоносителя. Профиль выполнен из анодированного алюминиевого сплава AlMgSi0,5 (рисунок 6.1). С двух сторон профиля для подключения теплоносителя нарезана резьба.

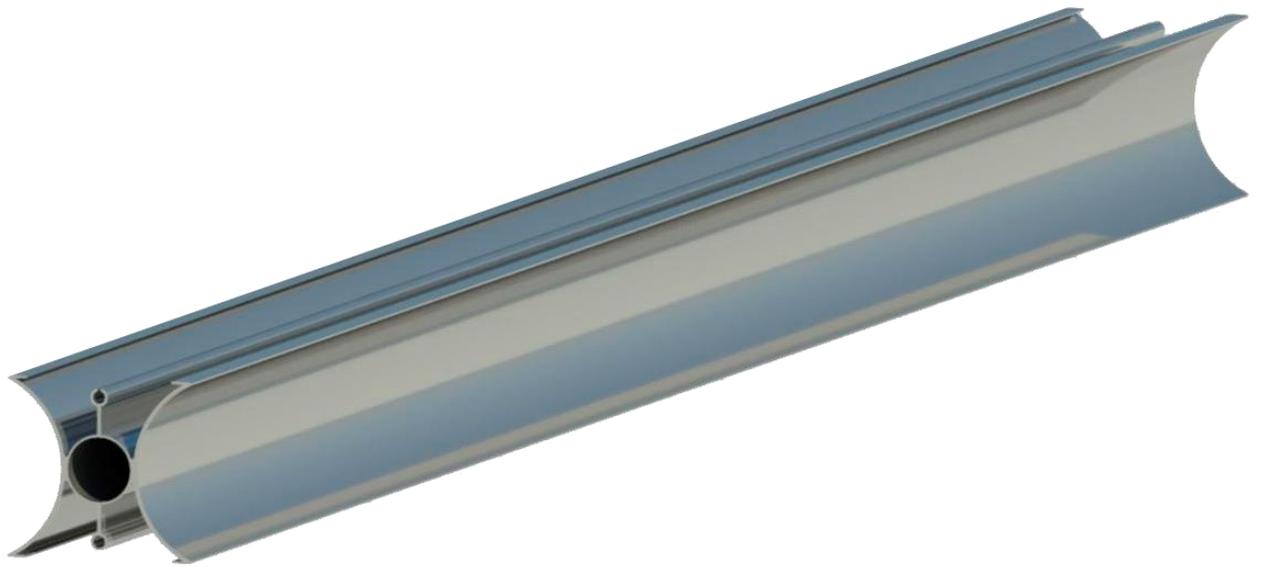


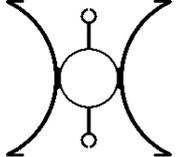
Рисунок 6.1. Общий вид профиля Helios 750

Профилирование теплоотдающей поверхности служит для увеличения жесткости профиля, что позволяет располагать оси подвеса профиля (стационарные или подвижные) на расстоянии до 3 м друг от друга.

6.2. Характеристики профилей

Габаритные и монтажные размеры, а также технические характеристики профиля Helios 750 приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1. Технические характеристики профиля Helios 750

Характеристики	Ед. изм.	Helios 750
Профиль	-	
Размеры	мм	170x170
Удельный тепловой поток в режиме нагревания при $\Delta T=50\text{ }^{\circ}\text{C}^*$	Вт/п.м	372,66
Удельная площадь	м ² /п.м	1,3
Удельная ёмкость	л/п.м	2,6
Удельная масса профиля	кг/п.м	7,1
Удельная масса профиля с водой	кг/п.м	9,2
Подключение	дюйм	2

Примечания:

*Согласно проведённым лабораторным исследованиям.

7. Проектирование системы отопления на базе ВИИ

7.1. Общие требования

Системы отопления должны быть рассчитаны на обеспечение в отапливаемых помещениях при расчетных параметрах наружного воздуха температуры внутреннего воздуха в допустимых пределах в соответствии с требованиями СП 60.13330.2016.

Комфортность тепловой обстановки в помещении при отоплении профилями оценивается 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.

7.2. Определение тепловой мощности системы отопления

Для определения теплотерь отдельными помещениями и зданием в целом необходимо иметь следующие исходные данные:

- планы этажей и характерные разрезы по зданию со всеми строительными размерами;
- выкопировку из генерального плана с обозначением стран света и розы ветров;
- назначение каждого помещения;
- место постройки здания (название населенного пункта);
- конструкции всех наружных ограждений, обоснованные теплотехническим расчетом.

Все отапливаемые помещения здания на планах следует обозначать порядковыми номерами (начиная с № 01 и далее – помещения подвала; с № 101 и далее – помещения первого этажа; с № 201 и далее – второго этажа и т. д.).

Помещения номеруют слева направо, причем лестничные клетки обозначают отдельно буквами или римскими цифрами и независимо от этажности здания рассматривают как одно помещение.

При определении тепловой мощности внутренней системы отопления Q_o , Вт, необходимо учитывать:

- а) потери теплоты через наружные ограждающие конструкции $Q_{огр}$, Вт;
- б) расход теплоты на нагревание наружного воздуха, проникающего в помещения за счет инфильтрации $Q_{инф}$, Вт.

$$Q_o = Q_{но} + Q_{инф}. \quad (7.1)$$

Потери теплоты помещениями через ограждающие конструкции, учитываемые при проектировании систем отопления, разделяют условно на основные и добавочные. Их следует определять, суммируя потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции с округлением до 10 Вт, по формуле:

$$Q_{огр} = \frac{A}{R_o} (t_b - t_n^B) (1 + \sum \beta) n = K \cdot A (t_b - t_n^B) (1 + \sum \beta) n, \text{ Вт}, \quad (7.2)$$

где: A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м^2 ; K – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; R_o – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; t_b – расчетная температура воздуха помещения, $^\circ\text{C}$, с учетом повышения ее по высоте (для помещений высотой более 4 м); t_n^B – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года (по параметрам Б) при расчете потерь теплоты через наружные ограждения или температура воздуха более холодного помещения при расчете потерь теплоты через внутренние ограждающие конструкции; β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь.

Таким образом, чтобы определить потери теплоты помещением, необходимо знать величины A , K (либо R_o), t_b , t_n^B , n и β . Коэффициент теплопередачи K (либо R_o) ограждающей конструкции определяют теплотехническим расчетом, а если она типовая, то K принимают по данным справочной литературы.

Теплообмен через ограждения между смежными отапливаемыми помещениями при расчете теплотерь учитывается, если разность температур воздуха этих помещений более $3\text{ }^\circ\text{C}$.

Расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха $Q_{\text{инф}}$, Вт, определяется по:

$$Q_{\text{инф}} = 0,278 \cdot \Sigma G_{\text{инф}} \cdot c_v \cdot (t_b - t_n) \cdot k, \text{ Вт}, \quad (7.3)$$

где: $G_{\text{инф}}$ – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения; c_v – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C); k – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный 0,7 для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами, 0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами и 1,0 – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов.

Расход инфильтрующегося воздуха $G_{\text{инф}}$, кг/ч, определяется по формуле:

$$G_{\text{инф}} = 0,215 \Sigma A_1 \Delta p^{0,67} / R_{\text{инф}}, \text{ кг/ч}, \quad (7.4)$$

где: A_1 – площадь светопрозрачной конструкции, м²; Δp – расчетная разность давлений, Па, определяемая по:

$$\Delta p = 0,5 \cdot (H - h) \cdot (\rho_n - \rho_b) \cdot g + 0,25 \cdot \rho_n \cdot v_B^2 \cdot (c_n - c_z) \cdot K_{\text{дин}}, \text{ Па}, \quad (7.5)$$

где: H – высота здания от отметки пола 1-го этажа до оголовка вытяжной шахты или верхней отметки здания, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; v – скорость движения наружного воздуха по параметрам Б, м/с; c_n , c_z – аэродинамические коэффициенты, соответственно на наветренной и заветренной поверхностях фасадов здания; $K_{\text{дин}}$ – поправочный коэффициент, учи-

тывающий изменение скорости ветра в различных типах местности и по высоте, [46]; $R_{\text{инф}}$ – сопротивление воздухопроницанию, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$, определяется для окон по:

$$R_{\text{инф}} = \frac{1}{G_{\text{н}}} \left(\frac{\Delta p_1}{\Delta p_0} \right)^{0,67}, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}, \quad (7.6)$$

где: Δp_1 – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па:

$$\Delta p_1 = 0,55 \cdot H \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}) \cdot g + 0,03 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot v^2 \cdot g, \text{ Па}, \quad (7.7)$$

Δp_0 – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, $\Delta p_0 = 10$ Па; $G_{\text{н}}$ – нормируемая воздухопроницаемость ограждающей конструкции, $\text{кг} / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

7.3. Размещение профилей

Исходя из условия обеспечения максимальной плотности потока инфракрасного излучения в рабочей зоне помещения – высоту подвеса излучающих профилей следует определять как минимально возможную, исходя из геометрических характеристик помещения и особенностей технологического процесса.

