



**ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ
ЗДАНИЙ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Рекомендации по проектированию

**Минск
БНТУ
2017**

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь
Унитарное предприятие «Институт НИПТИС»

Утверждаю:

Зам. министра архитектуры
и строительства
Д. И. Семенкевич



Утверждаю:

Зам. министра образования
С. В. Рудый



ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Рекомендации по проектированию

Минск
БНТУ
2017

УДК 697.329 + 697.7

ББК 31.63

Г 31

Составители:

В. В. Покотилов, М. А. Рутковский

Научные консультанты:

академик НАН Беларуси, доктор технических наук,

профессор *Б. М. Хрусталёв*;

директор государственного предприятия «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.», доктор технических наук, профессор, иностранный член РААСН, член-кор. Международной инженерной академии *В. М. Пилипенко*

Рецензент:

главный специалист ОАО «Институт Минскгражданпроект»

М. А. Ларина;

декан факультета электрификации БГАТУ, канд. техн. наук,

доцент *К. Э. Гаркуша*

Г 31 Гелиосистемы теплоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Республики Беларусь: рекомендации по проектированию. – Минск: БНТУ, 2017. – 60 с.

ISBN 978-985-583-106-9.

Представленный материал рассмотрен, утвержден и рекомендован к использованию Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь и Министерством образования Республики Беларусь

В рекомендациях изложены необходимые теоретические и практические сведения о схемах гелиосистем теплоснабжения, применяемых для жилых многоквартирных зданий и зданий усадебного типа. Материал содержит методику подбора и расчета гелиосистем для проектирования зданий жилого фонда в условиях Республики Беларусь.

Рекомендации предназначены для проектировщиков, инженерно-технических работников, докторантов, аспирантов, магистрантов, студентов старших курсов строительных специальностей.

УДК 697.329 + 697.7

ББК 31.63

ISBN 978-985-583-106-9

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

© УП «Институт жилища –
НИПТИС им. Атаева С. С.», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Гелиосистемы теплоснабжения и горячего водоснабжения жилых зданий	5
1.1. Небольшие и средние гелиосистемы	5
1.2. Крупные гелиосистемы	8
2. Гелиоколлекторы	10
3. Методы «пассивного» использования солнечной энергии	16
3.1. Радиационный климат Беларуси	16
3.2. Особенности применения «пассивных» методов использования солнечной энергии при проектировании энергоэффективной квартальной застройки	25
3.3. Особенности применения «пассивных» методов использования солнечной энергии при проектировании энергоэффективных зданий	28
4. Оценка энергоэффективности проектного решения	34
Список использованных источников	36
Приложение А. Справочные сведения по методике расчета гелиосистем	39
Приложение Б. Пример расчета гелиосистемы горячего водоснабжения многоквартирного жилого дома в Могилеве	47
Приложение В. Пример расчета воздушного гелиоколлектора в качестве пассивного устройства отопления индивидуального жилого дома в Минской области	54

ВВЕДЕНИЕ

Развитие солнечной энергетики в Республике Беларусь рассматривается в качестве перспективного направления как на уровне государственных инициатив, так и непосредственно частными фирмами и застройщиками. При этом потребители учитывают экологическую безопасность гелиосистем, а также возможность получения энергии от солнца на протяжении всего года непосредственно в месте ее использования. Радиационный режим Беларуси аналогичен режиму многих средневропейских стран с развитым применением солнечной энергии как в области гелиоархитектуры домостроения и градостроительства, так и в области применения специальных тепловых гелиосистем теплоснабжения и горячего водоснабжения.

В рекомендациях даны описания различных схем гелиосистем теплоснабжения многоэтажных жилых зданий и домов усадебного типа, а также принципы обоснованного выбора проектируемых гелиосистем для эксплуатационных условий в Республике Беларусь. Представлены конструктивные и эксплуатационные особенности различных гелиосистем, предложены критерии выбора определенного типа гелиоколлекторов.

Целесообразность применения гелиотехнологий в новостройках Беларуси должна рассматриваться в комплексном применении как гелиосистем горячего водоснабжения, так и «пассивных» методов использования солнечной энергии для квартальной застройки и в архитектурно-планировочном решении самих зданий. Поэтому в рекомендациях приводится анализ радиационного климата Беларуси и описываются особенности применения «пассивных» методов использования солнечной энергии для отдельных зданий и проектирования энергоэффективной квартальной застройки, в том числе на примере реально существующих застроек одного из районов г. Минска. Издание также содержит раздел об оценке энергоэффективности проектного решения.

1. ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Потребность жилого дома в тепловой энергии на нужды отопления и горячего водоснабжения изменчива в течение суток, меняется в течение месяца и года. Теплопоступления солнечной энергии являются нерегулярными и не совпадают по величине и периоду с потребностью в теплоте, поэтому между приемником солнечной энергии и потребителем теплоты устанавливается тепловой аккумулятор, рассчитываемый, в зависимости от назначения гелиосистемы, на суточный (двухсуточный), недельный или сезонный запас тепловой энергии. В повсеместной практике наиболее применяемыми являются гелиосистемы с одно- двухсуточным аккумулярованием тепловой энергии. Такие системы являются экономически оптимальными.

Гелиосистема включает в себя три основных конструктивных элемента: гелиоколлектор – приемник тепловой солнечной энергии; аккумулятор теплоты, например, водяной бак-аккумулятор; систему передачи теплоты потребителю. Условно гелиосистемы подразделяются на небольшие, средние и крупные. Такое разделение связано с принципиальными различиями в их конструкции [1].

1.1. Небольшие и средние гелиосистемы

Небольшие гелиосистемы применяют с естественной и насосной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора. Системы с естественной циркуляцией обладают, в сравнении с насосными, более высокой энергоэффективностью, имеют меньшую стоимость и просты в эксплуатации. На рис. 1.1 приведена наиболее распространенная в странах с теплым климатом (например, в Турции) схема гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора.

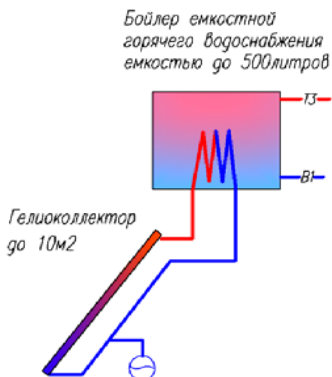


Рис. 1.1. Конструкция небольшой гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора – одноконтурная схема с верхним расположением бойлера

Для климата с отрицательными температурами такая схема неприемлема. Рекомендуется применять двухконтурную схему, которая обладает всеми преимуществами, присущими системам с естественной циркуляцией. Данная схема описана в источниках [2, 3, 4, 14]. В этой системе контур гелиоколлектора состоит из двух контуров: до гидравлического разделителя – с естественной циркуляцией, после него – с насосной циркуляцией (рис. 1.2).

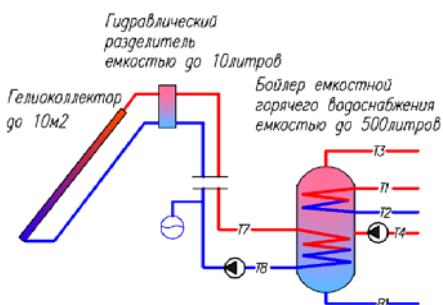


Рис. 1.2. Конструкция небольшой гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора – двухконтурная схема с гидравлическим разделителем и нижним расположением бойлера [2, 3, 4, 14]

На рис. 1.3 приведены упрощенные схемы небольших и средних геосистем с насосной циркуляцией теплоносителя.

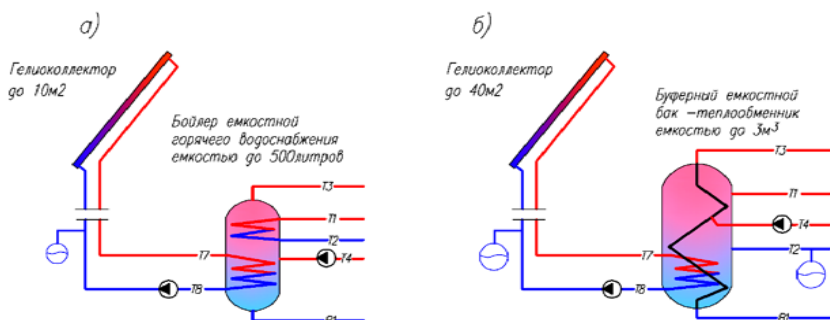


Рис. 1.3. Конструкция небольшой (а) и средней (б) геосистемы

Для таких систем применяется бак-аккумулятор со встроенными теплообменными поверхностями в виде трубчатых змеевиков. Таким образом, с помощью единого устройства обеспечивается температурное расслоение по высоте бака, суточное аккумулирование тепловой энергии, нагревание воды для системы горячего водоснабжения от геосистемы и дополнительных источников энергии.

Небольшие геосистемы, с гелиоколлектором до 10 м² и аккумулярующим бойлером емкостью до 500 л (рис. 1.3, а), являются наиболее распространенными для индивидуального пользования. Многие производители предлагают такие системы в виде единого комплекса, поставляемого на объект для монтажа без предварительного проектирования. При этом разработаны различные варианты комплектаций, учитывающие требуемое назначение геосистем и возможные пожелания потребителя. Варианты комплектаций приводятся производителями в подробных описаниях по монтажу и эксплуатации, что весьма удобно для потенциального покупателя. Бойлеры емкостью более 500 л в настоящее время, как правило, не используются ввиду возникающих проблем по санации контура горячего водоснабжения от легионеллеза.

Для так называемых средних геосистем с гелиоколлектором общей площадью до 40 м² требуются аккумуляторы емкостью более 500 л. В этом случае в качестве аккумуляторов применяют так называемые буферные баки емкостью до 3 м³, заполненные тепло-

аккумулирующей деаэрированной водой, от которой теплота передается к контрасту горячего водоснабжения через трубчатый змеевик-теплообменник, расположенный по всей высоте бака (рис. 1.3, б). Вода в баке может дополнительно нагревается теплообменным змеевиком контура гелиоколлектора, а также традиционным источником теплоты – водогрейным котлом или от тепловых сетей. Комплектация для средних гелиосистем у различных производителей отличается принципами автоматизации и вариантами применяемых дополнительных источников теплоты, но сопровождается детальными инструкциями по проектированию, монтажу и эксплуатации. Эти системы широко востребованы фермерскими хозяйствами, гостиницами, применяются для систем горячего водоснабжения небольших предприятий, для офисных зданий и др.

1.2. Крупные гелиосистемы

К крупным относят гелиосистемы с гелиоколлектором общей площадью более 100–200 м². Они принципиально отличаются от средних гелиосистем конструкцией тепловых аккумуляторов, системами автоматического управления и технологией проектирования.

Крупные гелиосистемы применяют для теплоснабжения и горячего водоснабжения многоквартирных жилых домов, систем централизованного теплоснабжения небольшого поселка, теплоснабжения промпредприятий. В гелиотехнической практике Республики Беларусь такие системы впервые использованы в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» для теплоснабжения многоквартирных жилых домов [1].

Для крупных гелиосистем применяют скоростные пластинчатые теплообменники, отделяющие контур гелиоколлектора от контура горячего водоснабжения с помощью промежуточного контура с буферным баком-аккумулятором емкостью более 4 м³ между ними. Крупные гелиосистемы применяют также в сочетании с другими возобновляемыми источниками тепловой энергии, что позволяет значительно повысить энергоэффективность систем здания в течение всего года.

В зависимости от конкретных обстоятельств крупная гелиосистема может иметь два и более буферных бака-аккумулятора.

Будем рассматривать варианты гелиосистем с применением только одного буферного бака. Такие системы являются экономически оптимальными и более простыми в проектировании и эксплуатации. На рис. 1.4 и 1.5 в упрощенном виде приведены некоторые варианты крупных гелиосистем с одним буферным баком-аккумулятором.

