

В.В. ПОКОТИЛОВ



# ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

(для проектировщиков и специалистов в области  
энергоэффективного теплоснабжения жилых зданий)



Почетное издание  
Устойчивые страны.

Минск, 2014



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ЗДАНИЙ

Данная публикация подготовлена и издана в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» реализуемого Программой развития ООН и Департаментом по энерго-эффективности Госстандарта Республики Беларусь при финансовой поддержке Глобального экологического фонда.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>4</b>
<b>1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ</b>	<b>8</b>
1.1. Радиационно-климатические характеристики	8
1.2. Задаваемые основные параметры гелиосистемы	15
<b>2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ</b>	<b>20</b>
2.1. Особенности конструирования крупной гелиосистемы теплоснабжения жилых домов	22
2.2. Особенности системы низкотемпературного водяного отопления энергоэффективных многоквартирных жилых зданий	25
<b>3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b>	<b>27</b>
3.1. Источники тепловой энергии	27
3.2. Система отопления	28

## ВВЕДЕНИЕ

Возрастающий дефицит энергии, исчерпаемость органического и ядерного топлива, химическое и радиоактивное загрязнение окружающей среды являются основными аргументами в пользу всестороннего исследования и широкого внедрения возобновляемых источников энергии.

Население Земного шара в настоящее время составляет более 6 млрд. человек и возрастает примерно на **2–3 %** в год. В 1900 г. в мире потреблялось около **8 – 10<sup>12</sup> кВтч** первичных энергоресурсов, а к 1980 г. их потребление возросло более чем в **10 раз**. Таким образом, ежегодное потребление энергоресурсов с учетом роста населения должно возрастать на **4 – 8 %**. Компенсировать этот растущий спрос на энергоресурсы могут только возобновляемые источники энергии, существенным преимуществом которых является их практическое отсутствие негативного воздействия на окружающую природную среду и неисчерпаемость.

Достоинством возобновляемых источников энергии является их доступность, доступная стоимость и возможность их получения непосредственно в месте локального использования. Однако, при всей актуальности проблемы, существуют множество препятствий на пути повсеместного внедрения возобновляемых источников энергии. По инициативе ЮНЕСКО в 1996 г. была принята *Харарская декларация по солнечной энергетике и ее устойчивому развитию*, где провозглашены основные принципы широкого использования возобновляемой энергии в развитии нашей цивилизации. Конкретные пути реализации этой декларации определяются *Мировой солнечной программой* до 2015 г., которая содержит в себе глобальные, региональные и национальные высокоприоритетные проекты в этой области.

Общий годовой потенциал возобновляемых источников энергии – ветровой, солнечной, геотермальной, биомассы, и пр. превышает потенциальные запасы органического и ядерного топлива в **15 раз** и почти в **80 раз** разведанные запасы энергоресурсов. При этом экономически целесообразный потенциал может превышать современное потребление энергии на **40–45 %**.

Солнечная энергия является неисчерпаемым источником тепловой энергии. Закономерности её интенсивности зависят от географической широты и локальных атмосферных особенностей. Исторически эволюция раз-

вания жилых зданий задавалась именно закономерностями солнечной инсоляции в месте застройки, поэтому классические архитектурные решения зданий для климата пустыни, для среднеевропейского климата и др. являются примерами прагматичности градостроительных и архитектурно-планировочных решений.

Принципы проектирования зданий, эксплуатируемых в полном согласии с радиационным климатом местности, описаны в трудах Сократа, Платона и др. ученых и конструкторов. Примером для Беларуси могут служить сохранившиеся до настоящего времени в Иране жилые и общественные постройки, которые в условиях пустыни (ночью **0°C**, днём **+40°C**, а в среднем за сутки **+20°C** – как и в Беларуси) имеют комфортные условия микроклимата помещений за счет «солнечной» (или «биоклиматической») архитектуры без использования каких-либо кондиционеров или иных инженерных устройств.

Архитекторы Европы широко применяют современные принципы «солнечной архитектуры» в сочетании с современными специальными гелиосистемами суточного накопления тепловой солнечной энергии. Такие здания при прочих равных условиях имеют более низкую себестоимость строительства по сравнению с традиционным домостроением именно за счёт использования принципов «солнечной архитектуры» и принципов полифункциональности элементов и конструктивных узлов зданий. Например, более 40 лет тому назад в Англии, США, Дании и др. были построены жилые и общественные здания солнечной архитектуры, отопление которых в течение всего года осуществляется за счет солнечной энергии без иных источников теплоты.

Некоторые архитекторы Беларуси, как, например, заслуженный архитектор БССР **А.А. Соболевский**, архитектор **А.В. Осененко**, плодотворно реализуют принципы биоклиматической архитектуры в своих проектных произведениях. К сожалению, превалирует практика проектирования жилых «коробок», ориентация которых по сторонам света, планировочные решения, формирование фасадов никак не учитывают особенности локального климата. В результате чего провоцируются дополнительные теплопотери зимой (в том числе из-за неучета локальной ветровой обстановки), и перегрев помещений летом. Жильцы в Беларуси уже привыкли тратить деньги на приобретение квартирных «кондиционеров», потребляющих в течение

каждого года электроэнергию на производство «холода» летом и «теплоты» в переходные периоды года.

Радиационный режим Беларуси аналогичен многим среднеевропейским странам с развитым применением солнечной энергии в области гелиоархитектуры домостроения и градостроительства, и в области тепловых гелиосистем теплоснабжения и горячего водоснабжения. В центральной Европе годовое количество солнечной прямой и рассеянной энергии на горизонтальную поверхность составляет **1000...1400 кВтч/м<sup>2</sup>** (в Германии – **1200**, в Беларуси **1100 кВтч/м<sup>2</sup>**). В Германии, Великобритании, Швейцарии, Финляндии, США и др. странах для большинства вновь возводимых объектов применяют принципы «солнечной архитектуры», снижающие теплозатраты на отопление на **30...60%** до уровня **10...40 кВтч/м<sup>2</sup>** в год при сроке окупаемости **2...4 года**, а в некоторых проектах – со снижением капитальных затрат. Начиная с 80-х годов, правительство Германии настойчиво проводит политику внедрения «солнечной архитектуры» и гелиотехники. К настоящему времени, в связи с отказом от атомной энергетики, Германия ориентируется на повсеместное использование возобновляемых источников энергии, как это было принято в Австрии несколько десятилетий тому назад.