Излучающие профили Helios 750 следует размещать в плане так, чтобы граница нижнего сектора облучения в 90° пересекала верхнюю границу рабочей зоны, а точка пересечения границ нижнего сектора соседних излучателей находилась на верхней границе рабочей зоны. Схема размещения излучающих профилей приведена на рисунке 7.1.

Соответственно, исходя из геометрических закономерностей, максимальное расстояние до ограждающей конструкции L_1 будет равна одному расстоянию от излучателя до верхней границы рабочей зоны H , а между соседними излучателями L_2 будет равна двум расстояниям от излучателя до верхней границы рабочей зоны $2H$.

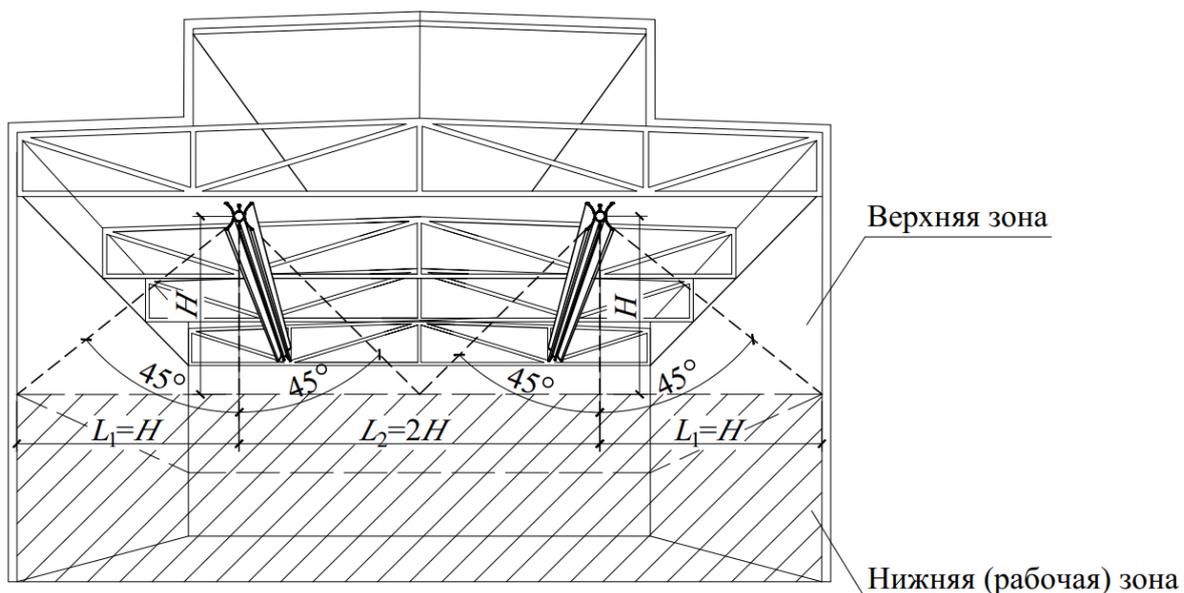


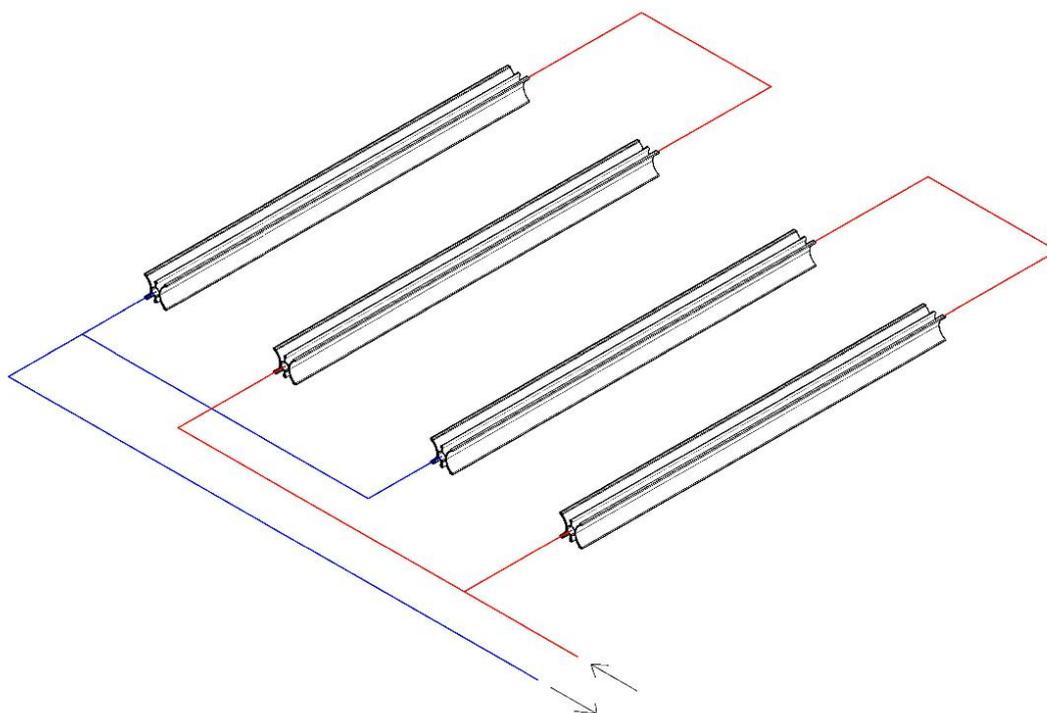
Рисунок 7.1. Схема размещения излучающих профилей

7.4. Подключение профилей

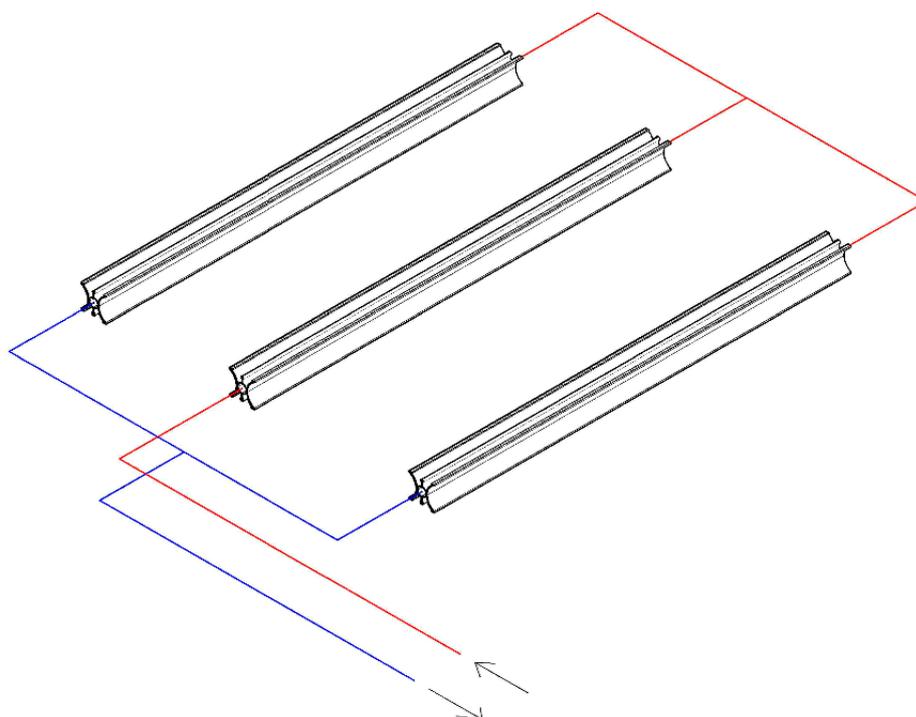
В любой разветвленной системе отопления для эффективной работы необходимо правильное распределение потока теплоносителя. Кроме того, предусматривается возможность отдельного заполнения, опорожнения и отключения любого профиля от системы.

Для систем с использованием однотипных профилей и, соответственно, с одинаковым расходом теплоносителя на профиль, целесообразно применение системы с попутным движением теплоносителя (рисунок 7.2). При этом необходим дополнительный трубопровод.