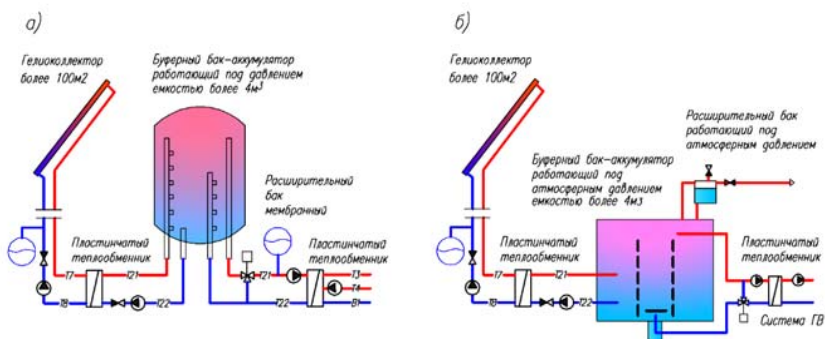


Рис. 1.4. Варианты крупной гелиосистемы:

а – с буферным баком-аккумулятором, работающим под давлением; б – с буферным баком-аккумулятором, работающим под атмосферным давлением, и с расширительным баком, работающим под атмосферным давлением

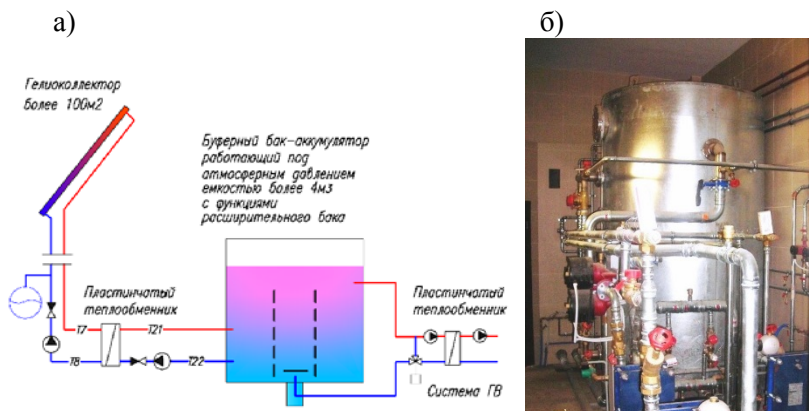


Рис. 1.5. Крупная гелиосистема с буферным баком-аккумулятором, работающим под атмосферным давлением, с функциями расширительного бака: а – схема крупной гелиосистемы; б – бак-аккумулятор объемом 4,5 м³ самостоятельного изготовления с функциями расширительного бака, установлен в котельной для гелиоколлекторов площадью 60 м² (Витебская область)

В европейской практике распространены гелиосистемы с буферным баком-аккумулятором, работающим под давлением (рис. 1.4, *а*). Европейская практика проектирования и эксплуатации крупных гелиосистем для жилых зданий не может быть в полной мере привнесена в нашу страну по целому ряду объективных причин. Основной из них является отсутствие специальных сервисных служб, появление которых вряд ли предвидится в ближайшее время. Именно поэтому для гелиосистемы следует разрабатывать такие технические решения, которые по силам эксплуатационным службам ЖЭС на базе имеющейся квалификации. Следует разрабатывать такие устройства для гелиосистем теплоснабжения и горячего водоснабжения, которые не требуют планового периодического обслуживания. Рекомендуется применять буферные баки-аккумуляторы, работающие под атмосферным давлением и обладающие функциями расширительного бака (см. рис. 1.5), а также по возможности отказаться от мембранных расширительных баков, заменив их расширительными баками специальной конструкции, работающими под атмосферным давлением (рис. 1.4, *б*, рис. 1.5). В дальнейшем это позволит рекомендовать разработанные и опробованные гелиосистемы для внедрения в проектируемый и эксплуатируемый жилой фонд. Справочные сведения по методике расчета гелиосистем приводятся в прил. А.

2. ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРЫ

В настоящее время наиболее применяемыми являются плоские коллекторы с одинарным остеклением и трубчатые вакуумированные. Применяют также плоские коллекторы с повышенной изоляцией – с двойным светопрозрачным покрытием и вакуумированные. В зависимости от обстоятельств используют различные варианты расположения гелиоколлекторов: на скатной и плоской кровле, специальной эстакаде, вертикальные и встроенные в ограждающую конструкцию здания (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Варианты расположения гелиоколлекторов

Угол наклона коллектора принимается в зависимости от назначения гелиосистемы, локальных климатических характеристик, возможного соотношения прямого, отраженного и рассеянного солнечного излучения. Например, при высокой отражающей способности местности будет превалировать отраженное излучение, поэтому коллектор устанавливают почти под прямым углом к горизонту. При установке гелиоколлектора на специальной эстакаде, скатной или плоской кровле для условий Беларуси можно принять следующие значения оптимального угла наклона коллектора южной ориентации:

- для гелиосистемы теплого периода года 40–45°.
- гелиосистемы круглогодичного применения 50–55°.

Плоский и трубчатый гелиоколлекторы принципиально отличаются по конструктивному устройству (рис. 2.2). Плоский коллектор состоит из последовательных плоских слоев «солярного» стекла, теплового коллектора для поглощения солнечной энергии и слоя теплоизоляции, помещенных в достаточно герметичный корпус (рис. 2.2, а). Для систем с естественной циркуляцией теплопоглощающий коллектор изготавливают в виде вертикально расположенных параллельно соединенных элементов (рис. 2.2, б), а для систем с насосной циркуляцией теплопоглощающий коллектор собирается из горизонтально расположенных последовательно соединенных элементов (рис. 2.2, в). Трубчатый вакуумированный гелиоколлектор имеет множество конструктивных вариантов исполнения, в основу которых заложено значительное снижение теплотерь между тепловым элементом и наружным воздухом за счет создания вакуума между ними (рис. 2.2, г).

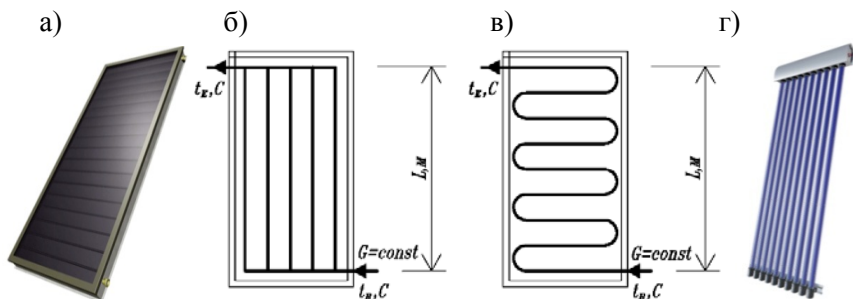


Рис. 2.2. Плоский и трубчатый гелиоколлекторы:
а – общий вид плоского гелиоколлектора; *б* – схема плоского гелиоколлектора для систем с естественной циркуляцией; *в* – схема плоского гелиоколлектора для систем с насосной циркуляцией; *г* – общий вид трубчатого вакуумированного гелиоколлектора

Основным элементом трубчатых вакуумированных коллекторов является «трубка» (рис.2.3), которая состоит из стеклянной колбы *1* с двойным остеклением и вакуумированным зазором, и тепловоспринимающего элемента 2.

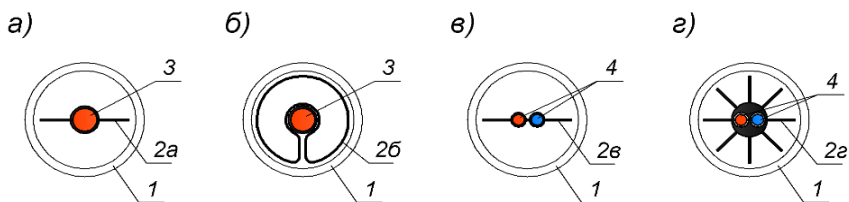


Рис. 2.3. Сечение трубки различного типа вакуумированных трубчатых коллекторов:
а, в – с тепловым плоским элементом; *б* – с тепловым цилиндрическим элементом; *г* – с тепловым литым элементом из алюминиевого сплава; *1* – колба с двойным остеклением и вакуумированным зазором; *2а, 2в* – плоский тепловоспринимающий элемент; *2б* – тепловоспринимающий элемент цилиндрического вида с пружинным контактом с тепловой трубкой; *2г* – тепловой элемент, литой из алюминиевого сплава; *3* – тепловая трубка; *4* – U-образная медная трубка циркулирующего теплоносителя

Плоский тепловоспринимающий элемент $2a$ имеет коллекторы, в которых при монтаже нужно поворачивать колбу на какой-либо оптимальный угол за Солнцем, что на самом деле не приносит практического эффекта. Идея теплового цилиндрического элемента $2б$ позволяет воспринимать излучение при любом угле падения солнечного излучения, однако вызывает сомнение эффективность теплопередачи за счет теплопроводности пластины $2б$ по «длинному» пути к поверхности тепловой трубы 3 . Коллекторы (рис. 2.3, *а*, 2.3, *б*), имеют низкую себестоимость. Применение тепловых трубок 3 не дает теплового преимущества в эффективности передачи теплоты от тепловоспринимающей поверхности к теплоносителю, по сравнению с традиционным способом непосредственной циркуляции теплоносителя (рис. 2.3, *в*, 2.3, *г*). Применение тепловых трубок 3 позволяет упростить производство и особенно транспортировку гелиоколлекторов по отдельным своим составляющим. Коллекторы, изображенные на рис. 2.3, *в*, 2.3, *г*, имеют более высокие теплотехнические качества, по сравнению с коллекторами на рис. 2.3, *а*, 2.3, *б*, 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. 2.4).

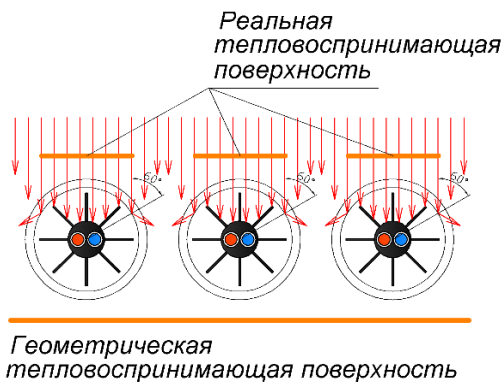


Рис. 2.4. Оценка реальной тепловоспринимающей поверхности трубчатых коллекторов

Реальная тепловоспринимающая поверхность трубчатого коллектора составляет 0,60–0,62 от его геометрической поверхности. Для плоских коллекторов это соотношение составляет 0,85–0,9. Таким образом, для получения идентичной тепловоспринимающей поверхности геометрическая поверхность трубчатых коллекторов должна быть в $0,88/0,61 = 1,44$ раза больше.

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

– для плоского коллектора, зная его стоимость $C_{пл}$ и площадь по наружным габаритам $A_{пл}$, удельная стоимость определится следующим образом:

$$C_{уд} = \frac{C_{пл}}{0,88A_{пл}}; \quad (2.1)$$

– для трубчатого коллектора, зная его стоимость $C_{тр}$ и площадь по наружным габаритам $A_{тр}$, удельная стоимость определится следующим образом:

$$C_{уд} = \frac{C_{тр}}{0,61A_{тр}}. \quad (2.2)$$

Следует учитывать срок службы трубчатого коллектора (10–12 лет). Гарантийный срок – 1–5 лет.

Некоторые натурные эксплуатационные исследования, выполненные специалистами в области тепловых гелиотехнологий, в условиях центрально-европейского климата не показали столь явного преимущества трубчатых коллекторов над 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 °С по сравнению с плоскими, температура которых достигает не более 150 °С. Ввиду этого для исключения кипения теплоносителя в кол-

лекторах необходимо поддерживать избыточное давление не менее 3 бар – для плоских коллекторов с одинарным остеклением и более 5 бар – для коллекторов с теплоизолирующим свето-прозрачным покрытием. При высоких температурах срок службы незамерзающей жидкости резко уменьшается, поэтому в процессе эксплуатации гелиосистемы следует систематически отслеживать сохранность ее характеристик.

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

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

Срок службы – 20–35 лет, гарантийный срок – 1–13 лет.

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

3. МЕТОДЫ «ПАССИВНОГО» ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

3.1. Радиационный климат Беларуси

Исследования климата Беларуси проводились в течение многих десятилетий и непосредственно увязывались со статистическими данными по всей территории бывшего СССР. Результаты исследований и методы статистической обработки данных приведены в ряде работ и справочных данных с различной полнотой [5, 6, 7].

Тепловой режим помещений и здания в целом определяют два основных фактора: температурный и радиационный режимы климата Беларуси. На тепловой режим также влияют такие параметры климата, как влажность наружного воздуха и ветровая обстановка. Однако первый из них опосредованно учитывается при выборе теплотехнических характеристик ограждений, а второй – при анализе характера теплоотдачи у наружной поверхности ограждений.

В зависимости от обстоятельств энергетическую составляющую солнечного излучения определяют по расчетным зависимостям или статистическим данным результатов многолетних наблюдений. Первый метод является наиболее распространенным в мировой практике. Как правило, такой метод не дает возможности учесть локальные особенности климата. Однако его широко используют в определении энергетического потенциала при расчете гелиотеплоснабжения [8, 9]. Существующие расчетные выражения, в первую очередь, ориентированы на определение количества солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность. Ограничиваются обычно способами расчета средней суточной величины прихода солнечной энергии (для оценки среднемесячных энергетических балансов). Параметры климата, переменные в течение дня, используются для анализа и проектирования свойств саморегулирования здания, а также для расчета аккумулирующих массивов (встроенных в конструктивную часть здания и баков-аккумуляторов инженерных систем на одно-двухсуточный период).

Суммарная солнечная энергия на горизонтальную поверхность обычно представляется суммой локальных по времени сумм составляющих – прямого и рассеянного излучения. Вычисление первого составляющего незатруднительно для условий так называемого

«ясного неба», но имеет несколько субъективный характер для «облачного неба», определяя последний с помощью «коэффициента облачности» или иным образом.

Расчет рассеянной солнечной радиации строится, как правило, на изотропной модели небосвода, что не дает заметных искажений результатов расчетов, по сравнению с натурными измерениями для горизонтальной поверхности. Однако при расчетах суммарных поступлений солнечной энергии на наклонную поверхность различной ориентации данная модель вносит значительную ошибку, завышая результаты для северной ориентации и занижая их для южной ориентации наклонной поверхности. Степень расхождения результатов данных расчетов со среднестатистическими данными измерений может быть весьма значительной (на 50–200 %), особенно в условиях преобладающих компонентов рассеянной и отраженной радиации, что особенно характерно для климата Беларуси.

Анизотропная модель более полно учитывает указанные особенности радиационного режима, однако при отсутствии данных метеорологических исследований вносимые в математическое описание поправочные коэффициенты носят зачастую субъективный характер либо могут быть вычислены на основании статистической обработки результатов наблюдений, но в этом случае просто отпадает необходимость в подобных расчетах, так как достаточно воспользоваться справочными данными для искомых исходных значений [5, 6, 7]. Обоснованным можно считать анализ [10] некоторых моделей, наиболее распространенных в мировой практике, – изотропной (Лю-Джорана, Даффи-Бекмана и др.) и анизотропной модели небосвода (Клачера, Переза и др.). Отмечено, что при определении среднемесячных значений в летнее время результаты расчетов практически идентичны, а в зимний период результаты, более близкие к натурным измерениям, дает анизотропная модель небосвода. Однако для зимнего периода расчет часовых и дневных значений по указанным моделям дает неточные результаты.