Для нагревания воды горячего водоснабжения используются гелиоколлекторы, преобразующие высокочастотное солнечное излучение в тепловую энергию, а также аккумулятор тепловой энергии, сглаживающий между собой нерегулярности поступления солнечной энергии и нерегулярности потребления теплоты системой горячего водоснабжения.

Из практики проектирования и эксплуатации гелиосистем известно, что экономически оптимальными для климата, аналогичного климату Беларуси, являются гелиосистемы, запроектированные на компенсацию **40...70%** годовых теплозатрат, необходимых на нужды горячего водоснабжения. При более высокой степени компенсации резко возрастают капитальные затраты. Первая современная гелиосистема горячего водоснабжения была реализована в 1998г. для здания **Международного института по радиоэкологии им. А.Д.Сахарова** в г.Минске (МИРС) с применением комплекта оборудования от фирмы **DOMA (Австрия)** при содействии сотрудников компании **ENERGIESPAR VEREIN (Австрия)**.

Благодаря энергоэффективным мероприятиям, предпринятым в последнее время в области повышения теплозащитных качеств ограждающих конструкций зданий, реконструкции насосных циркуляционных станций тепловых сетей, глобальной реконструкции структуры и технологии тепловых сетей, планомерной ликвидации 4-х трубных квартальных сетей с переходом на 2-х трубные квартальные сети с повсеместным внедрением автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) в каждом здании, в Беларуси на период начала 21 века удельные годовые показатели снизились до **150...190кВтч/м<sup>2</sup>** (в том числе на отопление до **80...100 кВтч/м<sup>2</sup>**, а на горячее водоснабжение до **70...90 кВтч/м<sup>2</sup>**).

Современные нормы Беларуси предусматривают удельное годовое потребление теплоты на нужды отопления в размере не более **60 кВтч/м<sup>2</sup>**, что достигается усиленной теплоизоляцией наружных ограждений и индивидуальной автоматизацией отопления в каждом помещении. Расходы теплоты на горячее водоснабжение остаются на прежнем уровне до **80 кВтч/м<sup>2</sup>**. Общие годовые расходы составляют примерно **140кВтч/м<sup>2</sup>**. Снизить эти расходы возможно только за счёт применения возобновляемых источников энергии, в частности, за счёт утилизаторов теплоты сточных вод, гелиосистем и низкопотенциальной энергии внешней среды с использованием тепловых насосов.

# 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

К исходным данным относятся радиационно-климатические характеристики места застройки и задаваемые основные параметры гелиосистемы, оптимально зависящие от климата и ожидаемого технико-экономического эффекта.

## 1.1. Радиационно-климатические характеристики

Энергетическую составляющую солнечного излучения  $\mathbf{Q}$ , падающую на наклонный солнечный коллектор

$$\mathbf{Q} = \mathbf{S} + \mathbf{D} + \mathbf{R}, \quad (1)$$

разделяют на прямую радиацию  $\mathbf{S}$ , рассеянную радиацию  $\mathbf{D}$  и отраженную радиацию  $\mathbf{R}$  (рис.1).

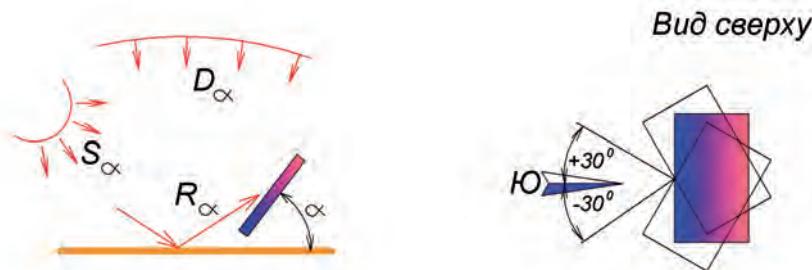


Рис.1 Компоненты энергетического солнечного излучения и допустимые отклонения ориентации гелиоколлектора от южного направления (для климата Беларусь)

Каждая из компонент зависит не только от угла наклона коллектора, но также от ориентации его по сторонам света. Отраженная составляющая является, при прочих равных условиях, максимальной по значениям для вертикальных поверхностей и зависит в первую очередь от альбедо поверхности Земли, величина которого является наиболее близкой к единице для условий зимнего отопительного периода.

Расчетные условия для наклонных поверхностей южной ориентации для Беларусь могут быть принятыми постоянными с азимутными отклонениями **30**, что позволяет в определённой степени варьировать планировочными построениями системы гелиоколлекторов.

**Угол наклона коллектора является оптимальным:**

для гелиосистемы тёплого периода года

**40...45град.**

для гелиосистемы круглогодичного применения

**50...55град.**

Практика проектирования гелиосистем показывает, что увеличение угла расположения коллектора вплоть до вертикального, является вполне приемлемым, особенно при наличии отражённой энергии. На рис.2 показаны варианты вертикального расположения коллекторов, как правило, круглогодичного применения.



Рис.2 Варианты вертикального расположения коллекторов.

Наиболее распространённым является вариант расположения коллекторов на поверхности наклонной крыши (рис.3).



Рис.3. Варианты расположения коллекторов на наклонной крыше.

При наличии плоской эксплуатируемой кровли гелиоколлекторы размещают на ней с помощью несущей металлоконструкции (*рис.4*).



*Рис.4. Общий вид тепловых гелиоколлекторов на плоской кровле здания.*

Вариант размещения тепловых гелиоколлекторов на специальной металлоконструкции имеет вид, показанный на *рис.5*.



*Рис.5. Общий вид тепловых гелиоколлекторов, размещаемых на специальной металлоконструкции в непосредственной близости от здания.*

Применяются и нестандартные решения, обусловленные либо конструктивными особенностями здания, либо его расположением в высокогорной местности и др. (*рис.6*).



Рис.6. Нестандартные решения размещения тепловых гелиоколлекторов.

Задавшись местоположением, углом наклона и типом гелиоколлекторов, следует выявить исходные радиационно-климатические характеристики места застройки. Основными из них являются среднемесячная сумма суммарной радиации на наклонный коллектор **Q** и дневная температура наружного воздуха, необходимая для помесячного определения КПД гелиоколлектора. Фирмы-производители гелиосистем предлагают пользователям программные методы расчёта указанных параметров на основании задаваемых географической широты местности, азимута и высоты солнца над горизонтом для данного дня года или среднего для месяца года, а также коэффициентов облачности и прозрачности атмосферы. Такие программы не учитывают реальных климатических особенностей места застройки, поэтому их применение уместно при отсутствии статистических параметров климата.