а) с последовательным подключением профилей



б) с параллельным подключением профилей



в) с попутным движением теплоносителя

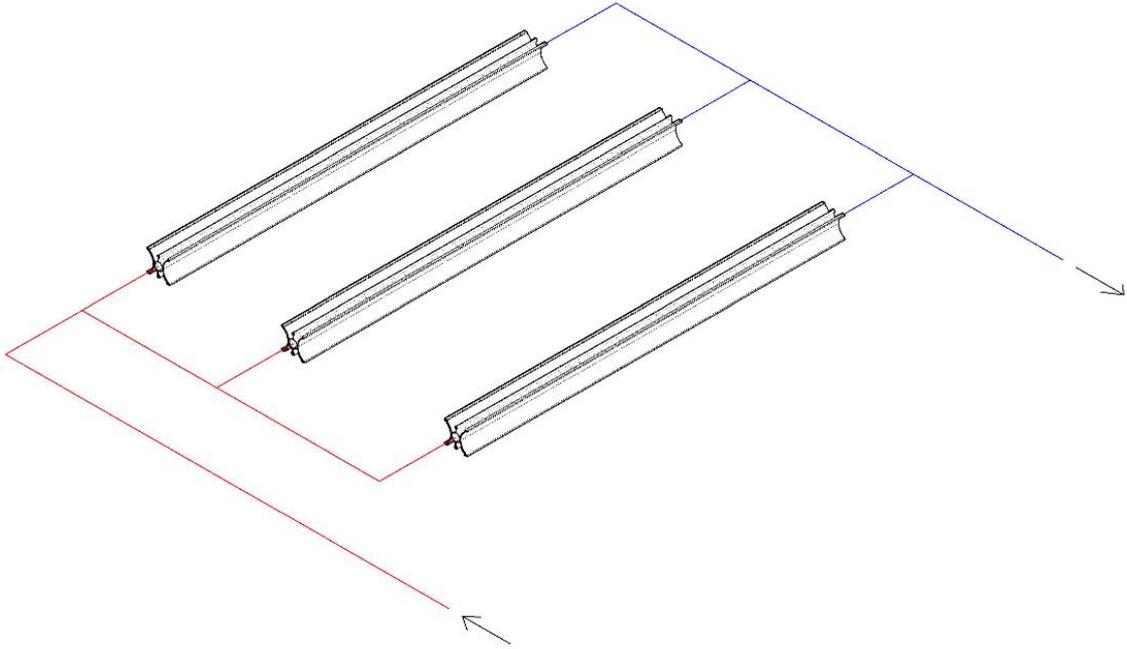


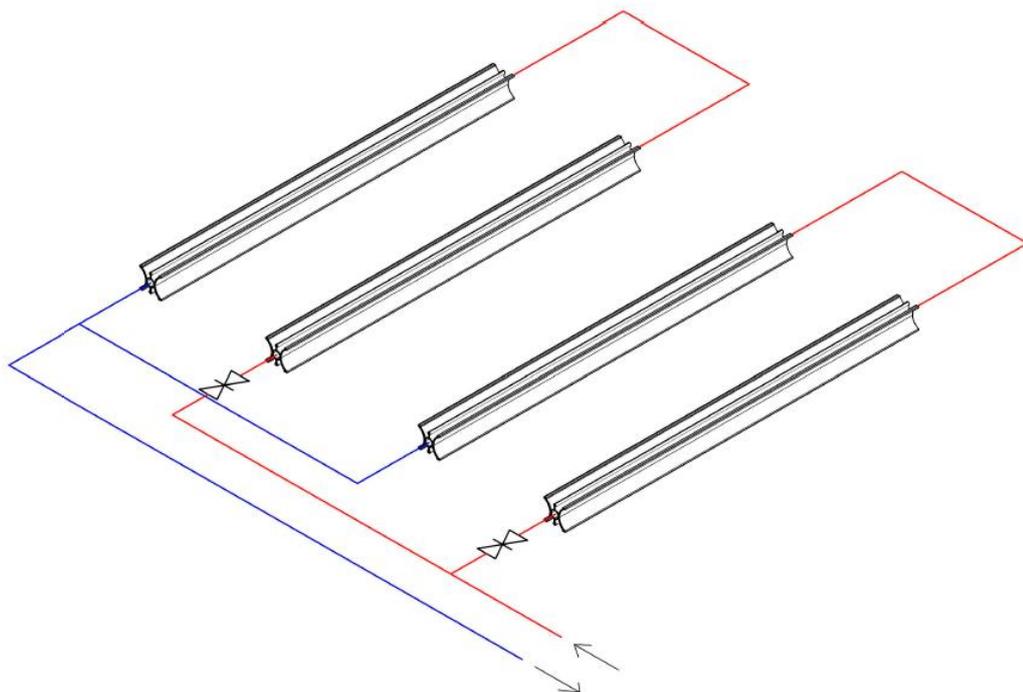
Рисунок 7.2. Схемы подключения профилей

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

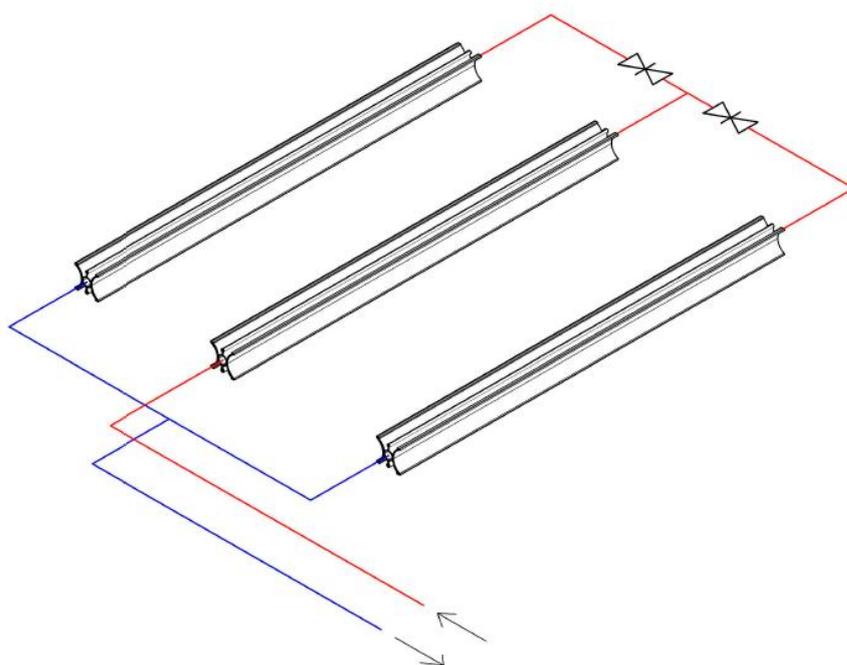
7.5. Использование дополнительного оборудования в системе

При расчете систем, в которых применяются профили различных типов, необходима гидравлическая балансировка. Использование балансировочных клапанов (рисунок 7.3.) значительно упрощает гидравлическую балансировку.

а) с последовательным подключением профилей



б) с параллельным подключением профилей



в) с попутным движением теплоносителя

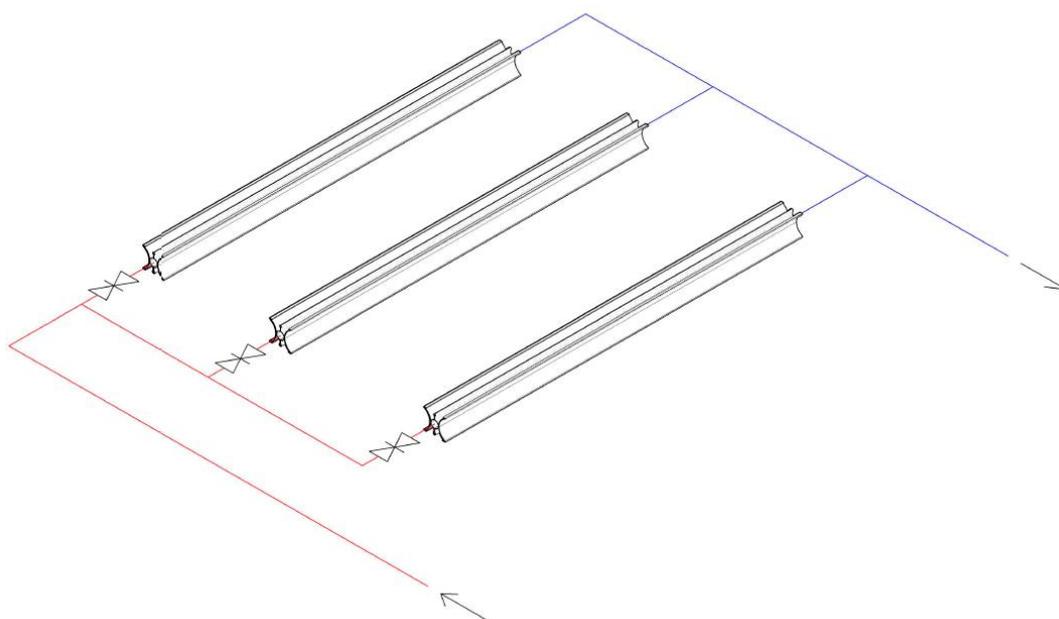


Рисунок 7.3. Схемы подключения профилей с регуляторами расхода

Комплект для регулирования расхода состоит из регулятора расхода, шаровых кранов и кранов для заполнения/опорожнения профиля. Регулятор настраивается на расход, заданный для каждого профиля.