Энергетическую составляющую солнечного излучения Q_{α} , падающую на наклонную поверхность (или солнечный коллектор), разделяют на составляющие: прямую радиацию S_{α} , рассеянную D_{α} и отраженную R_{α}

$$Q_{\alpha} = S_{\alpha} + D_{\alpha} + R_{\alpha}. \quad (3.1)$$

При прочих равных условиях отраженная составляющая является максимальной по значениям для вертикальных стен (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 могут быть с определенной достоверностью вычислены для южной ориентации с азимутными отклонениями $\pm 15-30^{\circ}\text{C}$. Для другой ориентации расчетные значения можно считать весьма далекими от реальных. Наиболее достоверно рассчитываются отраженные и рассеянные компоненты для южной поверхности. Например, для изотропной модели [11]:

$$D_{\text{ст}} = \frac{D}{2}; \quad (3.2)$$

$$D_{\alpha} = \frac{D(1 + \cos \alpha)}{2}, \quad (3.3)$$

а для анизотропной модели в условиях континентального климата для вертикальной стены [11]:

$$(D + R)_{\text{ст.а}} = (D + R)_{\text{ст}} (0,25 + \cos h_n + 0,45) A_1, \quad (3.4)$$

где α – угол наклона поверхности к горизонту;

индексы: ст – стена; а – анизотропная модель; A_1 – альбедо (табл. 3.1).

Таблица 3.1.

Значения альбедо A_1 поверхности [5]

Поверхность	Ориентация				
	Ю	Ю.-В. (Ю.-3.)	В (3)	С.-В. (С.-3.)	С
Трава	1,00	0,84	0,80	0,77	0,70
Снег	1,15	0,95	0,92	0,86	0,80

Сравнение результатов расчетов с измерениями показывают, что анизотропная модель, в отличие от изотропной, дает наиболее близкие к реальности результаты, в том числе и для климатических условий, подобных Беларуси. Так, для летнего периода анизотропная модель, по сравнению с изотропной, показывает результаты в 2 раза больше для южной ориентации и в 1,3 раза больше – для восточной и западной. Для зимнего периода соответственно в 3 и 2 раза больше. Для северной ориентации результаты расчетов совпадают по обоим моделям.

Суммарная радиация на наклонную поверхность южной ориентации может быть выражена [12]:

$$Q_{\alpha} = k_{\alpha} Q, \quad (3.5)$$

где k_{α} – коэффициент пересчета, определяемый как функция от величин D , Q , k_s , α , A_1 и др., или по выражению

$$Q_{\alpha} = S' k_s + (Q - S') \cos^2 \frac{\alpha}{2} + A Q \sin^2 \frac{\alpha}{2}, \quad (3.6)$$

где $k_s = \frac{S_{\alpha}}{S'}$,

S_{α} – суточная сумма прямой радиации на склон;

S' – сумма прямой радиации на горизонтальную поверхность;

A – альbedo поверхности Земли.

Для вертикальной стены суммарная радиация может быть вычислена [6, 11]:

$$Q_{\text{ст}} = S_{\text{ст}} + k_D D + 0,5QA, \quad (3.7)$$

где $S_{\text{ст}} = S \cos \alpha$;

$$\cos \alpha = \cos h \cdot \cos \psi;$$

$$\psi = a - a_{\text{ст}};$$

a – азимут Солнца;

$a_{\text{ст}}$ – азимут нормали к стене;

h – высота Солнца над горизонтом;

h_n – полуденная высота Солнца на 15-е число каждого месяца.

Для определения азимута и высоты Солнца относительно рассматриваемой географической точки используют солнечные карты.

Значения h_n , применяемые для оценки критического выноса солнцезащитных устройств, были определены для каждого месяца с помощью указанных карт, полученные результаты представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Значения h_n для городов Беларуси

Город	Месяцы года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Брест	17	26	37	48	57	62	59	52	41	29	19	14
Гродно	15	23	33	45	55	60	58	52	40	28	18	13
Гомель	16	25	37	48	57	62	59	53	41	29	19	14
Минск	15	25	35	47	56	61	58	50	40	28	20	13
Могилев	14	23	34	46	54	59	57	50	38	28	16	11
Витебск	13	22	33	45	52	57	56	49	38	26	15	11

Представленные результаты позволяют выполнять расчеты и конструировать солнцезащитные устройства, окна южной ориентации, солнечные коллекторы и другие подобные расчеты, связанные с воздействием солнечного излучения.

При расчете солнцезащитных устройств и солнцерегулирующих архитектурных и конструктивных элементов здания, как правило, используют методики упрощенного расчета, подобные методике [13], или же выполняют расчеты с помощью обобщающих упрощенных диаграмм [11]. На данных диаграммах азимут отсчитывается от северного вектора по часовой стрелке а $\pm 0-360^\circ$. Так принято отсчитывать азимут в геодезии, картографии и т. п. Таким же образом определяется азимут и в зарубежной литературе по радиационному режиму. В отечественной практике расчетов радиационного режима принято отсчитывать азимут от южного направления в обе стороны до северного, при этом азимуты западного направления принимаются со знаком «плюс» а $+0-180^\circ$, восточного – со знаком «минус» а $-0-180^\circ$.

Каждая из компонент суммарного солнечного излучения Q_α зависит не только от угла наклона поверхности, но и от ее ориентации по сторонам света (азимута). На рис. 3.1 показана схема комплексного облучения наклонной поверхности.

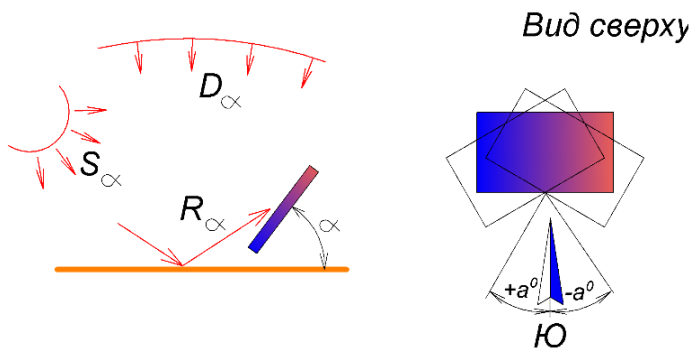


Рис. 3.1. Компоненты энергетического солнечного излучения и азимуты наклонной поверхности

При отклонении азимута от южного направления суммарное солнечное излучение, поступающее на наклонную поверхность, будет уменьшаться. На основании вышеизложенных исходных данных для модели, указанной на рис. 3.1, были вычислены коэффициенты, показывающие, во сколько раз уменьшаются солнечные теплопоступления на наклонную поверхность в зависимости от угла ее наклона при различных азимутах (относительно южного направления). Результаты расчета представлены в виде диаграммы на рис. 3.2.

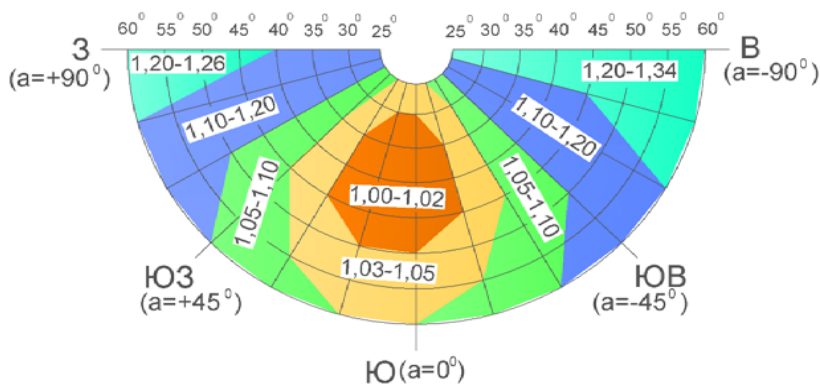


Рис. 3.2. Диаграмма для определения коэффициента уменьшения поступления суммарной солнечной энергии на наклонную поверхность в зависимости от угла ее наклона при различных азимутах (для осенне-весенне-летнего периода Беларуси)

Для вертикальной поверхности схема комплексного облучения показана на рис. 3.3.

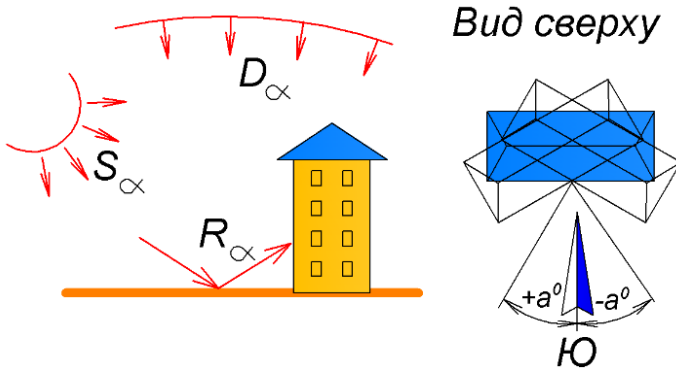


Рис. 3.3. Компоненты энергетического солнечного излучения и азимуты вертикальной поверхности здания

Для вертикальных поверхностей выявляется направление гелиотермической оси [14, 15] для различных географических областей Беларуси и определяются допустимые отклонения от южной ориентации с целью определения возможных градостроительных решений при создании генплана места застройки и решении фасадов энергоэффективных зданий.

В качестве исходных параметров принимается:

- суммарное суточное количество солнечной радиации, поступающей на расчетную поверхность, что позволяет вычислять тепловые балансы объекта за задаваемый период (месяц, год):

- изменение суммарной интенсивности солнечного излучения на расчетную поверхность в течение суток для выявления расчетного значения, требуемого при конструировании гелиотехнических устройств и определении их расчетной тепловой мощности.

Расчетную зависимость для определения суммарной интенсивности солнечного излучения на вертикальную поверхность южной ориентации $q_{ст}$ можно определить по зависимости

$$q_{\text{ст}} = \frac{Q_{\text{ст}} \cdot 10^6}{\tau 0,7 \cdot 3600} = Q_{\text{ст}} \psi, \quad (3.8)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – среднемесячное суточное суммарное количество радиации на вертикальную поверхность южной ориентации [5, 6, 7, 11, 16], МДж/м²;

τ – продолжительность «работы» гелиотехнического устройства (окна, вертикального гелиоколлектора и т. п.), ч.

Для определения значений коэффициента предлагается выражение

$$\psi = \frac{397}{\tau}. \quad (3.9)$$

Некоторые значения приведены в табл.3.3.

Таблица 3.3

Значения ψ для вертикальной стены (окна, коллектора)
южной ориентации

Город	Продолжительность инсоляции τ (верхняя строка) Коэффициент ψ по месяцам года (нижняя строка)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Брест 52°с.ш.	8,3 47,8	9,9 40,1	11,8 33,6	11,0 36,1	10,0 39,7	9,4 42,2	9,6 41,3	10,5 37,8	11,7 33,9	10,7 37,1	8,8 45,1	7,8 50,9
Гомель 52°с.ш.	8,2 48,4	9,9 40,1	11,8 33,6	11,0 36,1	10,0 39,7	9,5 42,7	9,6 41,3	10,5 37,8	11,7 33,9	10,7 37,1	8,8 45,1	7,7 51,5
Минск, Гродно, Могилев 54°с.ш.	8,0 49,6	9,8 40,5	11,8 33,6	10,9 36,4	9,9 40,1	9,3 42,7	9,6 41,3	10,4 38,2	11,7 33,0	10,7 37,1	8,6 46,1	7,5 52,9
Витебск 55°с.ш.	7,7 51,5	9,7 40,9	11,8 33,6	11,1 35,3	10,2 36,9	9,7 40,9	9,9 40,1	10,6 37,4	11,7 33,9	10,6 37,4	8,4 47,2	7,2 53,1

С использованием выражения (3.8) построена номограмма, позволяющая определять среднюю удельную мощность солнечного излучения $q_{ст}$, Вт/м², на вертикальную поверхность для некоторых городов Беларуси (рис. 3.4).

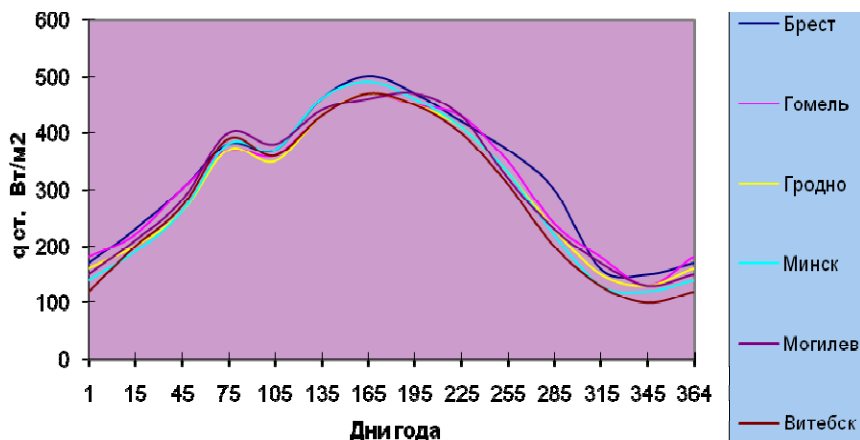


Рис. 3.4. Диаграмма удельной средневневной интенсивности солнечного излучения на вертикальную поверхность южной ориентации по дням года

Максимальной активностью к восприятию солнечной энергии в зимний период обладают здания широтной ориентации. При посадке на местности здания с отклонением от широтной ориентации снижается солнечная энергия, поступающая за отопительный период, однако такое снижение в пределах 5 % не отразится на общих годовых теплотехнических характеристиках здания, так как находится в пределах погрешности исходных климатических данных.