Для Беларуси статистические данные результатов многолетних наблюдений постоянно обновляются и публикуются для строительного проектирования в СНБ 2.04.02–2000 «Строительная климатология».

В технических расчётах применяют средние за месяц параметры среды и суммарные за месяц энергетические характеристики климата данной местности. Сумма за месяц суммарной солнечной радиации **Q** на наклонный гелиоколлектор определяется в зависимости от широты местности, от угла наклона коллектора, от азимута коллектора относительно южной ориентации, от альбедо поверхности, от средней степени облачности.

С использованием этих факторов выявляется коэффициент **K**, применяемый для пересчёта суммарной солнечной радиации **Q, МДж/м<sup>2</sup>**, с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность коллектора **Q**:

$$Q = K \cdot Q \quad (2)$$

Из литературных данных (Н. Харченко. Индивидуальные солнечные установки. -М.: Энергоатомиздат, 1991., Бекман У. и др. Расчёт систем солнечного теплоснабжения: Пер. с англ. -М.: Энергоиздат, 1982.) применительно к рассматриваемым условиям (широта **53-54 град.**, угол наклона коллектора **40-45град.**, средний коэффициент облачности **0,4-0,5**) можно принять следующие значения коэффициента пересчёта **K**:

**Таблица 1.** Коэффициент пересчёта суммарной солнечной радиации с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность коллектора

K	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
2.90	2.02	1.48	1.15	0.99	0.94	0.96	1.07	1.31	1.78	2.52	3.21	

Суммарная солнечная радиация **Q** на горизонтальную поверхность определяется по данным СНБ 2.04.02–2000, фрагмент которых приведен в виде таблицы 2.

**Таблица 2.** Месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности, **МДж/м<sup>2</sup>**

	Станция		
	Полоцк	Минск	Василевичи
Январь	60	69	86
Февраль	121	133	145
Март	278	291	295
Апрель	382	393	402
Май	534	567	570
Июнь	613	624	623
Июль	568	590	613
Август	456	478	505
Сентябрь	292	315	344
Октябрь	134	154	176
Ноябрь	50	59	71
Декабрь	30	41	52
Год	3518	3714	3882

Полученная гелиосистемой тепловая энергия выявляется на основании вычисления теплового КПД гелиоколлектора. Данная величина является характеристикой гелиоколлектора и приводится производителем в виде функциональной или графической зависимости КПД от интенсивности солнечного излучения  $q_c$ , от расчётной средней за световой день температуры наружного воздуха  $t_h$ , от температур теплоносителя на входе и выходе из гелиоколлектора  $t_b$  и  $t_k$ , от локальных условий теплообмена гелиоколлектора с окружающей средой и др., например, как показано на рис.7:

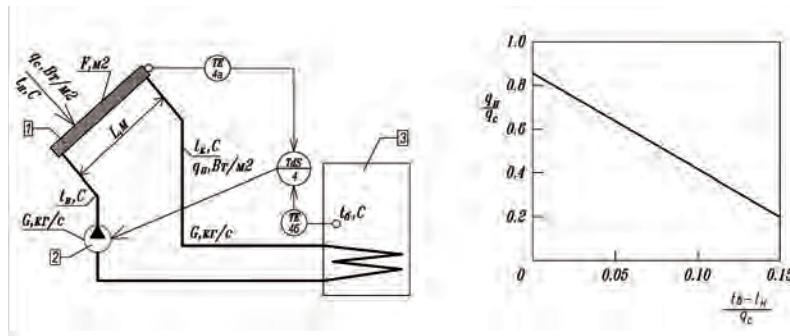


Рис.7 Термовая схема и графическая зависимость для КПД селективного плоского гелиоколлектора с однослойным остеклением.

Как правило, функциональная зависимость представляется следующим образом:

(3)

$$\frac{q_b}{q_c} = f \left\{ \frac{t_b - t_h}{q_c} \right\}$$

Для определения КПД гелиоколлектора необходимо знать расчётную температуру наружного воздуха  $t_h$ . Данную температуру следует принять для дневного времени суток. Поэтому, используя значения таблиц 3 и 4 (СНБ 2.04.02-2000) с допустимой для технических расчётов точностью для получения расчётного значения  $t_h$ , к значениям табл.3 прибавим половину суточной амплитуды табл.4. Результаты вычислений сведены в виде табл.5.

*Таблица 3. Средняя месячная и годовая температура воздуха, °C*

	Область, пункт		
	Минск	Гродно	Могилев
Январь	-6.9	-5.1	-7.6
Февраль	-6.2	-4.4	-6.4
Март	-2.0	-0.5	-2.3
Апрель	5.5	6.3	5.5
Май	12.7	12.9	12.9
Июнь	16.0	16.1	16.3
Июль	17.7	17.8	18.0
Август	16.3	16.7	16.5
Сентябрь	11.6	12.5	11.6
Октябрь	5.8	7.0	5.4
Ноябрь	0.2	1.7	-0.1
Декабрь	-4.3	-2.7	-4.9
Год	5.5	6.5	5.4

*Таблица 4. Средняя за месяц и за год суточная амплитуда температуры воздуха, °C*

	Область, пункт		
	Минск	Гродно	Могилев
Январь	6.2	5.7	6.4
Февраль	6.6	6.3	7.0
Март	7.3	7.2	7.7
Апрель	8.9	9.4	8.8
Май	11.0	11.0	11.1
Июнь	10.6	10.8	10.8
Июль	10.3	10.6	10.8
Август	10.1	10.1	10.7
Сентябрь	9.2	9.4	9.7
Октябрь	6.6	7.3	7.0
Ноябрь	4.3	4.3	4.9
Декабрь	4.7	4.5	5.3
Год	8.0	8.1	8.4

*Таблица 5. Расчётная средняя за световой день температура наружного воздуха, tн, °C (для определения КПД коллектора)*

На основании вышеприведенных климатических исходных данных г.Гродно выполнен расчёт теплопроизводительности **1 м<sup>2</sup>** плоского гелиоколлектора с селективной тепловоспринимающей поверхностью, установленного под углом **40..45 град.** Результаты расчёта приведены в табл.6.