При достаточно высоких потерях давления и постоянном расходе теплоносителя клапан позволяет выполнить гидравлическую балансировку профилей различных типов и длин.

При проектировании системы отопления следует предусматривать компенсацию теплового удлинения излучающих профилей.

Удлинение профилей при нагревании (приращение длины) составляет

$$\Delta l = 0,0267 \cdot (t_m - 5) \cdot l, \text{ мм}, \quad (7.8)$$

где t_t – расчетная температура теплоносителя, °С; l – длина прямого участка профиля, м.

Для компенсации теплового расширения трубопроводов системы отопления и излучающих профилей следует применять:

- естественную компенсацию за счёт геометрических особенностей системы;

- П-образные компенсаторы;
- сифонные компенсаторы.

7.6. Тепловой поток профилей

Удельный тепловой поток профилей был определён в лаборатории УНИЦ «СОНИИ» опытным путём.

По данным испытаний, удельный (на 1 м длины) тепловой поток профилей в стандартных условиях определяется, в зависимости от температурного напора по приложению А:

$$\Delta T = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_b, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7.9)$$

здесь t_1 – температура теплоносителя на входе в профиль, $^\circ\text{C}$; t_2 – температура теплоносителя на выходе из профиля, $^\circ\text{C}$; t_b – температура внутреннего воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$.

Для определения величины удельного теплового потока профиля $q_{\text{уд.пр}}$ используем следующую зависимость:

$$q_{\text{уд.пр}} = a \cdot \Delta T^m, \quad (7.10)$$

где a и m – эмпирические коэффициенты, определённые экспериментально; $a = 2,8881$; $m = 1,2423$.

Тепловой поток профиля

$$Q_{\text{пр}} = q_{\text{уд.пр}} \cdot L_{\text{пр}}, \text{ Вт}, \quad (7.11)$$

где $L_{\text{пр}}$ – длина профиля, м.

7.7. Рекомендации по гидравлическому расчету

Система отопления представляет собой разветвленную сеть трубопроводов, выполняющих важную функцию распределения теплоносителя по отопительным приборам. Целью гидравлического расчета является опреде-

ление диаметров теплопроводов при заданной тепловой нагрузке и расчетном циркуляционном давлении, установленном для данной системы.

Как известно из курса гидравлики, при движении реальной жидкости по трубам всегда имеют место потери давления на преодоление сопротивления двух видов – трения и местных сопротивлений. К местным сопротивлениям относятся тройники, крестовины, отводы, вентили, краны, отопительные приборы, котлы, теплообменники и т. д.

Потери давления на трение в каналах круглого сечения профиля Helios 750 (таблица 7.1)

$$\Delta P_{\text{тр}} = R \cdot l, \text{ Па}, \quad (7.12)$$

где R – удельные потери давления на трение в канале профиля, Па/м; l – длина профиля, м.

Таблица 7.1. Технические характеристики каналов профиля Helios 750 для гидравлического расчета

Характеристики	Ед. изм.	Helios 750
Внутренний диаметр	мм	57
Количество каналов для теплоносителя	шт	1

Удельные потери давления на трение

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = \frac{\lambda}{d} \cdot P_d, \text{ Па}, \quad (7.13)$$

где λ – коэффициент сопротивления трения канала профиля; d – диаметр канала профиля, м; w – скорость движения воды в канале, м/с; ρ – плотность воды, кг/м³.

Суммарные потери давления, возникающие при движении воды в теплопроводе циркуляционного кольца, должны быть меньше расчетного циркуляционного давления, устанавливаемого для данной системы примерно на 10 %.

Расчетное циркуляционное давление – это давление, необходимое для поддержания принятого гидравлического режима системы отопления. Это то давление, которое может быть израсходовано в расчетных условиях на преодоление гидравлических сопротивлений в системе. Чаще всего гидравлический расчет теплопроводов систем водяного отопления выполняют либо методом удельных потерь давления на трение, либо методом характеристик.

При использовании первого метода потери давления на трение и в местных сопротивлениях определяют отдельно для каждого участка; диаметры трубопроводов определяют при постоянных перепадах температуры воды во всех стояках и ветвях, равных расчетному перепаду температуры воды во всей системе $\Delta t_{\text{сист}}$.

Во втором методе устанавливают распределение потоков воды в циркуляционных кольцах системы и получают переменные (неравные) перепады температуры воды в стояках и ветвях ($\Delta t_{\text{ст}} \leq \Delta t_{\text{сист}}$).

Предварительно выбирают диаметр теплопровода на каждом расчетном участке с учетом допустимых скоростей движения воды.

Расчетным участком называют участок теплопровода с неизменным расходом теплоносителя. При расчете главного циркуляционного кольца (наиболее неблагоприятного в гидравлическом отношении циркуляционного контура) рекомендуется предусматривать запас давления на неучтенные сопротивления, но не более 10 % расчетного давления:

$$\sum (Rl + Z)_{\text{г.ц.к.}} = 0,9 \Delta p_p. \quad (7.14)$$

Коэффициент сопротивления трения рассчитывается по зависимости Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{K_s}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (7.15)$$

где: K_s – абсолютная эквивалентная шероховатость поверхности каналов профилей, мм; Re – число Рейнольдса.

Абсолютная эквивалентная шероховатость стенок каналов (алюминиевая технически гладкая труба) – $K_s = 0,015$ мм.

Число Рейнольдса определяется по зависимости

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (7.16)$$

где ν - кинематическая вязкость воды, m^2/c .

При проведении приближенных гидравлических расчетов следует пользоваться графиком (рисунок 7.4).

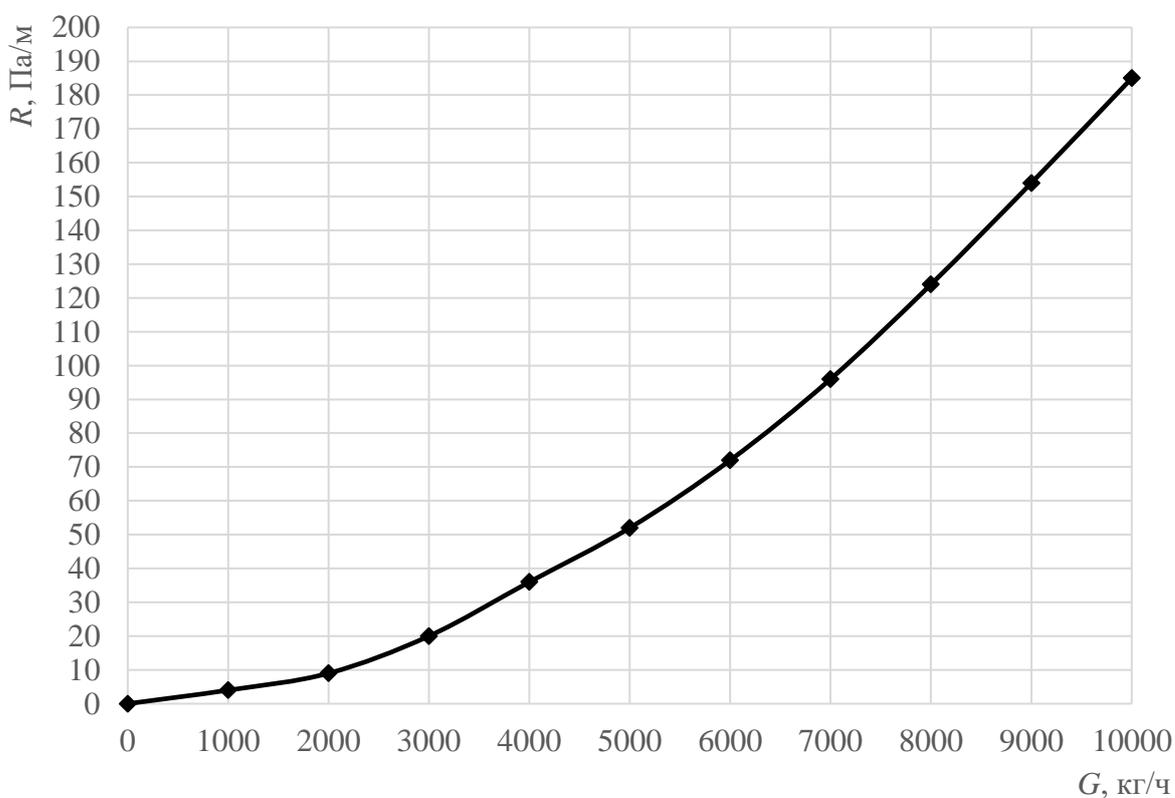


Рисунок 7.4. График удельных потерь давления на трение для приближенного гидравлического расчета профилей Helios 750