Исходя из расчетов для различных географических областей Беларуси при различных азимутах [1], выявилось, что в летний период имеет место «перегрев» восточного фасада на 16–20 %, западного, в сравнении с южным, – на 10–14 %. Таким образом, за световой день удельное поступление суммарной солнечной энергии на восточный и западный фасады в 2,2–2,4 раза больше поступления солнечной энергии на южный. Для зимнего периода поступление суммарной солнечной энергии на восточный фасад на 55–65 % меньше ее поступления на южный, а на западный – на 40–50 %.

Для зимнего периода гелиотермическая ось отклоняется от меридиана на $+3,2^\circ$ для климата Бреста, Гомеля и Гродно, на $+2,5^\circ$ – Могилева и Минска, на $+2,2^\circ$ – Витебска.

Указанные обстоятельства обуславливают принципиальные отличия в требованиях к формированию архитектурно-строительных решений каждого фасада энергоэффективного здания [14, 15].

Таким образом, максимальной активностью к восприятию солнечной энергии обладает фасад с азимутом $+3,3^\circ$ в Бресте, Гомеле и Гродно, $+2,5^\circ$ – в Могилеве и Минске, $+2,2^\circ$ – в Витебске. При иной ориентации фасада снижается поступающая солнечная энергия. Однако, задавшись допустимым снижением поступающей солнечной энергии до 5 %, получаем диапазон азимутов посадки на местности здания широтной ориентации в Беларуси в допустимых пределах $a_{cti} -24$ – $+32^\circ$.

3.2. Особенности применения «пассивных» методов использования солнечной энергии при проектировании энергоэффективной квартальной застройки

На основании выполненного анализа радиационного климата Беларуси предлагаем планировочное решение жилой застройки составлять из ячеек дальнего порядка, сформированных транспортными дорогами широтной ориентации, и с отклонениями от нее на $+32^\circ$ и на -24° (рис. 3.5). Таким образом, энергоэффективных «солнечное» здание можно «поворачивать» в диапазоне 58° (в пределах азимутов: 32° на Ю.-З. и 24° на Ю.-В. относительно нулевого меридиана) без снижения его энергоэффективности, что значительно расширяет градостроительные возможности. Ячейка сформирована в виде треугольника, боковые грани которого находятся под углом 32° и 24° относительно его основания широтной ориентации, вдоль линии которого предусматривается застройка одно- и двухэтажными сблокированными домами. В данной части ячейки могут встраиваться детские сады. На боковых сторонах ячейки располагаются многоэтажные дома с увеличением этажности к вершине ячейки [17].

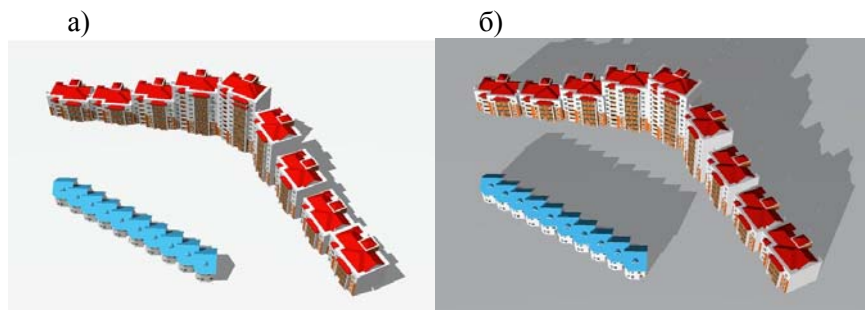


Рис. 3.5. Энергоэффективная градостроительная ячейка с энергоэффективными «солнечными» домами:
 а – тенеобразование в квартале в полдень 22 июня; б – тенеобразование в квартале в полдень 21 декабря

При посадке зданий вдоль сторон такой ячейки (вдоль дорог) обеспечиваются градостроительные условия, создающие всем зданиям застройки идентичные качества, присущие «солнечным» зданиям [14, 15, 17]. Кроме того, в сравнении с иными вариантами застройки, значительно улучшаются условия микроклимата дворовых пространств и эксплуатационные условия транспортных магистралей. Дворовые пространства минимально затеняются окружающими зданиями, при этом хорошо вентилируются и в то же время защищены от ветров Ю.-В. направления (преобладающего в зимний период), а также от ветров С.-З. направления (преобладающего в летний период). Основное тенеобразование от зданий приходится на полотно дорог, формирующих градостроительную ячейку, что увеличивает срок службы дорожного покрытия. Дороги меридианной ориентации желательнее не проектировать.

Ячейку можно формировать более прагматично – в виде прямоугольного треугольника с боковыми гранями – дорогами под углом $+45^\circ$ и -45° относительно его основания широтной ориентации, вдоль которого предусматривается застройка одно- и двухэтажными сблокированными домами. Для «солнечных» зданий, выстраиваемых вдоль боковых граней дорог квартальной ячейки, можно сохранить диапазон азимутов в пределах: $32-45^\circ$ на Ю.-З. и $24-45^\circ$ на Ю.-В. относительно нулевого меридиана.

В современной застройке г. Минска имеются кварталы с жилыми домами широтной ориентации, как, например, по улице Одинцова микрорайона Запад. Именно широтная ориентация зданий позволяет использовать методы «пассивного» использования солнечной энергии для повышения энергоэффективности в отопительный период. Совместно с магистром А. В. Лариным выполнен графический анализ характера инсоляции места застройки с целью выявления воздействия солнечной инсоляции на энергоэффективность зданий и квартальной застройки в целом (рис. 3.6).

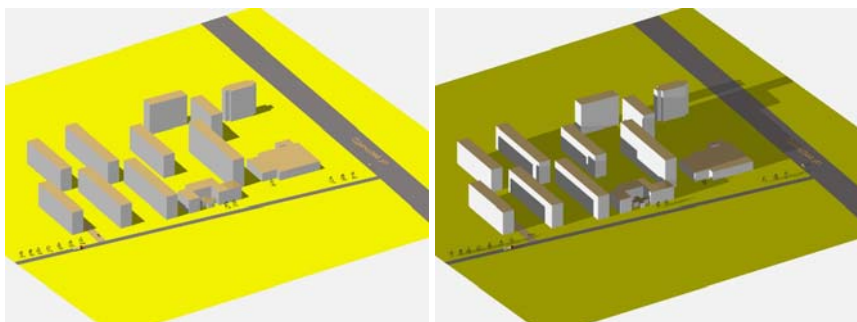


Рис. 3.6. Характер инсоляции квартальной застройки в летний и зимний периоды:
а – тенеобразование в квартале в полдень 22 июня; *б* – тенеобразование в квартале в полдень 21 декабря

Несмотря на широтную ориентацию зданий, практически исключается использование ими солнечной энергии в зимний период из-за взаимозатененности южных фасадов зданий. Дворы затенены даже в летний период. Явно проявляется непродуманность планировочной застройки, так как жилые здания затеняют не только фасады соседних домов, но и перекрывают доступ солнечного облучения на здания культурно-образовательного назначения и прилегающие к ним площадки. Планировка квартала создает перегрев в помещениях летом и не позволяет использовать солнечную энергию в зимний период.

С использованием вышепредложенных принципов энергоэффективной градостроительной ячейки предлагается решение по преобразованию исходного квартала, показанного на рис. 3.6, в энерго-

эффективный «солнечный» квартал с сохранением всех экономических и планировочных параметров и показателей застройки указанной площадки (рис. 3.7).

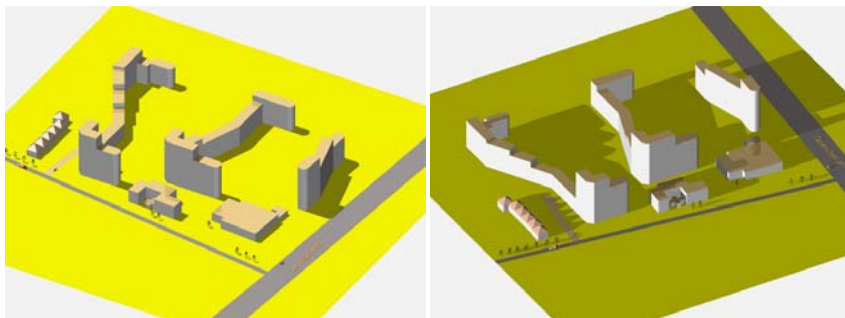


Рис. 3.7. Альтернативный энергоэффективный вариант квартальной застройки: *а* – тенеобразование в квартале в полдень 22 июня; *б* – тенеобразование в квартале в полдень 21 декабря

Альтернативный вариант квартальной застройки района Запад, представленный в качестве примера, исключает взаимное затенение домов в зимнее время при одновременном сохранении полезной площади застройки. На данном примере (рис. 3.6 и 3.7) показана необходимость энергоэффективного подхода в градостроении, что может позволить получать энергоэффективное решение и комфортный объем квартала без дополнительных капитальных затрат.

3.3. Особенности применения «пассивных» методов использования солнечной энергии при проектировании энергоэффективных зданий

Энергоэффективное проектирование базируется на теплофизической проработке архитектурной части проекта с целью придания отдельным фасадам и зданию в целом энергоактивных качеств [8, 9, 14, 15]. Здание при этом приобретает свойства саморегулирования, благодаря которым в течение года от внешней среды получает оптимальное количество энергии при снижении тепловых сбросов и без перегрева в летний период. В таком здании инженерные системы являются составляющими единого архитектурно-энергетического комплекса – здания.

Компактная геометрическая форма дома, а также южная ориентация остекленного фасада, при минимальных теплопотерях позволяют воспринимать солнечную энергию в необходимом количестве в течение всего года. Дополнительное отопление дома обеспечивается системой отопления.

Для получения оптимального проектного решения следует предварительно выполнить энергетический анализ климата и места застройки. Затем формируются несколько вариантов базового решения, из которых на основании анализа помесячных энергетических балансов по составляющим энергозатрат для каждого из вариантов выбирается основной.

Для формообразования фасадов многоквартирных зданий архитекторы, к сожалению, широко используют изломы поверхности наружных стен. В упрощенном виде форма таких зданий в плане показана на рис. 3.8, *а*. Обычно «впадины» используются для формирования лоджий. Данное конструктивное решение создает множество теплопроводных включений и приводит к увеличению площади наружных стен и количества наружных углов, в результате чего значительно повышаются теплопотери здания. Кроме того, усложняется строительство и значительно повышается себестоимость 1 м² общей площади. В качестве энергоэффективного базового варианта следует принимать простую форму здания (рис. 3.8, *б*), для которого фасады следует формировать с использованием энергоактивных конструктивных решений [15].

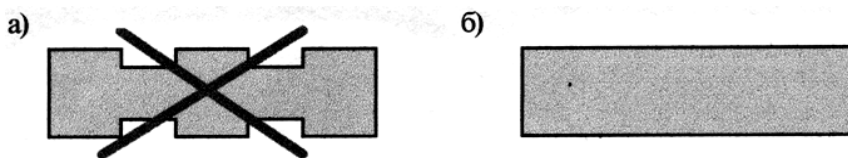


Рис. 3.8. Варианты формообразования жилого дома (в плане):
а – энергозатратная форма; *б* – энергоэффективная форма

Повышению теплопотерь в здании способствуют также «встроенные» в его объем незадымляемые лестничные клетки, так как внутренние стены, ограничивающие их объем, по сути, являются «наружными» (рис. 3.9, *а*). Следует отказаться от подобных энерго-

затратных планировок взамен на вариант неотапливаемой, «пристроенной» к дому на северном фасаде, незадымляемой лестничной клетки из светопрозрачных наружных ограждений (рис. 3.9, б). Предлагаемый вариант позволяет снизить сметную стоимость 1 м^2 общей площади здания при уменьшении расхода теплоты на отопление [15].

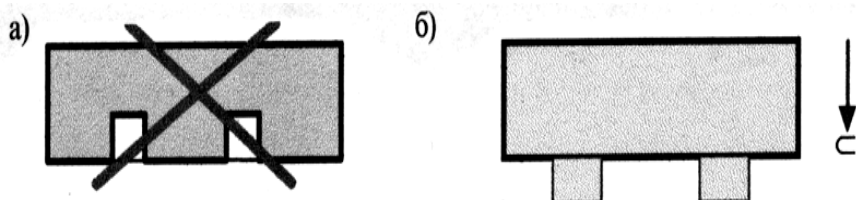


Рис. 3.9. Формообразование жилого дома с незадымляемой лестничной клеткой:
а – традиционное планировочное решение; *б* – предлагаемое планировочное решение

В энергоэффективном «солнечном» здании окна южного фасада рассматриваются в качестве гелиоприемников, а облучаемые внутренние поверхности – в качестве тепловых элементов. Тепловой комфорт в помещении зависит от тепловой активности облучаемых поверхностей, поэтому в зарубежной практике используют керамические полы с бетонной подготовкой толщиной до 0,2 м, не применяют оклейку обоями теплоемких поверхностей помещений, а для улучшения условий инсоляции пола применяют высокие окна [8, 9 и др.]. В нашем строительстве применяют полы в основном из нетеплоемких материалов. Поэтому необходима иная схема, позволяющая использовать для аккумуляции солнечной энергии поверхности стен и потолка [14, 17, 18]. В условиях существующего радиационного режима для энергоэффективного здания наиболее оптимальный южный фасад из широких окон, заглубленных относительно наружной поверхности ограждений, высотой до 1,2 м, в сочетании с широкими теплоемкими подоконниками (из бетона, камня и т.п.) и отражателями с наружной стороны. Энергетический эффект значительно повышается при устройстве остекленной лоджии с облучаемыми теплоемкими элементами (рис. 3.10).