	Область, пункт		
	Минск	Гродно	Могилев
Январь	-3.8	-2.3	-4.4
Февраль	-2.9	-1.3	-2.9
Март	1.6	3.1	1.5
Апрель	9.9	10.0	9.5
Май	18.2	18.4	18.5
Июнь	21.3	21.5	21.7
Июль	22.9	23.1	23.4
Август	21.4	21.8	21.9
Сентябрь	16.2	17.2	16.4
Октябрь	9.1	10.7	8.9
Ноябрь	2.4	3.9	2.4
Декабрь	-1.9	-0.4	-2.2

**Таблица 6. Теплопроизводительность за месяц и за год гелиоколлектора, установленного под углом 40...45 град, КВт<sup>ч</sup>/м<sup>2</sup>**

**Примечание:** Расчёт выполнен без учёта отражённой энергии R, которая в зависимости от угла наклона коллектора и альбедо поверхности может увеличить теплопроизводительность в 1,3...2 раза в зимние и весенне-осенние месяцы.

Основная доля полученной гелиоколлектором солнечной энергии приходится на 7 «тёплых» месяцев с марта по сентябрь, и составляет **80...85%** от возможной годовой теплопроизводительности. Остальные 5 месяцев, приходящиеся на отопительный сезон, являются малоэффективными из-за короткого светового дня и позволяют получить от гелиосистемы примерно **15...20%** от годовой теплопроизводительности.

	<b>Гродно</b>
Январь	<b>0</b>
Февраль	<b>30</b>
Март	<b>59</b>
Апрель	<b>67</b>
Май	<b>85</b>
Июнь	<b>91</b>
Июль	<b>110</b>
Август	<b>81</b>
Сентябрь	<b>60</b>
Октябрь	<b>31</b>
Ноябрь	<b>20</b>
Декабрь	<b>12</b>
<i>Год</i>	<b>646</b>

## 1.2. Задаваемые основные параметры гелиосистемы

Основные параметры гелиосистемы задаются на основании технического задания на проектирование и технико-экономического обоснования. Как правило, задаются годовой долей тепловой энергии от гелиосистемы, компенсируемой относительно годовой потребности на теплоснабжение здания. Для этого предварительно следует задаться типом и, соответственно, тепловыми характеристиками гелиоколлектора, а также требуемой суточной нормой воды на нужды горячего водоснабжения.

Современные гелиоколлекторы имеют селективную тепловоспринимающую поверхность. Условно современные гелиоколлекторы можно разделить на гелиоколлекторы с повышенной теплоизоляцией и гелиоколлекторы с одинарным остеклением. Среди гелиоколлекторов с повышенной теплоизоляцией популярность приобрели трубчатые вакуумированные коллекторы. Основным элементом является «трубка» (рис.8), которая состоит из стеклянной колбы поз.1 с двойным остеклением и вакуумированным зазором, и тепловоспринимающего элемента поз.2.

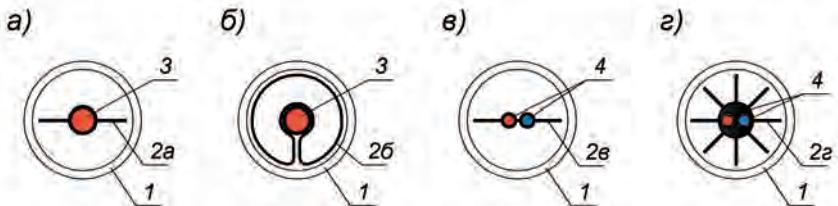


Рис.8. Сечение трубы различного типа вакуумированных трубчатых коллекторов:

**а), в)** – с тепловым плоским элементом; **б)** – с тепловым цилиндрическим элементом; **г)** с тепловым литым элементом из алюминиевого сплава; **1** – колба с двойным остеклением и вакуумированным зазором; **2а**, **2в** – плоский тепловоспринимающий элемент; **2б** – тепловоспринимающий элемент цилиндрического вида с пружинным контактом с тепловой трубкой; **2г** – тепловой элемент литой из алюминиевого сплава; **3** – тепловая трубка; **4** – У-образная медная трубка циркулирующего теплоносителя.

Плоский тепловоспринимающий элемент *поз.2а* имеют коллекторы, в которых колбу надо поворачивать при монтаже на какой-либо оптимальный угол за Солнцем, что на самом деле не приносит практического эффекта. Идея теплового цилиндрического элемента *поз.2б* позволяет воспринимать излучение при любом угле падения солнечного излучения, но вызывает сомнение эффективность теплопередачи за счет теплопроводности пластины *поз.2.б* по «длинному» пути к поверхности тепловой трубы *поз.3*. Коллекторы *рис.8а, 8б* имеют низкую себестоимость. Применение тепловых трубок *поз.3* не даёт теплового преимущества в эффективности передачи теплоты от тепловоспринимающей поверхности к теплоносителю по сравнению традиционным способом непосредственной циркуляции теплоносителя (*рис.8в, 8г*). Применение тепловых трубок *поз.3* позволяет упростить производство и, особенно, транспортировку гелиоколлекторов по отдельным своим составляющим. Коллекторы *рис.8в, 8г* имеют более высокие теплотехнические качества по сравнению с коллекторами *рис.8а, 8б* ввиду непосредственного контакта тепловоспринимающего элемента с теплоносителем. Но они имеют более высокую стоимость.

Следует также учитывать некоторые эксплуатационные особенности вакуумированных трубчатых коллекторов. Реальная тепловоспринимающая поверхность трубчатого коллектора значительно меньше его геометрической поверхности (*рис.9*).

### *Реальная тепловоспринимающая поверхность*

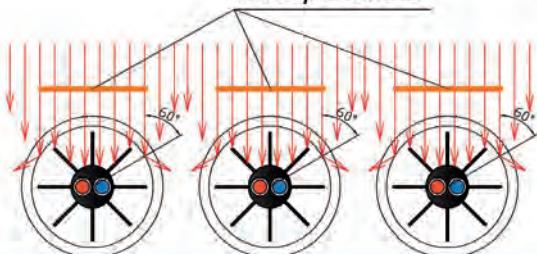


Рис.9. Оценка реальной тепловоспринимающей поверхности трубчатых коллекторов

### *Геометрическая тепловоспринимающая поверхность*

Реальная тепловоспринимающая поверхность трубчатого коллектора составляет **0,60...0,62** от его геометрической поверхности. Для плоских коллекторов это соотношение составляет **0,9...0,85**.

Таким образом, для получения идентичной тепловоспринимающей поверхности геометрическая поверхность трубчатых коллекторов должна быть в **0,88/0,61=1,44** раза больше.