7.8. Рекомендации по монтажу системы отопления

Рекомендуемый способ монтажа излучающих профилей представлен на рисунке 7.5. Подвес профилей осуществляют на подвижной оси подвеса. Использование подвижных осей подвеса позволяет передвигать ось подвеса на

некоторое расстояние вправо или влево по длине панели в соответствии с конструктивными особенностями помещения.

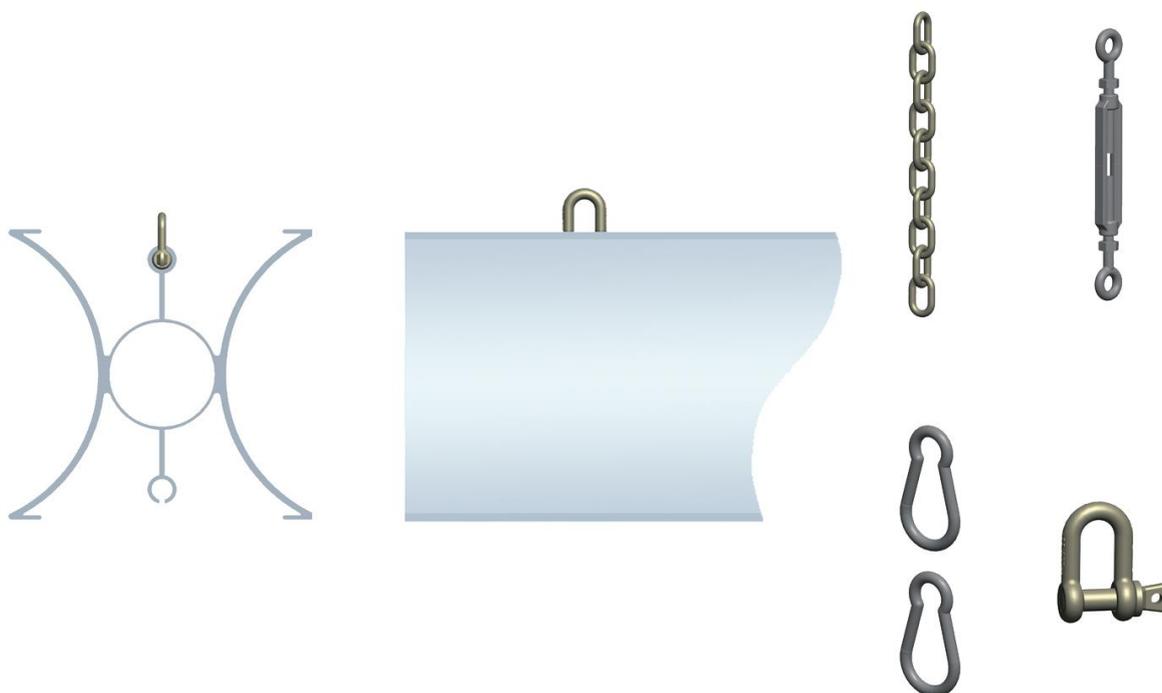
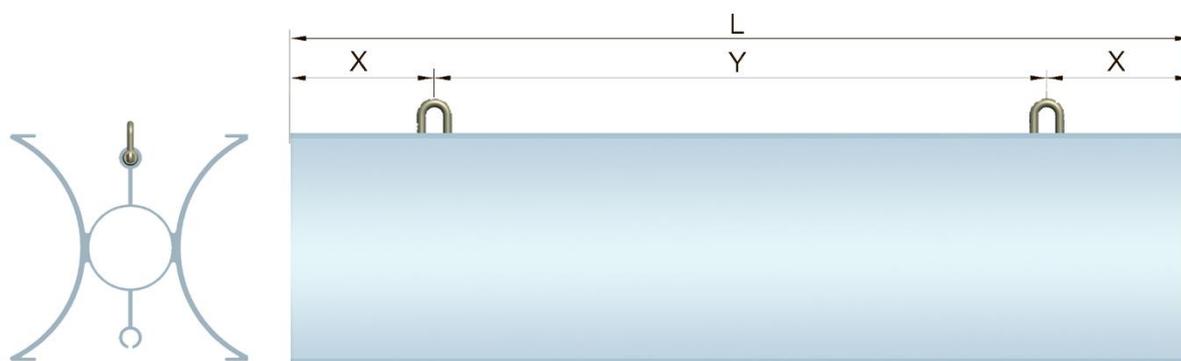


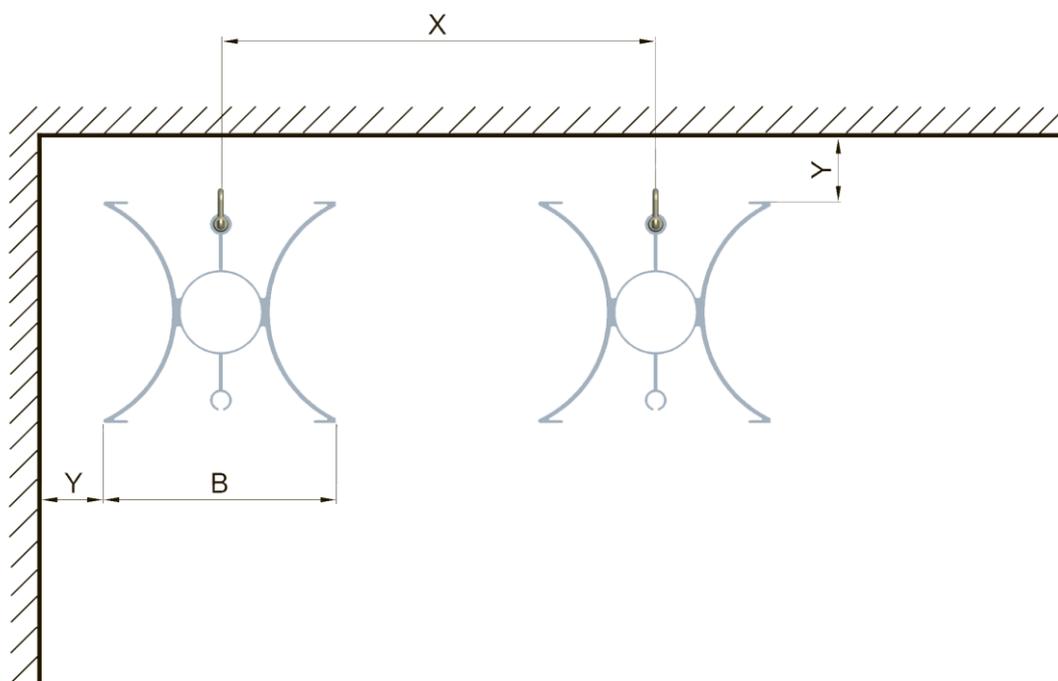
Рисунок 7.5. Рекомендуемый способ монтажа излучающих профилей.

Правила фиксации осей подвеса показаны на рисунках 7.6 и 7.7.



X	Y
Y/2 (максимум 1 м)	максимум 3 м

Рисунок 7.6. Правила фиксации осей подвеса



X	Y
минимум 500 мм	минимум 300 мм

Рисунок 7.7. Правила фиксации осей подвеса

7.9. Рекомендации по эксплуатации системы отопления

При осуществлении эксплуатации системы отопления на базе ВИИ Ne-lios 750 следует руководствоваться указаниями СП 347.1325800.2017. основными технологическими операциями при техническом обслуживании внутренних систем отопления являются:

- испытания на прочность и герметичность;
- промывка системы;
- тепловые испытания системы отопления;
- пуск системы;
- наладка системы;
- очистка системы.