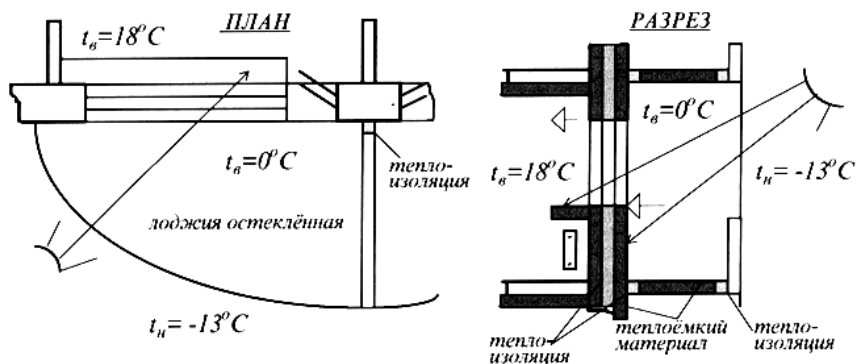


Рис. 3.10. Энергоэффективное решение южного фасада

В качестве примера использования принципов энергоэффективного проектирования предлагаем некоторые работы белорусского архитектора А. В. Осененко (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Варианты энергоэффективного решения фасадов «солнечного» дома (полдень 22 июня), архитектор А. В. Осененко

Проблемы энергосбережения в Беларуси, как правило, связывают только с зимним периодом, забывая, что и в летнее время жильцы также должны иметь комфортные условия проживания без дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат. Но «традиционные архитектурные принципы» вынуждают жильцов устанавливать холодильную и вентиляционную технику, на приобретение и эксплуатацию которой в летний период расходуется значительное количество денежных средств и электроэнергии. Таким образом, созданную архитекторами проблему перегрева помещений приходится решать за счет средств жильцов, при этом значительно ухудшая годовые показатели энергоэффективности жилых зданий.

Летом в течение дня на окна как восточного, так и западного фасада, поступает солнечной энергии в 1,1 раза больше, чем на южный, то есть за сутки на окна восточного и западного фасада поступает теплоты в 2,2 раза больше, чем на окна южного. Так как в жилой застройке преобладают здания меридианальной ориентации, то исходный радиационный перегрев им изначально обеспечен (рис. 3.12, а).

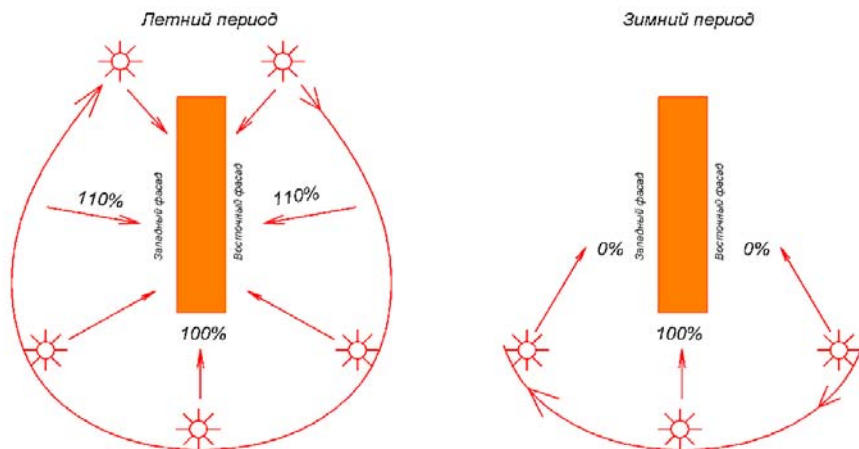


Рис. 3.12. Схема поступления солнечной энергии на фасады многоэтажного жилого дома меридианальной ориентации в летний и зимний периоды года

Летний перегрев для таких зданий через окна восточного и западного фасада можно исключить путем формирования этих фасадов в соответствии с простейшими принципами солнечной архитектуры. На рис. 3.13, а показаны причины перегрева из-за поступления солнечного излучения в объем помещения, а на рис. 3.13, б и 3.13, в, показаны классические принципы формирования прагматичных энергоэффективных решений для восточного и западного фасада.

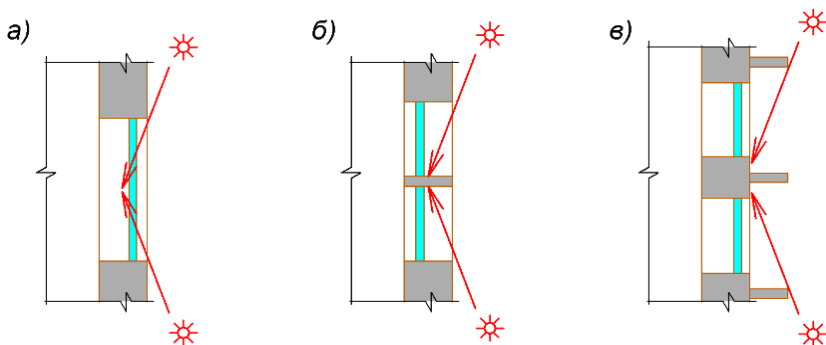


Рис. 3.13. Схемы инсоляции окон восточного (западного) фасада:
а – перегрев помещения через окно при традиционном решении фасада;
б – вариант солнцезащитного решения путем «заглубления» узких окон;
в – вариант солнцезащитного решения с помощью вертикальных солнцезащитных устройств

Определение конкретных размеров регулирующих солнцезащитных устройств базируется на различных методиках, а также на климатических статистических данных [5]. Основными исходными данными для расчета являются значения месячного и годового суммарного количества солнечной радиации на вертикальные поверхности южной ориентации при средних условиях облачности, МДж/м². Значение реальной суммарной солнечной радиации, поступающей в помещение, нужно определять, учитывая среднесуточную и среднемесячную площадь затенения, образуемую благодаря солнцезащитным устройствам. Площадь затенения определяется исходя из максимальной высоты солнца над горизонтом по дням каждого месяца. Эти данные можно найти в специальной литературе, а также в свободном доступе, например, в онлайн-калькуляторах. По этим данным строится соответствующий максимальный угол, по которому определяется максимальный вертикальный размер затененного участка. Учитывая ширину оконного переплета, глубину установки окна, размещение солнцезащитного устройства и переменную высоту солнца в течение дня определяется искомая средняя площадь за световой день и месяц.

4. ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ

Энергоэффективность проектного решения оценивается уровнем удельного годового теплопотребления здания q_{Γ} , отнесенной к 1 м^2 общей отапливаемой площади или 1 м^3 объема. Для энергетического анализа вариантов проектного решения определяется тепловая мощность системы отопления и годовое потребление теплоты, вычисляемое по тепловым балансам каждого месяца.

Установочная мощность системы отопления здания определяется по формуле [15]

$$Q_{\text{от}} = Q_{\Gamma} + Q_{\text{и}} - Q_{\text{б}}(1 - \eta_1), \quad (4.1)$$

где Q_{Γ} , $Q_{\text{и}}$ – соответственно суммарные трансмиссионные теплопотери здания и теплопотери вследствие воздухообмена, Вт;

$Q_{\text{б}} = 150 A_{\text{п}} / f_{\text{п}}$ – бытовые теплопоступления, Вт;

$A_{\text{п}}$ – площадь пола жилых помещений, м^2 ;

$f_{\text{п}}$ – средняя величина жилой площади на 1 человека, $\text{м}^2/\text{чел.}$;

η_1 – коэффициент, принимаемый в зависимости от способа регулирования системы и типа системы отопления: $\eta_1 = 0,85$ – $1,0$ – индивидуальное регулирование, $\eta_1 = 0,7$ – центральное авторегулирование на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха, $\eta_1 = 0,5$ – центральное регулирование в ЦТП или котельной, $\eta_1 = 0,2$ – без регулирования.

Суммарное потребление теплоты на отопление по каждому месяцу $Q_{\text{ми}}$, МДж

$$Q_{\text{ми}} = 2,6 \left(\frac{(Q_{\Gamma} + Q_{\text{и}})(t_{\text{в}} - t_{\text{ми}})}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} - Q_{\text{б}}\eta_1 \right) - Q_{\text{см}}\eta_1, \quad (4.2)$$

Где $t_{\text{ми}}$ – среднемесячная температура;

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ – расчетная температура соответственно внутреннего и наружного воздуха;

$Q_{\text{см}}$ – поступления от солнечной энергии через окна южного фасада за месяц, МДж.

Суммарные тепlopоступления от солнечной энергии за каждый месяц отопительного периода через окна южного фасада здания

$$Q_{cmi} = Q_{cти} \eta k_1 k_2 k_{3i} A_0, \quad (4.3)$$

где $Q_{cти}$ – сумма радиации за месяц на вертикальную стену южной ориентации, МДж;

η – коэффициент пропускания солнечного излучения через остекление оконных проемов;

k_1, k_2 – коэффициенты запыленности остекления и затененности от переплетов соответственно;

k_{3i} – коэффициент, учитывающий влияние солнцезащитных устройств (рассчитывается для каждого месяца);

A_0 – общая площадь остекления южного фасада, м².

Удельное годовое тепlopотребление на отопление жилого здания $q_{\text{год}}$, кВт·ч/м², определяется по формуле

$$q_{\text{год}} = \frac{0,28(\sum Q_{mi})}{A}. \quad (4.4)$$

Повышение энергоэффективности систем теплоснабжения и горячего водоснабжения жилых зданий реализуется путем использования дополнительных технических устройств, использующих альтернативные источники теплоты: солнечную и ветровую энергию, низкопотенциальную энергию воздуха, грунта, а также другие источники. Солнечная энергия преобразуется в тепловую с помощью тепловых гелиосистем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Покотилов, В. В. Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справочное пособие / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский. – Минск: ПРООН/ГЭФ, Департамент по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь, 2015. – 64 с.
2. Системы отопления и вентиляции усадебных жилых домов: ТКП 45-4.02-74-2007 / Минстройархитектуры, 2008. – 33 с.
3. Покотилов, В. В. Особенности проектирования гелиосистем индивидуальных жилых домов / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Материалы международной научно-технической конференции «Современные методы индустриального домостроения», Минск, 13–14 июня 2011 г., – МАиСРБ, НИПТИС. – 88 с.
4. Покотилов, В. В. Комплексное тепловое проектирование энергоактивных жилых зданий и энергоэффективных инженерных систем / В. В. Покотилов // Тепломассообмен – ММФ-2000: труды IV Минского международного форума по тепломассообмену, 22–26 мая 2000 г. – Минск: АНК «ИТМО им. А. В. Лыкова» АНБ, 2000. – Т.10: Тепломассообмен в энергетических устройствах. – С.280-288.
5. Строительная климатология: СНБ 2.04.05 – 2000. – Минстройархитектуры, 2001. – 35 с.
6. Пивоварова, З. И. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР / З. И. Пивоварова. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 295 с.
7. Материалы по радиационному режиму Белоруссии / Белорусский территориальный гидрометеоцентр. – Минск, 1977. – 38 с.
8. Андерсон, Б. Солнечная энергия: основы строительного проектирования / Б. Андерсон; пер. с англ. А. Р. Анисимова; под ред. Ю. Н. Малевского. – М.: Стройиздат, 1982. – 375с.
9. Зоколей, С. Солнечная энергия и строительство: пер. с англ. / С. Зоколей; под ред. Ю. Н. Малевского. – М.: Стройиздат, 1979. – 208 с.
10. Chowadhury, B. N. Comparative assessment of plan – of array irradiance models / B. N. Chowadhury, S. Rahman. – Sol. energy, 1987. – № 5 (39). – p. 391–398.
11. Пивоварова, З. И. Характеристика радиационного режима на территории СССР применительно к запросам строительства. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 128 с.

12. Бекман, У. Расчет систем солнечного теплоснабжения: пер. с англ. / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80 с.

13. Гетчинсон, Ф. У. Проектирование систем отопления и вентиляции: пер. с англ. / Ф. У. Гетчинсон. – М.: Стройиздат, 1959. – 218 с.

14. Pokotilov, V. V. Heliosystems and bioclimatic architecture for Belarus condition / V. V. Pokotilov, S. A. Makarevich, S. A. Zenhanka // CISBAT' 99: Conference Internationale Energie Solaire et Batiment, Lausanne, 22–23 septembre 1999. – EPFL, Batiment LESO. – P. 283–287.

15. Богословский, В. Н. Системы микроклимата экспериментального многоквартирного жилого дома с эффективным использованием энергии (проект для Москвы) / В. Н. Богословский, В. В. Покотилов // Проблемы строительной теплофизики систем микроклимата и энергосбережения в зданиях: четвертая науч.-практ. конф. – М.: Рос. акад. арх-ры и стр-х наук, НИИСФ, 1999. – с. 37–47.

16. Wilke, W. S. Modeling and simulation of element for solar heating and daylighting / W. S. Wilke, J. Schmind // Sol. Energy. – 1991. – № 5 (46). – P. 295–304.

17. Покотилов, В. В. Энергоэффективная ячейка жилой городской застройки для климата Витебска / В. В. Покотилов, А. В. Осененко // Архитектура и строительство. – 1999. – № 3. – С. 25–26.

18. Хрусталеv, Б. М. Гелиосистемы теплоснабжения в жилищном строительстве в условиях климата Беларуси / Б. М. Хрусталеv, В. В. Покотилоv, М. А. Рутковский // Строительство и реконструкция. – Орел: ГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2014. – № 5 (55). – С. 111–117.