При сравнении стоимости также следует сравнивать между собой удельную стоимость одного квадратного метра реальной поверхности плоского и трубчатого коллектора:

**для плоского коллектора**, зная его стоимость **Спл** и площадь по наружным габаритам **Апл**, удельная стоимость определится следующим образом

$$\text{Суд} = \text{Спл}/(0,88 \times \text{Апл})$$

**для трубчатого коллектора**, зная его стоимость **Стр** и площадь по наружным габаритам **Атр**, удельная стоимость определится следующим образом

$$\text{Стр} = \text{Стр}/(0,61 \times \text{Атр}).$$

Следует учитывать срок службы трубчатого коллектора. Он составляет 10...12 лет. Гарантийный срок от 1 до 5 лет.

Некоторые натурные эксплуатационные исследования, например выполненные специалистами Германии, не показали в условиях центрально-европейского климата столь явного преимущества трубчатых коллекторов перед обычными плоскими. Основной причиной является изморось, налипающая на «холодные» трубы коллектора, не давая проникать солнечному излучению.

Существенным недостатком коллекторов с теплоизолирующим светопрозрачным покрытием является значительное повышение температуры теплоносителя при отсутствии циркуляции более **200°C** по сравнению с плоскими, температура которых достигает не более **150°C**. Ввиду этого, для исключения кипения теплоносителя необходимо в коллекторах поддерживать избыточное давление не менее **3 бар** для плоских коллекторов с одинарным остеклением и более **5 бар** для коллекторов с теплоизолирующим светопрозрачным покрытием.

При высоких температурах срок службы незамерзающей жидкости резко уменьшается, поэтому в процессе эксплуатации гелиосистемы следует систематически отслеживать сохранность её характеристик.

Коллекторы с теплоизолирующим светопрозрачным покрытием по своим характеристикам оптимальным образом подходят для климатических условий высокогорной местности.

Для климатических и эксплуатационных условий Беларуси более соответствуют **солнечные плоские коллекторы с одинарным светопрозрачным покрытием**. Они отличаются между собой конструкцией корпуса, конструкцией тепловых элементов, оптическими и механическими характеристиками остекления. В плоских гелиоколлекторах применяется обычное оконное силикатное стекло, выдерживающее удары крупного града и значительные изгибающие нагрузки, а также стёкла со специальной наружной поверхностью без «блёсткости», которая исключает отражение солнечных лучей при угле падения менее **30 град.** Коллекторы со специальным стеклом без «блёсткости» имеют более высокую стоимость.

Срок службы более 20 лет, гарантийный срок от 1 до 10 лет.

Среди плоских гелиоколлекторов выбор следует проводить от

известных европейских производителей, ориентируясь на оптимальное сочетание высокого качества и оптимальной цены. Под качеством следует понимать в первую очередь высокую прочность корпуса, в том числе на изгиб, и долговременность его существования, а также качество и долговременность герметика остекления коллектора. В выборе желательно не принимать сборный корпус, а ориентироваться на цельный штампованый, который дешевле, прочнее и герметичнее всех прочих.

Можно **рекомендовать** следующую последовательность вычисления основных параметров гелиосистемы:

1. На основании принятого типа гелиоколлектора и его тепловых характеристик вычисляется для каждого месяца и за год теплопроизводительность **1 м<sup>2</sup>** гелиоколлектора в соответствии с принципами, изложенными в разделе 1.1, например, в виде табл.6.
2. На основании требуемой суточной нормы воды на нужды горячего водоснабжения вычисляется общая годовая потребность в тепловой энергии. Существующая норма воды горячего водоснабжения составляет 105л/человека в сутки. Данная норма позволяет «гарантировать» тепловую мощность от тепловых сетей при подборе скоростного водонагревателя. Однако в применимости к системам с суточным аккумулированием получаемой тепловой энергии эта завышенная норма приводит к завышенным капитальным затратам. В этом случае следует применять реальные, статистически выверенные значения. Например, средний расход воды в г. Минске на человека не превышает **150 литров**, из которых расход горячей воды составляет не более **70 литров**, что и следует принять в качестве исходного значения для вычисления общей годовой потребности в тепловой энергии на нужды горячего водоснабжения.
3. Требуемая площадь поверхности гелиоколлекторов определяется делением требуемой тепловой энергии за месяц на теплопроизводительность **1 м<sup>2</sup>** гелиоколлектора. В качестве расчётного можно выбрать месяц с высокой теплопроизводительностью (например, июль – табл.6) в том случае, если рассматривается только горячее

водоснабжение. При наличии дополнительно иных потребителей в качестве расчётного можно выбрать месяц с низкой теплопроизводительностью в летний период (например, март или сентябрь – табл.6).

4. Определяется теплопроизводительность гелиосистемы по месяцам года и в целом за год, а также доля компенсации требуемой теплоты за счёт гелиосистемы.

## 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Условно гелиосистемы подразделяют на небольшие, средние и крупные. Такое разделение связано с принципиальными различиями в конструкции этих гелиосистем.

Конструкция гелиосистемы зависит от задаваемых исходных данных (рис.10).

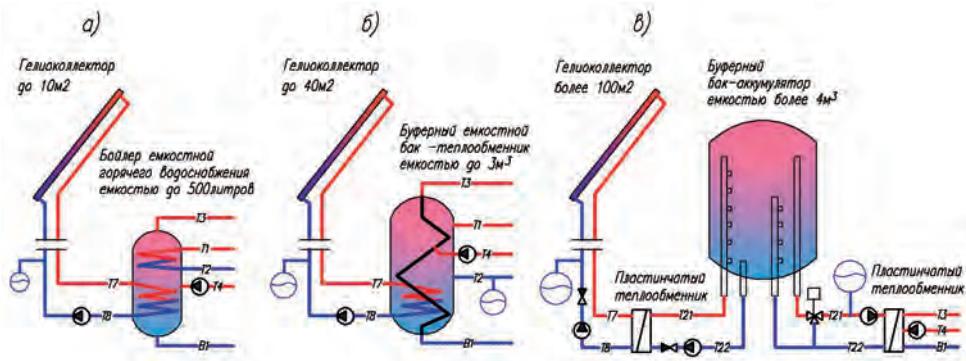


Рис.10. Конструкция гелиосистемы в зависимости от площади гелиоколлектора.

Для систем с гелиоколлектором примерно до  $40\text{ м}^2$  применяют бак-аккумулятор со встроенными поверхностями нагрева. Таким образом, с помощью одного устройства обеспечивается температурное расслоение по высоте бака, суточное аккумулирование тепловой энергии, нагревание воды от гелиосистемы и от дополнительных источников энергии. При этом небольшие системы (рис.10а) используют емкостной бойлер горячего водоснабжения, сочетающий в себе функции бака-аккумулятора. Так называемые средние гелиосистемы (рис.10б) с необходимостью применения аккумуля-

торов до **3м<sup>3</sup>** используют буферную ёмкость с размещением в неё теплообменных змеевиков контура гелиоколлектора и контура горячего водоснабжения.