Гидравлические испытания системы отопления должны быть проведены после монтажа системы в соответствии с СП 73.13330.2016. Перегруппированные алюминиевые радиаторы должны быть испытаны гидростатическим методом под давлением 0,9 МПа (9 кгс/см) или пузырьковым методом под давлением 0,1 МПа (1 кгс/см). После испытания вода из блоков отопительных приборов должна быть удалена. Отопительные панели после гидростатического испытания должны быть продуты воздухом, а их присоединительные патрубки закрыты инвентарными заглушками.

8. Сравнительный технико-экономический анализ применения ВИИ

8.1. Исходные данные

Пристрой склада имеет в осях размеры 137,5x24 м и 66,5x14 м. Здание имеет один уровень высотой 10,25 м. Категория помещения по взрывоопасности Г, класс огнестойкости I (Приложение Б).

Температуру воздуха рабочей зоны $t_{в.р.}$, °С принимаем по нормативной документации. Категория работ по уровню энергозатрат – Пб, следовательно $t_{в.р.} = 17...19$ °С, принимаем $t_{в.р.} = 18$ °С. Как уже было сказано в п. 5 в рабочей зоне производственных помещений допускается снижение величины $t_{в.р.}$ до 4 °С по сравнению со значениями, предусмотренными нормативными документами. Для расчёта мощности лучистой системы отопления принимаем $t'_{в.р.} = 14$ °С.

Таблица 8.1. Климатические показатели на основании ТСН 31-301-96 НН для г. Нижний Новгород (заречная часть)

№ п/п	Параметр	Значение
1.	Абсолютная минимальная температура, °С	-42
2.	Абсолютная максимальная температура, °С	37
3.	Температура наружного воздуха:	
3.1.	– наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92, °С	-37
3.2.	– наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, °С	-32
4.	Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 °С, сут.	211
5.	Средняя температура этого периода, °С	-4,4
6.	Средняя температура наиболее холодного периода, °С	-16
7.	Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 0 °С, сут.	144

8.2. Требуемое сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций

Сопротивление ограждающих конструкций теплопередаче R_o^{ϕ} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, должно быть не менее сопротивления теплопередаче $R_o^{\text{норм}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, требуемого из санитарно-технических условий и сравнивается с величиной $R_o^{\text{тр}}$, определяемой технико-экономическим расчетом.

$$R_o^{\text{норм}} = \frac{n \cdot (t_{\text{в.р}} - t_{\text{н}})}{\Delta t^{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{в}}}, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (8.1)$$

где: n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; $t_{\text{в.р}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха рабочей зоны, °C ; $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, °C ; $\Delta t^{\text{н}}$ – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °C ; $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Руководствуясь рекомендациями [9] производим расчёт требуемого сопротивления теплопередаче из санитарно-технических условий.

Стена

Для конвективной системы отопления:

$$R_o^{\text{норм ст}} = \frac{1 \cdot (18 - (-32))}{8,7 \cdot 7} = 0,821 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Для лучистой системы отопления:

$$R_o^{\text{норм ст}} = \frac{1 \cdot (14 - (-32))}{8,7 \cdot 4} = 1,322 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Покрытие

Для конвективной системы отопления:

$$R_o^{\text{норм покр}} = \frac{1 \cdot (18 - (-32))}{8,7 \cdot 6} = 0,958 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Для лучистой системы отопления:

$$R_o^{\text{норм покр}} = \frac{1 \cdot (14 - (-32))}{8,7 \cdot 3} = 1,762 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Окно

Для конвективной системы отопления:

$$R_o^{\text{норм ок}} = \frac{1 \cdot (18 - (-32))}{8 \cdot 17} = 0,368 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Для лучистой системы отопления:

$$R_o^{\text{норм ок}} = \frac{1 \cdot (14 - (-32))}{8 \cdot 17} = 0,339 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

ГСОП – градус-сутки отопительного периода, определяется по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в.р}} - t_{\text{оп}}) \cdot Z_{\text{оп}}, \quad (8.2)$$

где: $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °C; $t_{\text{оп}}$ – средняя температура и продолжительность, периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8 \text{ °C}$, °C; $Z_{\text{оп}}$ – продолжительность, периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8 \text{ °C}$, сут.

Стена

Для конвективной системы отопления:

$$\text{ГСОП} = (18 - (-4,4)) \cdot 211 = 4727 \text{ °C} \cdot \text{сут/год},$$

$$R_o^{\text{тр ст}} = 2,245 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Для лучистой системы отопления:

$$\text{ГСОП} = (14 - (-4,4)) \cdot 211 = 3883 \text{ °C} \cdot \text{сут/год},$$

$$R_o^{\text{тр ст}} = 2,019 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Покрытие

Для конвективной системы отопления:

$$ГСОП = (18 - (-4, 4)) \cdot 211 = 4727 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год},$$

$$R_o^{\text{тр покр}} = 2,682 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для лучистой системы отопления:

$$ГСОП = (14 - (-4, 4)) \cdot 211 = 3883 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год},$$

$$R_o^{\text{тр покр}} = 2,221 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Окно

Для конвективной системы отопления:

$$ГСОП = (18 - (-4, 4)) \cdot 211 = 4727 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год},$$

$$R_o^{\text{тр ок}} = 0,319 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для лучистой системы отопления:

$$ГСОП = (14 - (-4, 4)) \cdot 211 = 3883 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год},$$

$$R_o^{\text{тр ок}} = 0,273 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче наружных дверей $R_o^{\text{тр дв}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ определяется по формуле:

$$R_o^{\text{тр дв}} = 0,6 \cdot R_o^{\text{норм ст}}, \quad (8.3)$$

где: $R_o^{\text{норм ст}}$ – требуемое сопротивление теплопередаче стены из санитарно-технических условий, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Дверь

Для конвективной системы отопления:

$$R_o^{\text{тр дв}} = 0,6 \cdot 0,821 = 0,493 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для лучистой системы отопления:

$$R_o^{\text{тр дв}} = 0,6 \cdot 1,322 = 0,794 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Сравнительный анализ конвективной и лучистой систем отопления произведён в таблице 8.2.

Таблица 8.2. Сравнительная характеристика конвективной и лучистой систем отопления

№ п/п	Сравниваемый параметр	Конвективная система отопления	Лучистая система отопления
1	Температура воздуха рабочей зоны $t_{в.р.}, ^\circ\text{C}$	18	14
2	Требуемое сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции (стены) $R_o^{тр ст}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	2,245	2,019
3	Требуемое сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции (покрытия) $R_o^{тр покр}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	2,682	2,221
4	Требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций $R_o^{тр ок}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	0,368	0,339
5	Сопротивление теплопередаче дверей и ворот $R_o^{тр дв}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	0,493	0,794
6	Требуемая мощность системы отопления, $Q_{от}, \text{Вт}$	234328	213814

8.3. Расчёт капитальных затрат на устройство теплоизоляции в наружных ограждениях здания

Затраты на устройство теплоизоляции $K_{ти}$, руб., вычисляются по формуле:

$$K_{ти} = C_{ти} \cdot V_{ти}, \text{руб.}, \quad (8.4)$$

где: $C_{ти}$ – удельная стоимость теплоизоляционного материала с работами по его установке (в деле), руб./м³. Ее значения на стадии разработки ТЭО или бизнес-плана проекта можно принимать по справочным данным; $V_{ти}$ – суммарный объем теплоизоляционного материала и конструкциях ограждений, м³. Его можно определить по выражению

$$V_{ти} \approx 0,8 \sum (\lambda_{ти} R_i A_i / r_i), \text{руб.} \quad (8.5)$$

где: $\lambda_{ти}$ – теплопроводность используемого теплоизоляционного материала, Вт/(м·°C), принимается по справочным данным; r_i – коэффициент теплотехнической однородности соответствующего ограждения, а множитель 0,8 соответствует средней доле термического сопротивления слоя теплоизоляции в общем сопротивлении ограждения теплопередаче; A_i и R_i – площадь, м² и

сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, теплоизолируемых, ограждающих конструкций оболочки здания: наружных стен, перекрытия над неотапливаемым подвалом или техническим подпольем, пола по грунту, чердачного перекрытия или покрытия и др. Значения A_i , принимаются по архитектурно-строительным чертежам, а R_i – по нормативным документам.