19. Хрусталеv, Б. М. К вопросу проектирования водонагревательных гелиосистем с плоскими коллекторами для домов усадебного типа / Б. М. Хрусталеv, В. В. Покотилоv, М. А. Рутковский, Нгуен Тху Нга // Энергетика: известия высш. учеб. заведений и энергетических объединений СНГ. – Минск, 2011. – № 4. – С. 32–39.

20. Пат. 1333995. Гелиосистема воздушного отопления / А. А. Арутюнян, В. П. Николаенко, В. В. Покотилоv, Б. М. Хрусталеv; АС СССР. – Опубл. 30.08.87; Бюл. № 32.

21. Покотилоv, В. В. Регулирующие 2010 клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения / В. В. Покотилоv. – Вена: Изд-во фирмы ГЕРЦ Арматурен Г.м.б.х., – 176 с.

22. Покотилов, В. В. Использование гелиосистем и других ВИЭ для теплоснабжения многоэтажных зданий / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Энергоэффективность, департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – 2014. – №1 (195). – С. 16–20.

23. Покотилов, В. В. Особенности использования солнечной энергии для повышения энергоэффективности многоквартирных жилых домов в условиях Беларуси / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь: современные технологии энергосбережения: сборник материалов седьмой междунар. конференции, Минск, 26 февраля 2015 г. – Минск, 2015. – С. 32–36.

24. Гребеньков, А. Ж. Гелиосистемы горячего водоснабжения энерго-эффективных зданий / А. Ж. Гребеньков, В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь: вопросы современного энергосбережения: сборник материалов шестой междунар. конференции, Минск, 27 февраля 2014 г. – Минск, 2014. – С. 64–66.

25. Гребеньков, А. Ж. Энергоэффективность гелиосистем в жилищном строительстве / А. Ж. Гребеньков, В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Техническое регулирование строительной отрасли в современных условиях: сборник материалов второй междунар. научно-практической конференции, Минск, 19 мая 2016 г. – Минск, 2016. – С. 108–113.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Справочные сведения по методике расчета гелиосистем

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.

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_α и дневная температура наружного воздуха, необходимая для месячного определения эффективности гелиоколлектора. Фирмы-производители гелиосистем предлагают пользователям программные методы расчета указанных параметров на основании задаваемых географической широты местности, азимута и высоты солнца над горизонтом для данного дня или среднего для месяца, 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 [5]. В технических расчетах гелиосистем применяют среднемесячные параметры среды и суммарные за месяц энергетические характеристики климата данной местности. Количество суммарной солнечной радиации Q_α на наклонный гелиоколлектор за месяц определяется в зависимости от широты местности, угла наклона коллектора, азимута коллектора относительно южной ориентации, альbedo поверхности, средней степени облачности. С использованием этих факторов выявляется коэффициент K , применяемый для пересчета суммарной солнечной радиации Q , МДж/м², с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность коллектора Q_α :

$$Q_{\alpha} = KQ. \quad (\text{A.1})$$

Исходя из литературных данных [8, 9 и др.] применительно к рассматриваемым условиям Беларуси (широта 53–54°, угол наклона коллектора – 40–45°, средний коэффициент облачности – 0,4–0,5), можно принять следующие значения коэффициента пересчета K (табл. А.1).

Таблица А.1

Коэффициент пересчета суммарной солнечной радиации с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность коллектора

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
K	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 табл. А.2.

Таблица А.2

Месячное и годовое количество суммарной солнечной радиации на горизонтальную и вертикальную поверхность различной ориентации при средних условиях облачности, МДж/м²

Ориентация поверхности	Станция	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Горизонтальная	Полоцк	60	121	278	382	534	613	568	456	292	134	50	30	3518
	Минск	69	133	291	393	567	624	590	478	315	154	59	41	3714
	Василевичи	86	145	295	402	570	623	613	505	344	176	71	52	3882
В	Полоцк	55	108	219	250	336	394	358	292	193	89	38	25	2357
	Минск	63	116	224	245	351	391	360	299	204	100	43	36	2432
	Василевичи	77	122	216	246	342	371	365	308	216	111	50	44	2468

Ориентация поверхности	Станция	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Ю.-В.	Полоцк	90	157	289	293	353	391	366	331	252	134	64	41	2761
	Минск	103	162	295	288	374	388	372	341	264	150	68	58	2863
	Василевичи	121	171	271	283	361	371	374	348	275	164	78	67	2884
Ю	Полоцк	110	190	133	303	333	349	338	331	275	164	81	50	2855
	Минск	128	196	339	295	345	345	339	334	290	182	84	71	2948
	Василевичи	153	204	310	289	336	329	342	340	303	201	95	81	2983
Ю.-З.	Полоцк	93	166	300	284	333	358	347	316	245	138	66	42	2688
	Минск	107	172	306	280	345	362	351	322	261	155	70	59	2790
	Василевичи	127	180	287	275	333	349	359	325	277	171	80	69	2832

Тепловая энергия, получаемая гелиосистемой, выявляется на основании вычисления теплового КПД гелиоколлектора. Данная величина является его характеристикой и приводится производителем в виде функциональной или графической зависимости КПД от интенсивности солнечного излучения q_c , расчетной средней за световой день температуры наружного воздуха t_n , температур теплоносителя на входе и выходе из гелиоколлектора t_v и t_k , от локальных условий теплообмена гелиоколлектора с окружающей средой и др., например, как показано на рис. А.1.

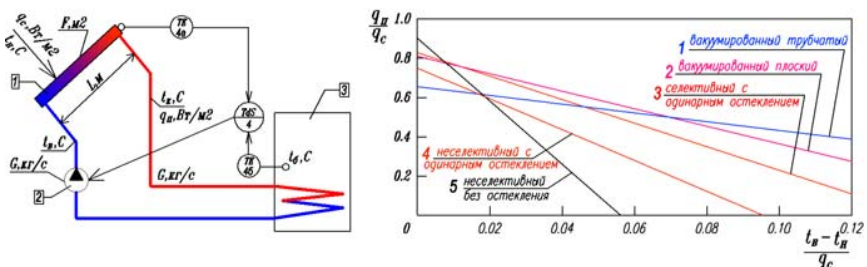


Рис. А.1. Тепловая схема и графическая зависимость для эффективности гелиоколлекторов различного типа

Как правило, функциональная зависимость представляется следующим образом:

$$\frac{q_{\text{п}}}{q_{\text{с}}} = f \left\{ \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{q_{\text{с}}} \right\}. \quad (\text{A.2})$$

В выполненных нами исследованиях для воздушных и водяных гелиосистем с естественной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора [3, 18, 24, 25] мы показали неправомочность зависимости (A.2), показанной на рис. А.1, для гелиосистем с естественной циркуляцией теплоносителя. В данном случае к числу определяющих факторов также относятся: превышение уровня центра охлаждения (бойлера) над центром нагрева (коллектором), характеристика гидравлического сопротивления контура, физические характеристики теплоносителя и др. Поэтому для систем с контуром естественной циркуляции теплоносителя эффективность работы гелиоколлектора определяется по формуле

$$\frac{q_{\text{п}}}{q_{\text{с}}} = f \left(\frac{\theta_{\text{к}}}{\theta_{\text{н}}} g \sqrt{\frac{h^3}{SF^2 q_{\text{с}} \nu}} \right) = f(B), \quad (\text{A.3})$$

где $q_{\text{п}}$ – теплопроизводительность коллектора, приведенная на 1 м² его площади, Вт/м²;

$q_{\text{с}}$ – интенсивность падающего солнечного излучения в площади коллектора, Вт/м²;

$\theta_{\text{к}} = t_{\text{к}} - t_{\text{в}}$ – разность температур теплоносителя на выходе из коллектора и на входе в него, °С;

$\theta_{\text{н}} = (t_{\text{к}} + t_{\text{в}}) / 2 - t_{\text{н}}$ – разность между температурой теплоносителя в коллекторе и температурой окружающей среды, °С;

h – разность отметок центров нагрева и охлаждения гелиосистемы, м;

S – характеристика сопротивления, Па · с²/кг²;

F – площадь гелиоколлектора, м²;

ν – кинематическая вязкость теплоносителя, принимаемая по средней температуре теплоносителя в гелиоколлекторе, м²/с.

Для определения эффективности гелиоколлектора при любой циркуляции теплоносителя необходимо знать расчетную температуру наружного воздуха t_n . Данную температуру следует принять для дневного времени суток. Поэтому, используя значения табл. А.3 и А.4 [5] с точностью для получения расчетного значения t_n , допустимой для технических расчетов, к значениям табл. А.3 прибавляется половина суточной амплитуды табл. А.4. Результаты вычислений сведены в табл. А.5.

Таблица А.3

Среднемесячная и среднегодовая температура воздуха, °С

Область, пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Минск	-6,9	-6,2	-2,0	5,5	12,7	16,0	17,7	16,3	11,6	5,8	0,2	-4,3	5,5
Гродно	-5,1	-4,4	-0,5	6,3	12,9	16,1	17,8	16,7	12,5	7,0	1,7	-2,7	6,5
Могилев	-7,6	-6,4	-2,3	5,5	12,9	16,3	18,0	16,5	11,6	5,4	-0,1	-4,9	5,4

Таблица А.4

Среднемесячная и среднегодовая суточная амплитуда температуры воздуха, °С

Область, пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Минск	6,2	6,6	7,3	8,9	11,0	10,6	10,3	10,1	9,2	6,6	4,3	4,7	8,0
Гродно	5,7	6,3	7,2	9,4	11,0	10,8	10,6	10,1	9,4	7,3	4,3	4,5	8,1
Могилев	6,4	7,0	7,7	8,8	11,1	10,8	10,8	10,7	9,7	7,0	4,9	5,3	8,4

Таблица А.5

Расчетная средняя за световой день температура наружного воздуха t_n , °С (для определения эффективности коллектора)

Область, пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Минск	-3,8	-2,9	1,6	9,9	18,2	21,3	22,9	21,4	16,2	9,1	2,4	-1,9
Гродно	-2,3	-1,3	3,1	10,0	18,4	21,5	23,1	21,8	17,2	10,7	3,9	-0,4
Могилев	-4,4	-2,9	1,5	9,5	18,5	21,7	23,4	21,9	16,4	8,9	2,4	-2,2

На основании вышеприведенных климатических исходных данных в качестве примера для г. Гродно выполнен расчет теплопроизводительности 1 м^2 плоского гелиоколлектора с селективной теплопринимающей поверхностью, установленного под углом $40\text{--}45^\circ$. Результаты расчета приведены в табл. А.6.

Таблица А.6

Теплопроизводительность гелиоколлектора, установленного под углом $40\text{--}45^\circ$, кВт·ч/м², за месяц и год

Область, пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Гродно	0	30	59	67	85	91	110	81	60	31	20	12	646

Примечание. Расчет выполнен без учета отраженной энергии R_a , которая в зависимости от угла наклона коллектора и альбедо поверхности может значительно увеличить теплопроизводительность в зимний и весенне-осенний период.

Основная часть солнечной энергии, полученной гелиоколлектором, приходится на семь «теплых» месяцев с марта по сентябрь и составляет $80\text{--}85\%$ от возможной годовой теплопроизводительности. Остальные пять месяцев, приходящиеся на отопительный

сезон, являются малоэффективными из-за короткого светового дня и с помощью гелиосистемы позволяют получить не более 15–20 % годовой теплопроизводительности.

Рекомендуется следующая последовательность вычисления основных параметров гелиосистемы:

1. На основании принятого типа гелиоколлектора и его тепловых характеристик для каждого месяца и за год вычисляется теплопроизводительность 1 м^2 гелиоколлектора, например, в виде табл. А.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 105 л/человека в сутки. При подборе скоростного водонагревателя системы горячего водоснабжения данная норма позволяет «гарантировать» требуемую тепловую мощность при его подключении к тепловым сетям. Однако применительно к системам с суточным аккумулярованием получаемой тепловой энергии в тепловых расчетах гелиосистем следует применять реальные, статистически выверенные значения. Например, в Минске средний расход воды на человека не превышает 150 л, из которых расход горячей воды составляет не более 70 л, 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 расчетный месяц на теплопроизводительность 1 м^2 гелиоколлектора. В качестве расчетного можно выбрать месяц с наиболее высокой теплопроизводительностью. Если гелиосистема рассматривается только для нужд горячего водоснабжения, то в качестве расчетного можно принять июль (см. табл. А.6). При наличии дополнительно иных потребителей в качестве расчетного можно выбрать месяц с низкой теплопроизводительностью в летний период (например, март или сентябрь, см. табл. А.6).

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

5. Выполняется конструирование проектируемой гелиосистемы, включающее в себя конструирование системы гелиоколлекторов на кровле, эстакаде, конструирование теплового пункта с размещением

в нем баков-аккумуляторов, теплообменников, насосов и другого оборудования, составление схем первичного, вторичного и промежуточного контуров гелиосистемы.

6. Выполняются теплотехнические и гидравлические расчеты контуров гелиосистемы. При этом для конструирования и расчетов гелиосистемы многоквартирного жилого дома могут быть приняты следующие ориентировочные исходные данные:

– удельная площадь гелиоколлектора, приходящаяся на одну квартиру, – 2,0–3,0 м²;

– минимальный удельный расход этиленгликоля в контуре гелиоколлектора – 20–30 кг/ч на 1 м² гелиоколлектора;

– максимальный удельный расход этиленгликоля в контуре гелиоколлектора – 60–100 кг/ч на 1 м² гелиоколлектора;

– расчетный удельный расход теплоносителя в контуре между баком-аккумулятором и теплообменником гелиоколлектора – не менее 35 кг/ч на 1 м² гелиоколлектора;

– удельный объем теплоносителя в баке-аккумуляторе для суточного накопления теплоты – не менее 40–70 л на 1 м² гелиоколлектора.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Пример расчета гелиосистемы горячего водоснабжения многоквартирного жилого дома в Могилеве

Рассмотрим пример расчета гелиосистемы 160-квартирного 10-ти-этажного энергоэффективного жилого дома в Могилеве.