Для крупных гелиосистем применяют скоростные пластинчатые теплообменники, отделяющие контур гелиоколлектора от контура горячего водоснабжения с помощью промежуточного между ними контура с буферным баком-аккумулятором ёмкостью более **4 м<sup>3</sup>**.

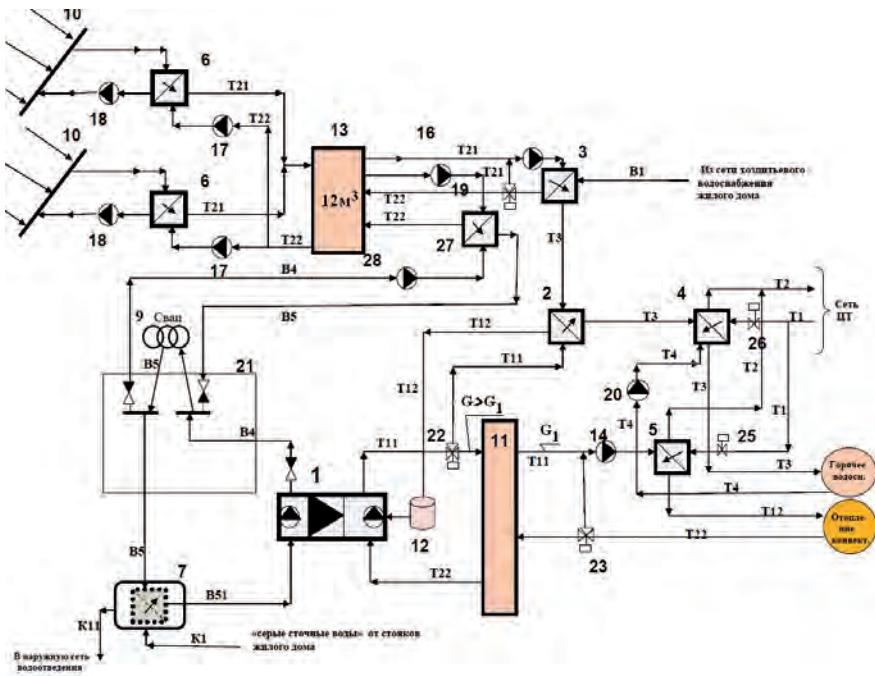


Рис.11 Структурная схема комбинированного использования возобновляемых источников теплоты для теплоснабжения 120-квартирного 10-этажного жилого дома

**1** – тепловой насос, **2...6** – теплообменники, **7** – утилизатор теплоты сточных вод, **8, 9** – грунтовые теплообменники, **10** – гелиоколлекторы, **11** – бак-аккумулятор гелиосистемы, **12** – бак-аккумулятор теплового насоса, **13** – гидравлический разделитель, **14...20** – насосы, **21** – гребёнки грунтовых теплообменников, **22...26** – регулирующие клапаны.

Крупные гелиосистемы применяют также в сочетании другими возобновляемыми источниками тепловой энергии, что позволяет значительно повысить энергоэффективность систем здания в течение всего года. На рис.11 показана структурная схема комбинированного использования теплоты возобновляемых источников теплоты от гелиосистемы, от утилизатора теплоты сточных вод и от теплового насоса. Термальные сети являются форс-мажорным вариантом теплоснабжения здания.

При конструировании гелиосистемы и низкотемпературной системы отопления следует учитывать особенности, связанные с монтажом и эксплуатацией систем.

## 2.1. Особенности конструирования крупной гелиосистемы теплоснабжения жилых домов

На схеме рис.11 выше была представлена крупноразмерная гелиосистема, для которой следует предусматривать бак-аккумулятор с промежуточным теплоносителем. В практике такие баки обычно называют буферными.

Крупные гелиосистемы, позволяющие компенсировать до **40%** годовых теплозатрат на горячее водоснабжение, планируется реализовать на примере трёх жилых энергоэффективных домов в трех городах Беларусь. В частности, для проектируемого в Гродно 120-ти квартирного 10-ти этажного энергоэффективного жилого дома предусматривается гелиоколлектор площадью **384 м<sup>2</sup>** и безнапорный бак-аккумулятор **11,3 м<sup>3</sup>** гелиосистемы, приоритетной в использовании относительно теплового насоса.

На рис.12 показана общая схема гелиосистемы 120-ти квартирного 10-ти этажного энергоэффективного жилого дома в г. Гродно. Применяется циркуляционный насос с электронным управлением частотой вращения, которая изменяется при изменении сопротивления системы под воздействием клапана поз.8.

Приведенный принцип управления позволяет почти в 1,5 раза увеличить годовую теплопроизводительность гелиосистемы за счёт эф-

фективного использования малой интенсивности излучения в облачный период, а также в утренние и вечерние часы.