Таблица 8.3. Капитальные затраты на устройство теплоизоляции

	$\lambda_{\text{ти}},$ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$	$\delta_i, \text{м}$	$R_i,$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$	$A_i, \text{м}^2$	r_i	$V_{\text{ти}}, \text{м}^3$	$C_{\text{ти}},$ $\text{руб.}/\text{м}^3$	$K_{\text{ти}}, \text{руб.}$
Стены	0,046	0,10	2,174	4420,25	0,70	505,171	1800	1900533
Покрытие	0,046	0,15	3,261	4359,55	0,95	550,680		
$\Sigma V_{\text{ти}}, \text{м}^3$						1055,85		

8.4. Затраты на тепловую энергию

Для конвективной системы отопления затраты, связанные с потреблением тепловой энергии за отопительный период системой отопления, на стадии ТЭО, если мощность системы отопления $\Sigma Q_{\text{от}}$, кВт, известна определяются так:

$$\mathcal{E}_{\text{т.от}} = 0,0864 \cdot \frac{\Sigma Q_{\text{от}}}{4,19 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н5х}})} \cdot \text{ГСОП} \cdot C_{\text{т}}, \text{руб.}/\text{год}, \quad (8.6)$$

где: $0,0864 = 86\,400 \cdot 10^{-6}$, где 86 400 – число секунд в сутках; $C_{\text{т}}$ – стоимость тепловой энергии, руб./Гкал, для г. Нижний Новгород на 2-е полугодие 2019 г. – 2382,42 руб./Гкал (без НДС).

Для конвективной системы отопления:

$$\mathcal{E}_{\text{т.от}}^{\text{к}} = 0,0864 \cdot \frac{234,328}{4,19 \cdot (18 - (-32))} \cdot 4727 \cdot 2382,42 = 1088324 \text{ руб.}/\text{год}.$$

Для лучистой системы отопления:

$$\mathcal{E}_{\text{т.от}}^{\text{к}} = 0,0864 \cdot \frac{213,814}{4,19 \cdot (14 - (-32))} \cdot 3883 \cdot 2382,42 = 886674 \text{ руб.}/\text{год}.$$

8.5. Определение совокупных дисконтированных затрат

Дисконтированные затраты СДЗ, приведённые к концу расчётного срока (10 лет), определяются по следующей формуле:

$$\text{СДЗ} = K \cdot (1 + p/100)^T + \sum_{i=1}^T \mathcal{E}_i \cdot (1 + p/100)^i, \text{ руб.}, \quad (8.7)$$

где: K – капитальные единовременные затраты, руб., \mathcal{E}_i – суммарные годовые эксплуатационные затраты за i -й год, руб./год; p – норма дисконта, %, она учитывает упущенную выгоду от того, что эти средства вложены в энергосбережение вместо размещения под проценты в банке, в расчётах её можно принимать на уровне не ниже ставки рефинансирования ЦБ РФ, по состоянию на начало 2020 года она равна 6,25 %.

Таблица 8.4. Сравнение технико-экономических показателей

Тип системы	$K \cdot (1 + p/100)^T$, руб	$\sum_{i=1}^T \mathcal{E}_i \cdot (1 + p/100)^i$, руб	СДЗ, руб
Конвективное отопление	1900533	1088324	18906350
Лучистое отопление		886674	16048954
Разница, руб			2857396
Разница, %			15,11

Проведя экономический расчёт, можно сделать следующий вывод: с использованием лучистой системы отопления вместо традиционной, конвективной можно получить преимущество по совокупным дисконтированным затратам за 10 лет в 2,86 млн. руб. или же 15,11 %.

Библиографический список

1. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – М.: Минстрой России, 2017.
2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
3. DIN EN 14037-2-2016. Панели теплоизлучающие, монтируемые на потолке и снабжаемые водой при температуре ниже 120 °С. Часть 2. Метод определения тепловой мощности. Немецкая версия EN 14037-2:2016 (Free hanging heating and cooling surfaces for water with a temperature below 120 °C - Part 2: Pre-fabricated ceiling mounted radiant panels for space heating - Test method for thermal output; German version EN 14037-2:2016).
4. DIN EN 14240-2004. Вентиляция зданий. Холодные потолки. Испытание и номинальная характеристика. Ventilation for buildings - Chilled ceilings - Testing and rating; German version EN 14240:2004.
5. Р НП «АВОК» 4.1.6–2009. Системы отопления с потолочными подвесными излучающими панелями. – М.: ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС», 2009.
6. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещения: Расчет комфортных параметров 1981.по теплоощущениям человека / Л. Банхиди. – М.: Стройиздат,
7. СП 347.1325800.2017 Внутренние системы отопления, горячего и холодного водоснабжения. Правила эксплуатации. – М.: Минстрой России, 2017.
8. СП 73.13330.2016 Внутренние санитарно-технические системы зданий. СНиП 3.05.01-85 (с Изменением N 1). – М.: Минстрой России, 2017.
9. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: 2004. – 25 с.

10. Самарин, О.Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. Научное издание. 2-е изд., перераб. и доп. / О.Д. Самарин – М.: АСВ, 2015. – 136 с.

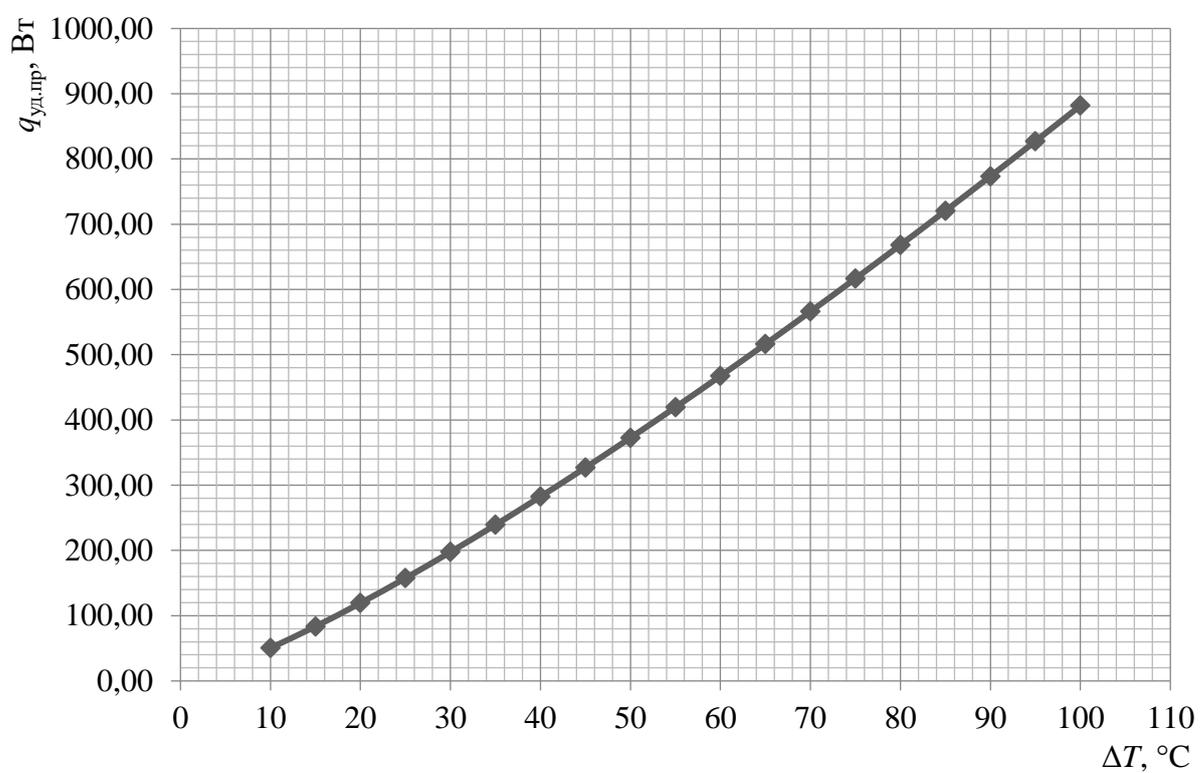
11. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: 2001. – 20 с.

Приложение А

Тепловые характеристики излучающих профилей Helios 750

Таблица А1. Тепловая мощность 1 п.м. излучателя в зависимости от температурного напора

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$q_{\text{уд.пр}}, \text{Вт/п.м}$	50,46	83,51	119,38	157,52	197,56	239,26	282,43	326,94	372,66	419,50	467,39	516,26	566,04	616,70	668,18	720,45	773,47	827,21	881,64



Приложение Б

Пример подбора и расчета системы водяного отопления с профилями

Подобрать и рассчитать систему отопления систему водяного отопления с потолочными подвесными Helios 750 для помещения (рисунок Б1, Б2) со следующими характеристиками (п. 8):

- температура воздуха в помещении $t_{\text{в}} = 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- размеры помещения в плане 137,5x24 м и 66,5x14 м (цеха №1 и №2 соответственно);
- высота помещения $H_{\text{п}} = 10,25 \text{ м}$;
- высота рабочей зоны помещения $H_{\text{р.з}} = 3 \text{ м}$;
- площадь помещения $F_{\text{п}} = 4360 \text{ м}^2$;
- тепловые потери помещения (из расчёта) для цеха № 1 – $Q_{\text{п}} = 167180 \text{ Вт}$; для цеха №2 – $Q_{\text{п}} = 46640 \text{ Вт}$.