Основные характеристики здания и проектируемых инженерных систем:

– здание имеет ориентацию главного фасада на юго-запад. Поэтому гелиоколлекторы гелиосистемы располагаются на плоской кровле с ориентацией на юго-запад.

– источники тепловой энергии для системы горячего водоснабжения – гелиосистема с гелиоколлекторами, располагаемыми на кровле, утилизирующая теплота сточных вод. Дополнительный источник тепловой энергии – водяные тепловые сети.

При конструктивном построении на кровле здания отдельных элементов гелиоколлектора следует учитывать задаваемый угол наклона гелиоколлектора и высоту солнца над горизонтом.

Таблица Б.1

Определение азимута и высоты солнца над горизонтом

Широта	53,9	Могилев	2015 год
Месяц (15 число)	Азимут, °	Высота над Горизонтом, °, в 12 часов	Максимальная вы- сота над горизон- том, °
Январь	175,5	14,7	14,8
Февраль	173,7	22,9	23,1
Март	174,4	33,9	34
Апрель	155,8	43,8	45,9
Май	153,6	52,8	55
Июнь	149,7	56,7	59,4
Июль	148,6	54,5	57,6
Август	152,8	47,5	50,1
Сентябрь	159,4	37,3	39
Октябрь	164,6	26,4	27,5
Ноябрь	181,4	17,5	17,6
Декабрь	178,9	12,8	12,8

Примем в расчет работу гелиоколлекторов по октябрь месяц, начиная с февраля. Тогда можно задаться высотой над горизонтом примерно 24° . и углом наклона гелиоколлектора 40° , как максимально необходимым для получения максимального количества энергии с потерей не более 5 % при ориентации гелиоколлектора на юго-запад (см. рис. 3.2). Кровля здания – оптимальное местоположение гелиоколлекторов, имеющих размеры 1040×2040 мм, группами по 6 и 8 шт. под углом 40° . к горизонту (рис. Б.1).

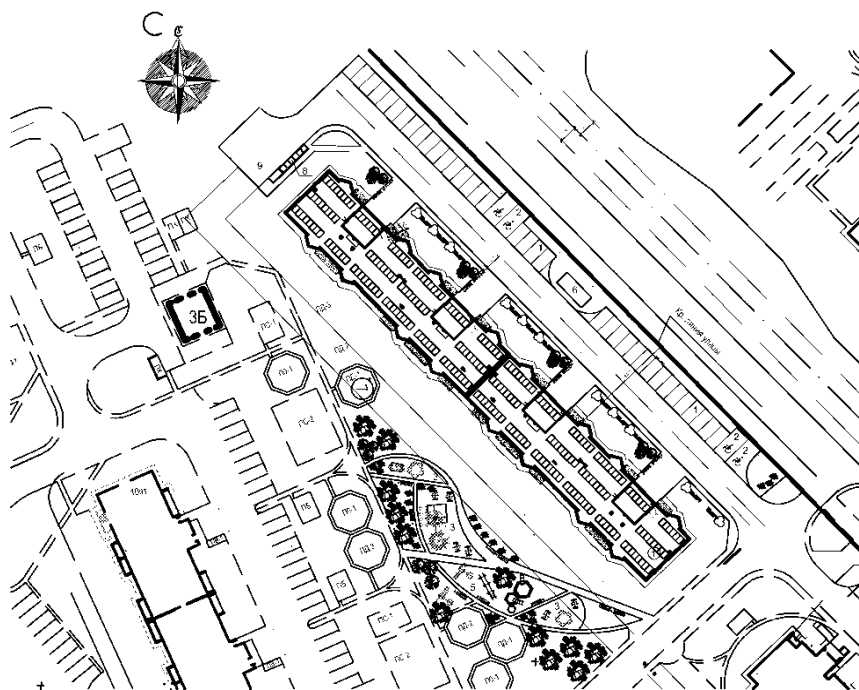


Рис. Б.1. Генплан участка застройки многоэтажного жилого дома в Могилеве

С учетом принятых исходных данных определим минимальное расстояние между группами гелиоколлекторов, задаваясь углом наклона гелиоколлектора $\alpha = 40^\circ$ и минимальной высотой солнца над горизонтом $\beta = 24^\circ$, исключающей затенение в весенне-осенний и летний периоды с февраля по октябрь.

На рис. Б.2 показаны основные привязки для установки групп плоских гелиоколлекторов на плоской кровле проектируемого здания.

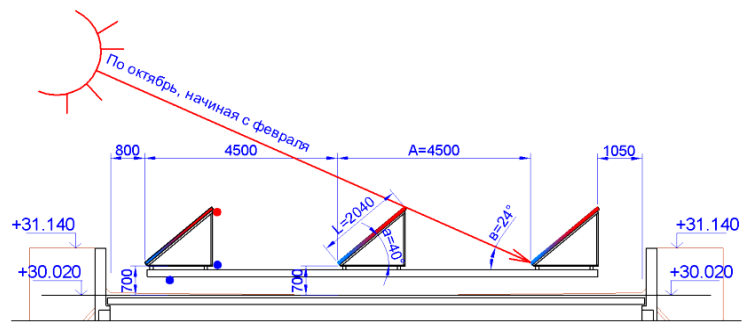


Рис. Б.2. Основные размеры привязки групп плоских гелиоколлекторов на плоской кровле проектируемого здания

На основании принятых размеров привязки предлагается следующее расположение групп коллекторов и транзитного стояка от двух веток гелиосистемы на кровле здания с нанесением компенсаторов температурного удлинения, неподвижных опор и предварительно принятых диаметров трубопроводов (рис. Б.3).

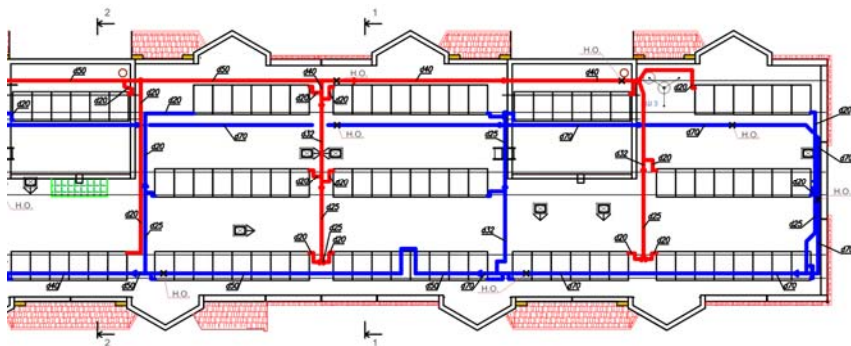


Рис. Б.3. Гелиосистема (правая ветка) на плане крыши здания

Таким образом, на кровле оптимально размещается 232 гелиоколлектора, общей площадью поверхности остекления 413 м^2 . Аксонометрическая схема показана на рис. Б.4.

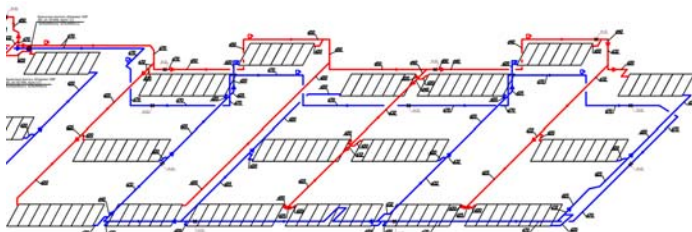


Рис. Б.4. Аксонометрическая схема гелиосистемы (правая ветка)

Количество солнечной энергии, поступающей на 1 м^2 горизонтальной поверхности, принимаем по СНБ 2.04.05 – 2000.

Для пересчета суммарной солнечной радиации Q , $\text{МДж}/\text{м}^2$, с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность коллектора Q_α используем выражение (А.1) с применением значений коэффициента пересчета K из табл. А.1. Результаты расчета показаны в табл. Б.2.

Таблица Б.2

Количество солнечной энергии, поступающей на 1 м^2 наклонного гелиоколлектора (под углом $40\text{--}35^\circ$ к горизонту)

Кол-во солнечной энергии	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
На гор. $\text{МДж}/\text{м}^2$	86	145	295	402	570	623	613	505	344	176	71	52	3882
На гор. $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	24	40	82	112	158	173	170	140	96	49	20	15	1079
На накл. пов., $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	70	81	122	129	157	163	163	150	126	87	50	48	$1346 / 1,05 = 1282$

Предусматриваем установку плоских гелиоколлекторов с одинарным остеклением и селективной поверхностью теплоприемников.

Для определения КПД гелиоколлектора при насосной циркуляции теплоносителя необходимо знать расчетную температуру наружного воздуха t_n . Данную температуру следует принять для дневного вре-

мени суток. Исходные данные принимаем из табл. А.5. Результаты расчета сведены в табл. Б.3.

Таблица Б.3

КПД коллектора и удельная теплопроизводительность гелиоколлектора в течение каждого месяца для Могилева

КПД и теплопроизводительность	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
КПД, %	15	40	50	55	55	60	60	55	50	50	25	10	47
Коллектор, кВтч·м ²	0	33	61	65	87	98	98	83	63	44	0	0	632 / / 1,05 = = 602

На основании вышеприведенных значений удельной теплопроизводительности определяем теплопроизводительность гелиосистемы, площадью 413 м², за каждый месяц и ее среднюю теплопроизводительность за сутки. Результаты расчета показаны в табл. Б.4 с учетом потерь теплоты от теплоизолированных теплопроводов, а также юго-западной ориентации гелиоколлекторов.

Таблица Б.4

Теплопроизводительность гелиосистемы, площадью 413 м², за каждый месяц и средняя теплопроизводительность за сутки

Теплопроизводительность	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Гелиосистема, МВт·ч	0	13,7	25,2	26,9	36,0	40,5	40,5	34,3	26,0	18,2	0	0	261 / / 1,05 = = 249
Гелиосистема кВт·ч/день	0	489	813	897	1161	1350	1307	1107	867	587	0	0	–

На основании вышеприведенной средней теплопроизводительности гелиосистемы за сутки и задаваемого перепада температуры нагреваемой воды получаем количество воды, м³, которое гелиосистема позволяет нагреть в течение суток (табл. Б.5).

Таблица Б.5

Количество нагреваемой за сутки воды, м³,
гелиосистемой, площадью 413 м²

Кол-во нагреваемой воды	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Гор. вода, м ³ , 5–50°	0	9,29	15,4	17,0	22,0	25,6	24,8	21,0	16,5	11,1	0	0	–
Гор. вода, м ³ , 21–55°	0	12,3	20,5	22,6	29,2	34,0	33,0	27,9	21,8	14,8	0	0	–

Выполняем гидравлический расчет, исходя из регулируемого диапазона удельных расходов теплоносителя 40–20 кг/ч на 1 м² гелиоколлектора. Для этого выполняем тепловую схему гелиосистемы (рис. Б.5) и гидравлическую схему расчетного циркуляционного кольца (рис. Б.6).

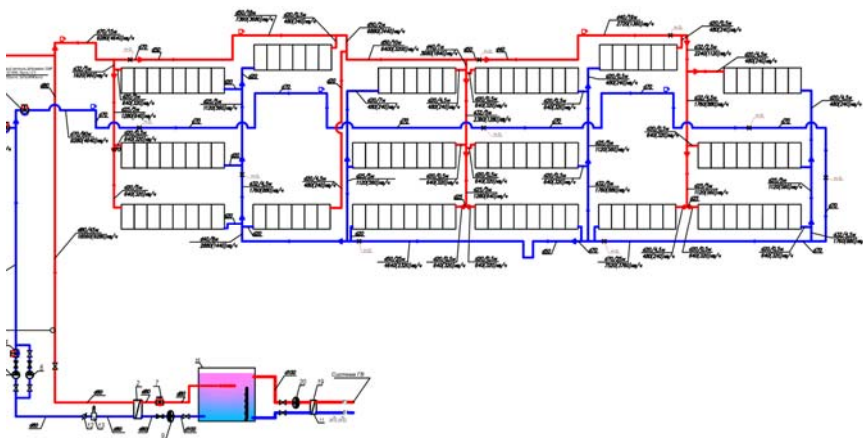


Рис. Б.5. Тепловая схема гелиосистемы (правая ветка)

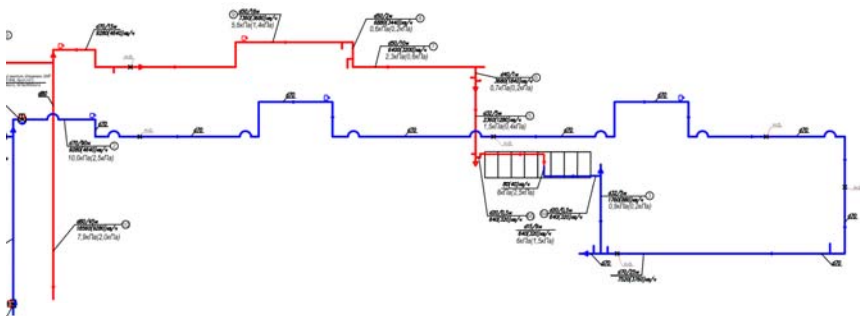


Рис. Б.6. Гидравлическая схема расчетного циркуляционного кольца

Гидравлический расчет выполняем методом удельных потерь давления на трение.