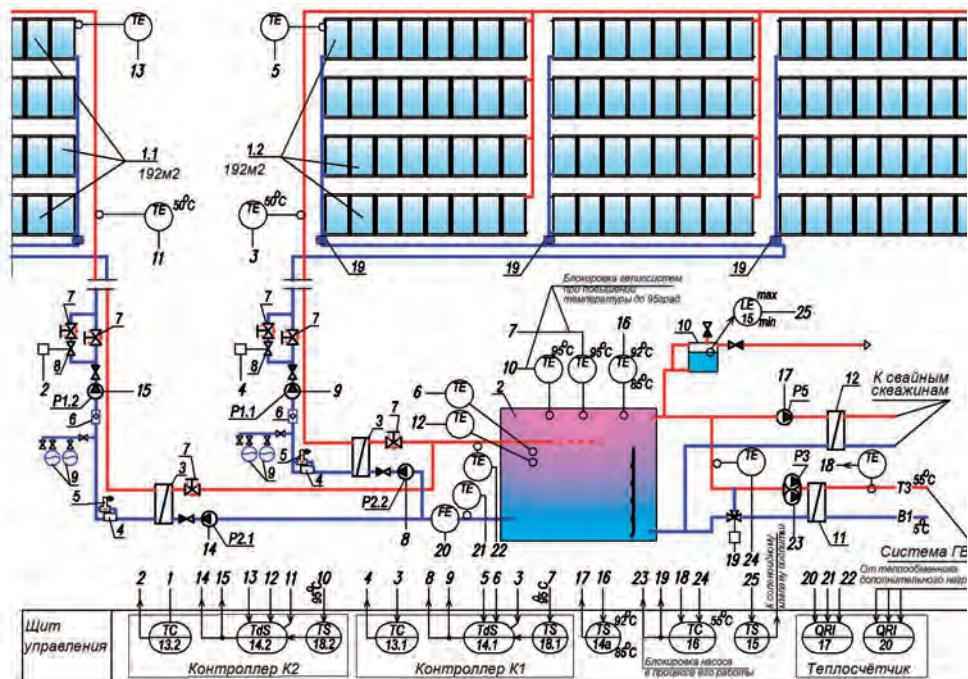


Рис.12 Схема гелиосистемы 120-ти квартирного 10-ти этажного жилого дома

**1** – гелиоколлекторы по  $192\text{м}^2$ ; **2** – буферный бак  $12\text{м}^3$ ; **3** – пластинчатые разборные теплообменники; **4** – воздухосборник; **5** – сепаратор воздушный; **6** – визуальный расходомер; **7** – балансовый вентиль минимального расчётного расхода; **8** – клапан повышения расхода; **9** – расширительные баки; **10** – расширительный бак; **11** – разборный теплообменник горячего водоснабжения; **12** – разборный теплообменник для теплоносителя скважин; **13** – пропорциональный регулятор; **14(14a)** – контроллер гелиосистемы; **15** – датчик уровня системы подпитки.

Позиционный регулятор поз.14а настраивается на температуру **92°C**, при превышении которой с помощью циркуляционных насосов и теплообменника поз.12 излишки производимой гелиосистемами теплоты перекачиваются в грунт через свайный теплообменники. При понижении температуры до **85°C** позиционный регулятор поз.14а выключает циркуля-

ционные насосы.

Буферный бак-аккумулятор поз.2 заполняется водой из тепловой сети по датчику уровня поз.15. Бак работает под атмосферным давлением, имеет систему аварийной сепарации и сброса пара в атмосферу при аварийном закипании воды в баке. Бак изготавливается из котловой или обычной стали.

Внутренние элементы бака: сепаратор поз.2а, перфорированный распределитель поз.2б и др., предназначенные для поддержания температурного расслоения в баке, изготавливаются из нержавеющей стали.

В таблице 7 приведена стоимость гелиосистемы в укрупнённых показателях.

Наименование	Стоимость единицы, доллар США	Кол-во	Общая стоимость, доллар США
<b>Гелиосистема горячего водоснабжения</b>			
Гелиоколлектор	550	192	105 600
Детали соединительные	90	192	17 280
Металлоконструкции	1 000	6	6 000
Бак-аккумулятор горячей воды емкостью 11,3m <sup>3</sup>	10 000	1	12 000
Электронный контроллер	1 000	2	2 000
Пластинчатый теплообменник	1 500	4	6 000
Циркуляционный насос	400	2	8 00
Циркуляционный насос	600	2	1 200
Клапаны регулирующие с электрическими сервомоторами	250	4	1 000
Трубопроводы, арматура	-	-	15 000
Монтажные и наладочные работы	-	-	15 000
ВСЕГО:			<b>181 880</b>

Таблица 7. Стоимость инженерного оборудования и монтажных работ для гелиосистемы

## 2.2. Особенности системы низкотемпературного водяного отопления энергоэффективных многоквартирных жилых зданий.

Для повышения эффективности использования теплового насоса и тепловых сетей предполагается использование «некотемпературных систем отопления» здания. При этом системы теплопотребления — горячего водоснабжения, конвективного отопления, напольного отопления присоединяются к источникам теплоты через гидравлический разделитель (рис.10), потенциальная эффективность которого будет обеспечиваться только при превышении расхода теплоносителя от источника теплоты над совместными расходами потребителей тепловой энергии.

Качество теплового комфорта отапливаемых помещений повышается при значительном понижении расчётной температуры теплоносителя системы отопления. Такие системы называются низкотемпературными, и максимальная температура теплоносителя в них задаётся от **45°C** до **70°C**. Практика современных систем низкотемпературного водяного отопления (СНВО) обусловлена в основном использованием низкопотенциальных, в том числе возобновляемых, источников энергии, энергоэффективность которых значительно повышается при снижении температуры теплоносителя менее 500С. К низкотемпературным источникам относят гелиосистемы, тепловые насосы, утилизаторы тепловых сбросов, системы с аккумуляторами тепловой энергии, низкотемпературные конденсатные водогрейные котлы, энергоэффективные низкотемпературные тепловые сети. СНВО технически реализуются в виде систем напольного, панельного и конвективного отопления.

СНВО в сравнении с другими системами имеют значительные преимущества:

- **ввиду более высокой радиационной температуры помещения** повышается качество теплового комфорта для человека, при этом снижается температура воздуха и, соответственно, снижаются теплопотери через наружные ограждения;
- **из-за более низкой температуры поверхностей отопительных приборов** значительно снижается скорость свободноконвективных потоков и, как следствие, сначала снижается запылённость воздуха в помещении;

- **использование СНВО** позволяет увеличить энергоэффективность применяемых невозобновляемых и возобновляемых источников тепловой энергии.

Востребованность возобновляемых источниках энергии связана с экологическими проблемами, с непрерывным ростом стоимости невозобновляемых источников, а также и с осознанием конечности их добычи. Однако кажущаяся простота перехода к СНВО для энергоэффективных зданий приводит зачастую к созданию дискомфортных и энергозатратных систем. Причин здесь множество, но главной из них является идентичность переноса технологии проектирования автоматики и тепломеханической части, принятой для современных систем, на проектирование СНВО. Теплотехнические отличия СНВО и особенности их автоматизации требуют особых подходов к проектированию и расчёту этих систем.

СНВО наряду с множеством положительных вышеприведенных характеристик имеют следующие **особенности**, существенным образом изменяющие технологию проектирования:

- расчётная разность температур подающего и обратного теплоносителя не превышает **10...15°C**. Как правило, эту разность температур принимают равной **10°C**.
- низкая расчётная температура подающего теплоносителя не более **50°C**.

Эти обстоятельства предопределяют особенности в проектировании как системы отопления, так и оборудования индивидуального теплового пункта (ИТП).

### 3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### 3.1. Источники тепловой энергии

- При применении множества источников теплоты приоритетность их использования следует выстраивать, начиная с возобновляемых и заканчивая невозобновляемыми источниками теплоты. Например, приоритетность может быть в следующей последовательности: гелиосистема, утилизатор тепловых сбросов, тепловой насос, тепловые сети или котельная.
- Для получения требуемой температуры подающего теплоносителя желательно не применять схемы зависимого присоединения с узлами смешения. Следует использовать независимые схемы присоединения к источникам тепловой энергии.
- При независимой схеме присоединения применяют расширительные баки мембранныго типа, объём которых для больших зданий превышает **1м<sup>3</sup>**. Обслуживание таких баков сопровождается определёнными проблемами, особенно для зданий высокой этажности. В прошлом веке широко применялся «открытый» расширительный бак, единственной проблемой которого было значительное испарение воды с его открытой поверхности. Проблема решается путём применения обратных клапанов, отсекающих поверхность испарения от атмосферного воздуха. Работоспособность этого предложения проверена на ряде объектов, где подпитка системы не требовалась в течение отопительного периода. На рис.13 показан наиболее вариант крупного бака на примере современной реконструкции системы отопления учебного корпуса №15 БНТУ. Подобное решение предлагается для низкотемпературных систем отопления многоквартирных жилых домов.
- Низкое качество регулирования температуры подающего теплоносителя по графику ЦКР (из-за небольшого диапазона **+30°С...+50°С**) следует компенсировать применением качественных, простых и надёжных систем индивидуального регулирования температуры воздуха в отапливаемых помещениях;

- Циркуляционный насос следует подбирать с электронным управлением частотой вращения без «запаса» по задаваемому расходу теплоносителя, чтобы не уменьшить и без того малую разность температур теплоносителя.

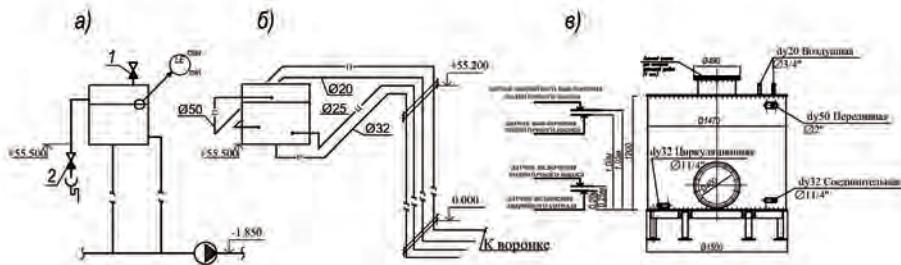


Рис.13 Предлагаемый расширительный бак, устанавливаемый в верхней точке системы низкотемпературного водяного отопления (на примере реконструкции системы отопления учебного корпуса №15 БНТУ).

**а** – принципиальная схема; **1** – обратный клапан для входа воздуха, **2** – обратный клапан на переливной трубе; **б** – фрагмент схемы проектного решения; **в** – фрагмент сборочного чертежа расширительного бака ёмкостью 3м<sup>3</sup>.

### 3.2. Система отопления

- Исключается применение однотрубных систем. Следует проектировать двухтрубные системы отопления;
- Расчётные расходы теплоносителя при прочих равных условиях в сравнении с традиционными водяными системами в 2...3 раза выше. При этом, в случае возникновения эксплуатационного разбаланса в системе из-за несанкционированного вмешательства жильцов, возникают более значимые дискомфортные явления в сравнении с традиционными системами.
- Требуемые поверхности нагревательных приборов почти в 2 раза больше, поэтому следует применять пластинчатые конвекторы или сталь-

ные плоские радиаторы высотой не более **400мм** с расположением терmostатического клапана с жидкостным датчиком или с датчиком с твёрдым наполнителем ближе к полу. Отопительные приборы следует оборудовать терmostатическими клапанами со встроенной задаваемой предустановкой пропускной способности, но при значении  $kvs$  в пределах **0,35...0,45 м<sup>3</sup>/ч** (рис.14), что в сочетании с правильно подобранным циркуляционным насосом исключает нарушение работы в системе при любых вмешательствах жильцов в гидравлику системы.

- Напольное отопление и конвективное отопление квартиры предлагается подключать к единой распределительной гребёнке (рис.15).



Рис.14. Предлагаемые варианты конвективного низкотемпературного отопления

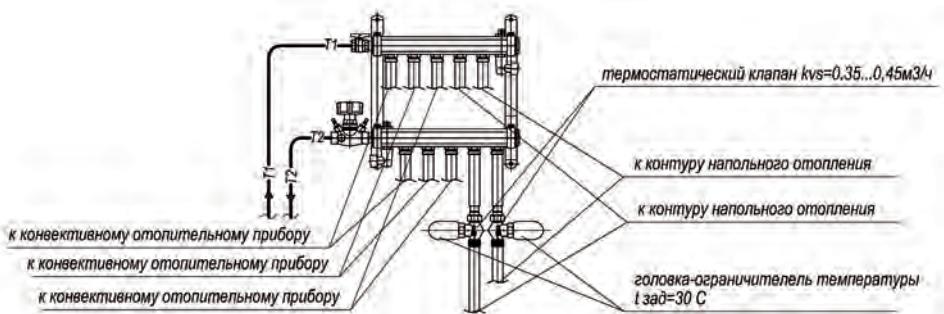


Рис.15. Предлагаемый вариант гребёнок квартирного распределителя

Напольное отопление комнат следует применять нерегулируемое по теплоотдаче в сочетании с регулируемым конвективным, задаваясь нагрузкой напольного не более **50%** от расчётной. На обратном трубопроводе каждого контура напольного отопления следует устанавливать термостатический клапан (в разрыв трубы без контакта с гребёнкой) с ограничителем температуры теплоносителя при «установке» примерно на **30°C** (рис.15).

В случае отказа от проектирования напольного отопления следует сохранить указанную на рис.15 обвязку квартирного распределителя, предоставив, таким образом, каждому застройщику при желании возможность самостоятельного изготовления системы напольного отопления с присоединением к своему квартирному распределителю.





[www.effbuild.by](http://www.effbuild.by)

Проект Программы развития ООН и Глобального экологического фонда «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» ставит своей целью снижение потребления энергии при строительстве и эксплуатации жилых зданий и соответствующее сокращение выбросов парниковых газов.

Основное внимание в проекте уделяется разработке и обеспечению эффективного внедрения новых методов проектирования жилых зданий и строительных норм, проектированию и строительству трех демонстрационных многоэтажных жилых зданий массовых серий, решению вопросов, связанных с сертификацией зданий по уровню энергоэффективности.

Национальным исполняющим агентством является Департамент по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь. Основными партнерами проекта выступают Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, ОАО МАПИД, УП «Институт Гродногражданпроект», Могилевский облисполком.