Параметры теплоносителя:

- температура теплоносителя в подающем трубопроводе – $t_1 = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура теплоносителя в обратном трубопроводе – $t_2 = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение.

1. Принимаем к установке профиль Helios 750.
2. Удельный тепловой поток профиля:

$$\Delta T = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_{\text{в}} = \frac{120 + 70}{2} - 14 = 81 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

По уравнению (7.10) или из таблицы А1 определяем величину удельного теплового потока профиля $q_{\text{уд.пр}} = 678,6 \text{ Вт/п.м}$.

Общая длина профилей для цеха №1:

$$L_{\text{пр}} = \frac{Q}{q_{\text{уд.пр}}} = \frac{167180}{678,6} = 247 \text{ м.}$$

Общая длина профилей для цеха №2:

$$L_{\text{пр}} = \frac{Q}{q_{\text{уд.пр}}} = \frac{46640}{678,6} = 69 \text{ м.}$$

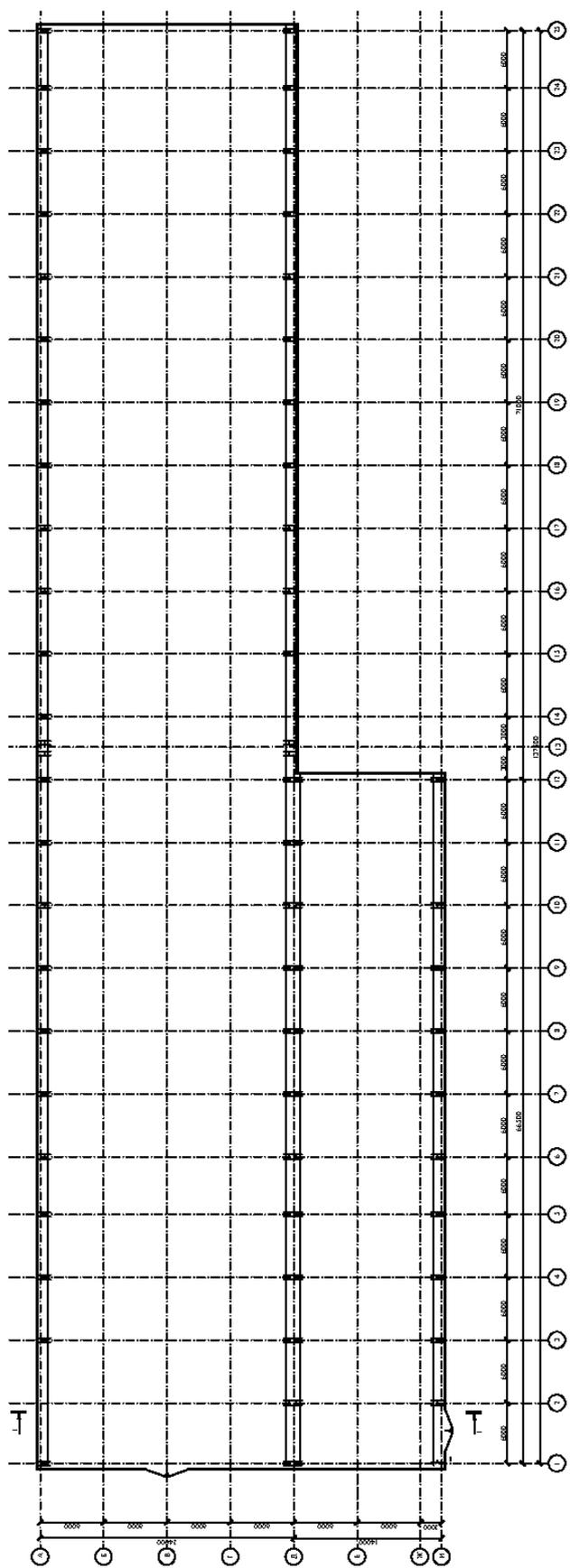


Рисунок Б1. План цехов №1 и №2 в осях 1-25/А-И

3. Выбранный тип подключения – с параллельным подключением профилей для цеха №1, и с последовательным подключением профилей для цеха №2.

4. Размещение профилей в помещении. Исходя из частных геометрических особенностей помещения, и, с учётом размещения вспомогательного оборудования системы отопления максимальная длина веток для цеха №1 – $L_{в.маx} = 108$ м, цеха №2 – $L_{в.маx} = 48$ м. Следовательно в цехе №1 размещаем 3 ветки ($247/108 = 2,29$, округляем в большую сторону), в цехе №2 – 2 ветки ($69/48 = 1,44$, округляем в большую сторону).

Исходя из указаний рекомендаций по проектированию (п. 7.3.) размещаем ВИИ Helios 750 в цехе №1 на высоте 6880 мм, в цехе №2 – 6510 мм (рисунок Б2).

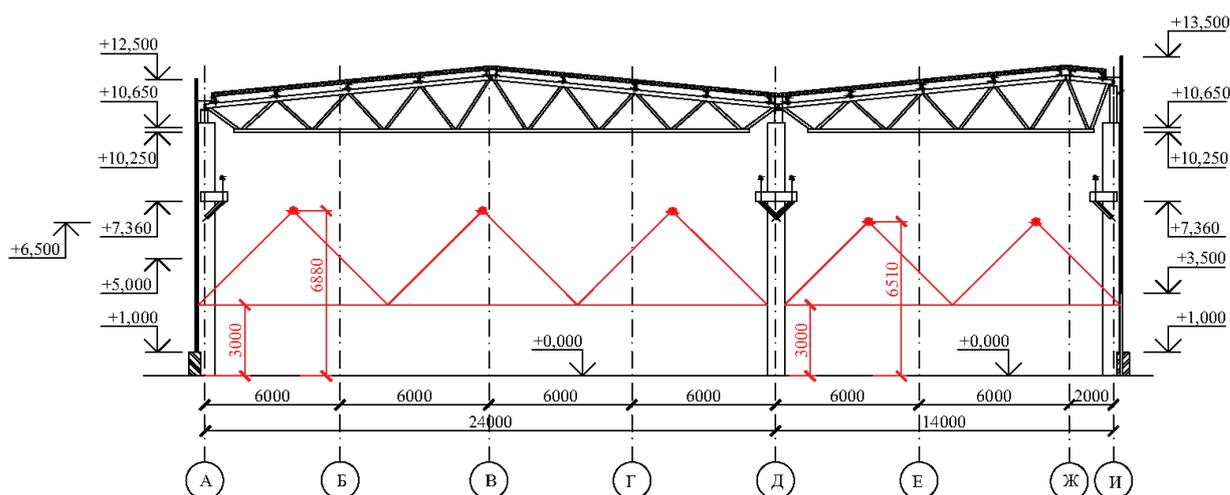


Рисунок Б2. Разрез 1-1 в осях А-И

Итого: для цеха №1 выбрано 3 ветки длиной 108 м каждая, для цеха №2 – 2 ветки длиной 48 м.

5. Фактическая максимальная мощность системы для цеха №1:

$$Q_{с.о} = 3 \cdot 108 \cdot 678,6 = 219866 \text{ Вт.}$$

Фактическая максимальная мощность системы для цеха №2:

$$Q_{с.о} = 2 \cdot 48 \cdot 603,2 = 65145 \text{ Вт.}$$

Массовый расход для цеха №1:

$$G_{\text{с.о}} = \frac{(1 \cdot 3,6 \cdot 219866)}{(4,187 \cdot (120 - 70))} = 3789 \text{ кг/ч.}$$

Массовый расход для цеха №2:

$$G_{\text{с.о}} = \frac{(1 \cdot 3,6 \cdot 65145)}{(4,187 \cdot (120 - 70))} = 1121 \text{ кг/ч.}$$

5. Удельные потери давления определяются по рисунку 8.2.:

- для цеха №1 – $R = 22,5$ Па/м, общее сопротивление ветки 2430 Па.
- для цеха №2 – $R = 2$ Па/м, общее сопротивление ветки 96 Па.