Потери давления в трубопроводах циркуляционного кольца (за исключением оборудования теплового пункта) составляют:

- при удельном расходе теплоносителя 40 кг/ч на 1 м² гелиоколлектора – 85 кПа;
- при удельном расходе теплоносителя 20 кг/ч на 1 м² гелиоколлектора – 21 кПа.

Далее следует подобрать оборудование теплового пункта с определением тепловых и гидравлических характеристик оборудования [22–25].

**Пример расчета воздушного гелиоколлектора
в качестве пассивного устройства отопления
индивидуального жилого дома в Минской области**

Солнечную энергию на нужды отопления следует использовать с применением так называемых «пассивных» устройств, которые являются или конструктивными элементами самого здания, или при-страиваемыми конструкциями к его южному фасаду. На рис. В.1 в упрощенном виде показаны технологические принципы построения «пассивных» устройств солнечного отопления.

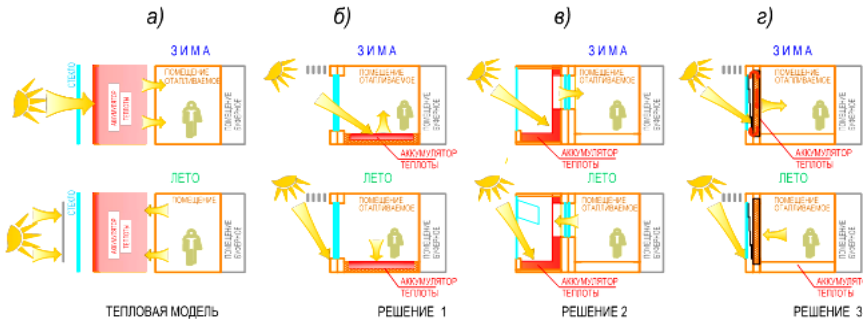


Рис. В.1. Технологические принципы построения «пассивных» устройств солнечного отопления жилых зданий:

а – тепловая модель построения «пассивных» устройств, *б* – наиболее популярное техническое решение в Европе, *в* – техническое решение за счет применения «зимнего сада» для индивидуального дома или за счет реконструкции лоджий южного фасада многоквартирного жилого дома, *г* – техническое решение с использованием гелиосистемы воздушного отопления [3, 20]

На рис. В.1, *а* графически показана тепловая модель построения «пассивных» устройств, состоящая из обязательной последовательности отдельных элементов. Отсутствие любого из них или нарушение последовательности их расположения полностью исключает получение требуемого эффекта. Все технические решения, показанные на рис. В.1, *б*, В.1, *в*, В.1, *г*, соответствуют построению тепловой модели (рис. В.1, *а*).

Для индивидуального жилого дома используем техническое решение, изображенное на рис. В.1, *г*. Данные радиационного режима

приводим к виду, соответствующему условиям рассматриваемой задачи. Для каждого месяца необходимо выявить средние расчетные значения интенсивности солнечного излучения, падающего на вертикальную поверхность южной ориентации (см. выражение (3.8) и данные табл. 3.3).

Площадь поверхности коллектора может быть принята, исходя из архитектурно-конструктивных соображений, или же получена на основании предварительных расчетов. Дальнейший расчет рекомендуется проводить в следующей последовательности [1, 3, 18, 24].

Выявляем расчетный период и соответствующие ему параметры. За расчетный следует принимать месяц (или сутки), в котором среднесуточное потребление теплоты на отопление здания равно суточной теплопроизводительности гелиосистемы. Выявить этот период позволяют только тепловые балансы (суточный и месячный) теплопотребления здания и теплопроизводительности гелиосистемы, что на данном этапе сделать невозможно. Поэтому приходится предварительно задать расчетный период с последующей проверкой правильности выбора. При условии компенсации за счет гелиосистемы 35–50 % годового теплопотребления для климатических условий Беларуси расчетными могут быть приняты климатические параметры в диапазоне марта–апреля.

На основании результатов исследований [18] выражение для определения температуры воздуха на выходе из гелиоколлектора t_k имеет вид

$$t_k - t_n = 1,127(\theta_n q_c h)^{0,36}. \quad (B.1)$$

Располагаемое циркуляционное давление $P_{ц}$ находится по выражению:

$$P_{ц} = \Delta P = 0,002gh\theta_k. \quad (B.2)$$

Из выражения (A.3) находим значение определяющего безразмерного параметра B , предварительно приняв значение G/F . Рекомендуется принимать данное значение в пределах 0,006–0,008 кг/(с·м²). Следует учитывать, что с увеличением G/F при аэродинамическом расчете необходимо будет соответственно увеличить размеры воздухопроводов

$$\frac{\theta_{\kappa}}{\theta_{\text{н}}} g \frac{G}{F} \sqrt{\frac{h^3}{\Delta P q_c \nu}} = B. \quad (\text{B.3})$$

Вычисляем эффективность гелиоколлектора из результатов исследований [18] по следующим выражениям:

$$\eta_{\kappa} = 0,11B^{0,48}; \quad (\text{B.3, а})$$

$$\eta_{\text{п}} = 0,15B^{0,41}. \quad (\text{B.3, б})$$

Определяем расчетный тепловой поток на нагревание теплоносителя и полную расчетную теплопроизводительность гелиосистемы:

$$Q_{\kappa} = \eta_{\kappa} q_c F; \quad (\text{B.4, а})$$

$$Q_{\text{п}} = \eta_{\text{п}} q_c F. \quad (\text{B.4, б})$$

Определяем расчетный расход воздуха в гелиосистеме по выражению:

$$G = \frac{Q_{\kappa}}{c_p \theta_{\kappa}}, \quad (\text{B.5})$$

где c_p – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·°С).

По заданным значениям $P_{\text{ц}}$ и G выполняется аэродинамический расчет гелиосистемы с целью определения размеров проемов для прохода воздуха и воздухопроводов. При невозможности конструктивной увязки элементов системы с конструкцией здания, а также по иным причинам, требующим изменения размеров воздухопроводов, необходимо повторить расчет при других значениях G/F .

По расчетным значениям B , θ_{κ} , $\theta_{\text{н}}$, q_c определяем значение характеристики сопротивления:

$$S = \left(\frac{\theta_{\kappa} g}{\theta_{\text{н}} B F} \right)^2 \frac{h^3}{q_c \nu}. \quad (\text{B.6})$$

Вычисляем значения определяющего безразмерного параметра B по выражению

$$\frac{\theta_k}{\theta_n} g \sqrt{\frac{h^3}{SF^2 q_c \nu}} = B. \quad (\text{B.7})$$

Вычисляем значения эффективности гелиоколлектора по выражениям (B.3, а) и (B.3, б) для каждого месяца отопительного периода.

Для каждого месяца отопительного периода определяем среднесуточную теплопроизводительность коллектора

$$Q_{ki} = \psi_1 \eta_{ki} Q_{ci} F; \quad (\text{B.8, а})$$

$$Q_{ni} = \psi_1 \eta_{ni} Q_{ci} F, \quad (\text{B.8, б})$$

где Q_{ki} – соответственно теплопроизводительность коллектора с учетом теплопоступления через стенку в помещение, МДж/сут;

ψ_1 – коэффициент, учитывающий влияние запыления и затененности ($\psi = 0,9 - 0,95$).

Для каждого помещения вычисляем расчетную интенсивность теплопотерь по выражению

$$q_T = \Sigma \left[\frac{1}{R_{oi}} A_i n_i (1 + \Sigma b_i) \right] + q_u, \quad (\text{B.9})$$

где q_T – интенсивность теплопотерь помещения, Вт/°С;

R_{oi} , A_i , n_i , Σb_i – соответственно сопротивление теплопередаче, площадь, поправочный коэффициент, надбавки для отдельных ограждений помещения;

q_u – интенсивность потерь теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха, Вт/°С.

Определяем расчетную мощность системы отопления от традиционного источника теплоты по выражению

$$Q_p = \Sigma (q_T (t_b - t_{н5}) - Q_6), \quad (\text{B.10})$$

где Q_p – расчетная мощность системы отопления, Вт;

Q_6 – бытовые тепловыделения в отдельных помещениях здания, Вт.

Величина Q_p необходима для проектирования дополнительной системы отопления с традиционным генератором теплоты, способным обеспечить комфорт в помещениях при наружной температуре.

Для каждого месяца отопительного периода определяем среднесуточные теплотери отдельных помещений и здания в целом по формуле

$$Q_{Ti} = 0,0864 \Sigma (q_T (t_b - t_{ni}) - Q_6), \quad (B.11)$$

где Q_6 – среднесуточные теплотери каждого месяца, МДж/сут.

На основании значений определяем по месяцам годовой тепловой баланс здания с целью выявления годовой эффективности использования гелиосистемы для отопления здания.

При разработке рабочего проекта могут быть также внесены мероприятия по утилизации теплоты, применению эффективных ограждающих конструкций, систем отопления и автоматизации и др.

В качестве примера выполним расчет гелиосистемы для строительства индивидуального жилого дома в Минской области.

Гелиосистема состоит из двух вертикальных воздушных гелиоколлекторов, каждый из которых шириной 8,7 м и высотой 4 м. Разность отметок входного и выходного патрубков $h = 3,2$ м.

Гелиосистема представляет собой два параллельно соединенных контура, поэтому проводим расчет только одного коллектора $F = 35 \text{ м}^2$.

В качестве расчетных принимаем параметры климата, соответствующие концу марта–началу апреля. Интенсивность суммарной радиации в плоскости вертикального коллектора (согласно климатическим данным для Минской области)

$$q_c = \frac{370 + 380}{2} = 375 \text{ Вт/м}^2.$$

Температура наружного воздуха:

$$t_{\text{н}} = \frac{-2,2 + 5,3}{2} = 1,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура воздуха на выходе из коллектора

$$t_{\text{к}} = 1,6 + 1,127 \left((18 - 1,6) 375 \cdot 3,2 \right)^{0,36} = 41 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расчетное циркуляционное давление

$$P_{\text{ц}} = \Delta P = 0,002 \cdot 9,81 \cdot 3,2 (41 - 18) = 1,44 \text{ Па}.$$

Задаемся $G/F = 0,006$. Определяющий безразмерный параметр

$$B = \frac{41 - 18}{18 - 1,6} \cdot 9,81 \cdot 0,006 \sqrt{\frac{3,2^3}{1,44 \cdot 375 \cdot 16 \cdot 10^{-6}}} = 5,09.$$

Определяем эффективность гелиоколлектора

$$\eta_{\text{к}} = 0,11 \cdot 5,09^{0,48} = 0,24;$$

$$\eta_{\text{н}} = 0,15 \cdot 5,09^{0,41} = 0,29;$$

Расчетная мощность гелиоколлектора

$$Q_{\text{к}} = 0,24 \cdot 375 \cdot 35 = 3150 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{н}} = 0,29 \cdot 375 \cdot 35 = 3810 \text{ Вт}.$$

Расчетный расход воздуха через гелиоколлектор

$$G = \frac{3150}{1005(41 - 18)} = 0,14 \text{ кг/с} = 510 \text{ кг/ч}.$$

Значения $P_{ц} = 1,44$ Па и $G = 510$ кг/ч являются исходными для аэродинамического расчета гелиосистемы и определения размеров поперечных сечений воздухопроводов.

Расчетное значение характеристики сопротивления

$$S = \left(\frac{23 \cdot 9,81}{16,4 \cdot 5,09 \cdot 35} \right)^2 \frac{3,2^2}{375 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} = 32,6 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 / \text{кг}^2.$$

Вычисляем для каждого месяца отопительного периода характеристики работы гелиосистемы, принимая $S = 32,6 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 / \text{кг}^2$. Результаты расчета приведены в табл. В.1.

Таблица В.1

Результаты расчета одного гелиоколлектора $F = 35 \text{ м}^2$

Наименование	Месяц							Отоп. период
	10	11	12	1	2	3	4	
$t_{н}, \text{ }^\circ\text{C}$	5,6	0,0	-4,5	-6,9	-6,4	-2,2	5,3	-1,2
$t_{к}, \text{ }^\circ\text{C}$	35	28	25	29	34	41	41	
V	6,58	3,50	2,05	2,29	2,89	4,10	6,61	
$\eta_{к}$	0,27	0,20	0,16	0,17	0,18	0,22	0,27	
$\eta_{п}$	0,32	0,25	0,20	0,21	0,23	0,27	0,33	
$Q_{ki}, \text{ МДж/сут}$	50,2	17,7	11,1	20,9	36,9	78,3	86,0	
$Q_{ni}, \text{ МДж/сут}$	59,5	22,1	13,9	25,8	47,1	96,1	105,0	
$Q_{ki} \cdot N_{i_s}$ МДж/мес	1556	531	344	648	1032	2430	2577	
$Q_{ni} \cdot N_{i_s}$ МДж/мес	1843	662	430	800	1319	2980	3150	11 190 МДж

Далее, в соответствии с приведенной выше методикой расчета, вычисляются теплотери помещениями здания, определяются тепловые балансы, а также выполняются другие расчеты, необходимые для конструирования систем теплоснабжения здания.

Производственно-практическое издание

**ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Рекомендации по проектированию

Составители:

ПОКОТИЛОВ Виктор Владимирович
РУТКОВСКИЙ Максим Антонович

Редактор *Е. С. Кочерго*

Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 06.10.2017. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 3,55. Уч.-изд. л. 2,77. Тираж 100. Заказ 857.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск