

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

В.В. Покотилон

М.А. Рутковский

Минск
декабрь 2014 г.

Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справочное пособие / исполн.: *В.В.Покотилов, М.А.Рутковский*. – Минск : 2014. – 51 с.

В книге приведены основные справочные и методические сведения по использованию солнечной энергии для Беларуси с помощью принципов солнечной архитектуры, а также с помощью гелиоустановок теплоснабжения и горячего водоснабжения с целью повышения энергоэффективности жилых зданий. В мире в настоящее время существует огромное разнообразие применяемых технологий и устройств в области тепловой гелиоэнергетики, поэтому в книге выделяются и поясняются наиболее приемлемые для условий Беларуси технологии экономически эффективного преобразования солнечного излучения в тепловую энергию. Основное внимание уделяется так называемым крупным гелиосистемам, впервые проектируемым в Беларуси в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь».

Пособие предназначено для проектировщиков, инженерно-технических работников и студентов технических вузов.

Разделы Введение, 2, 3, 3.1, 3.2, 3.4, 4, 4.1, 4.2, 4.3, 4.5, 5 написаны В.В.Покотиловым, разделы 1, 3.3, 4.4 написаны совместно В.В.Покотиловым и М.А.Рутковским.

Содержание

стр.

Введение.....	4
1 Анализ радиационного климата Беларуси для выявления основных факторов влияния на энергоэффективность здания.....	7
2 Особенности применения принципов солнечной архитектуры при проектировании энергоэффективной квартальной застройки	16
3 Особенности применения принципов солнечной архитектуры при проектировании энергоэффективных зданий	19
3.1 Формообразование энергоэффективного здания солнечной архитектуры.....	19
3.2 Энергоэффективные решения фасадов здания.....	20
3.3 Солнцезащитные устройства, регулирующие количество поступающего солнечного излучения.....	23
3.4 Оценка энергоэффективности проектного решения	26
4 Гелиосистемы теплоснабжения и горячего водоснабжения жилых зданий	27
4.1 Гелиосистемы небольшие и средние	27
4.2 Крупные гелиосистемы.....	29
4.3 Гелиоколлекторы	32
4.4 Справочные сведения по методике расчёта гелиосистем	36
4.5 Особенности конструирования крупной гелиосистемы теплоснабжения жилых домов	40
5 Особенности проектирования системы низкотемпературного водяного отопления энергоэффективных многоквартирных жилых зданий	44
5.1 Особенности проектирования ИТП.....	45
5.2 Особенности проектирования низкотемпературной системы отопления.....	46
Список используемых источников	48

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.

Достоинством возобновляемых источников энергии является их доступность, относительно низкая 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. в городе Хараре (столице государства Зимбабве) состоялось совещание глав государств и правительств мира, на котором 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 для использования потенциал возобновляемых источников энергии может превышать современное потребление энергии на 40–45 %.

Солнечная энергия используется при проектировании энергоэффективных жилых зданий с помощью принципов солнечной архитектуры, а также с помощью гелиоустановок теплоснабжения и горячего водоснабжения. Исторически эволюция развития жилых зданий задавалась именно закономерностями солнечной инсоляции в месте застройки, поэтому классические архитектурные постройки 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. Для Беларуси примером могут служить сохранившиеся до настоящего времени в Иране жилые и общественные постройки, которые в условиях пустыни (ночью 0°C , днём $+40^{\circ}\text{C}$, а в среднем за сутки $+20^{\circ}\text{C}$ – как и в Беларуси) имеют комфортные условия микроклимата помещений за счет «солнечной» (или «биоклиматической») архитектуры без использования кондиционеров или иных инженерных устройств.

Архитекторы Европы широко применяют современные принципы «солнечной архитектуры» в сочетании с современными специальными гелиосистемами суточного

накопления и использования тепловой солнечной энергии. Такие здания, при прочих равных условиях, имеют более низкую себестоимость строительства в сравнении с традиционным домостроением, в том числе, за счёт использования 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 каких-либо 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 градостроения, а также 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/м² (в Германии – 1200, в Беларуси -1100 кВтч/м²). В Германии, Великобритании, Швейцарии, Финляндии, США и др. странах для большинства вновь возводимых объектов применяют принципы «солнечной архитектуры», снижающие теплозатраты на отопление в год на 30...60% до уровня 10...40кВтч/м² 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 – аналога 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, подаренного австрийской компанией DOMA при содействии сотрудников компании Energiespar-Verein und Gewerbe (г. Дорнбирн, Австрия).

Благодаря энергоэффективным мероприятиям, предпринятым Правительством Республики Беларусь 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, на период начала 21 века удельные годовые показатели снизились до 150...190кВтч/м² (в том числе на отопление до 80...100 кВтч/м², на горячее водоснабжение до 70...90 кВтч/м²).

Современные нормы Беларуси предусматривают удельное годовое потребление теплоты на нужды отопления в размере не более 60 кВтч/м², что достигается усиленной теплоизоляцией наружных ограждений и индивидуальной автоматизацией отопления в каждом помещении. Расходы теплоты на горячее водоснабжение остаются на прежнем уровне до 90 кВтч/м². Общие годовые расходы при этом составляют примерно 150 кВтч/м². Снижение этих расходов возможно только за счёт применения возобновляемых источников энергии, в частности, за счёт утилизаторов теплоты сточных вод, гелиосистем теплоснабжения, а также за счёт низкопотенциальной энергии внешней среды с использованием тепловых насосов.

Чтобы получить оптимальное проектное решение, предварительно следует выполнить энергетический анализ климата и места застройки. Затем необходимо сформировать несколько вариантов базового решения, из которых, на основании анализа для каждого из вариантов месячных энергетических балансов по составляющим энергозатрат, выбирается основной вариант для дальнейшей рабочей проектной разработки. Энергоэффективное проектирование базируется на теплофизической проработке архитектурной части проекта с целью придания энергоактивных качеств отдельным фасадам и зданию в целом. Здание при этом приобретает свойства саморегулирования, благодаря которым получает в течение года от внешней среды оптимальное количество энергии при снижении тепловых сбросов и без перегрева в летний период. В таком здании инженерные системы представляются как составляющие единого архитектурно-энергетического комплекса - здания. Существует множество различных типов энергоэффективных зданий, построенных на базе тщательного анализа энергетических параметров климата.

1 Анализ радиационного климата Беларуси для выявления основных факторов влияния на энергоэффективность здания

Исследования климата Беларуси проводились в течение многих десятилетий и непосредственно увязывались со статистическими данными по всей территории бывшего СССР. Результаты исследований, методы статистической обработки данных и результаты исследований приведены в ряде работ и справочных данных с различной полнотой /1...5/.

Два основных фактора определяют тепловой режим помещений и здания в целом: 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.

Энергетическую составляющую солнечного излучения, в зависимости от обстоятельств, определяют по расчетным зависимостям или по 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 /12...16,18/. 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). Переменные в течение дня параметры климата используются только 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 представляется обычно суммой локальных по времени сумм составляющих - прямого и рассеянного излучения. Вычисление первого составляющего не встречает затруднений 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 - для южной ориентации наклонной поверхности. Степень расхождения результатов данных расчетов со среднестатистическими данными измерений

может быть весьма значительной (на 50...200%), особенно в условиях превалирующих компонентов рассеянной и отраженной радиации, что особенно характерно для климата Беларуси.

Анизотропная модель более полно учитывает указанные особенности радиационного режима, однако вносимые в математическое описание поправочные коэффициенты носят зачастую субъективный характер при отсутствии данных метеорологических исследований, 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 /1...4/. Обоснованным можно считать анализ /19/ некоторых наиболее распространенных в мировой практике моделей - изотропная (Лю-Джорана, Даффи-Бекмана и др.) и анизотропная модель небосвода (Клачера, Переза и др.). Отмечено, что результаты расчетов практически идентичны при определении среднемесячных значений в летнее время, а в зимний период года более близкие к натурным измерениям результаты дает анизотропная модель небосвода. Однако расчет часовых и дневных значений для зимнего периода 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 радиацию D_α и отраженную радиацию R_α

$$Q_\alpha = S_\alpha + D_\alpha + R_\alpha . \quad (1)$$

Отраженная составляющая является, при прочих равных условиях, 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 $\pm 15...30^\circ$. А для другой ориентации расчетные значения можно считать весьма далекими от реальных. Наиболее достоверным образом рассчитывается отраженная и рассеянная компоненты для южной поверхности. Например, для изотропной модели /5/:

$$D_{cm} = \frac{D}{2} \quad (2)$$

$$D_\alpha = \frac{D(1 + \cos \alpha)}{2}, \quad (3)$$

а для анизотропной модели в условиях континентального климата для вертикальной стены /5/:

$$(D + R)_{ct.a} = (D + R)_{ct} (0,25 + \cosh_n + 0,45) \cdot A_1 , \quad (4)$$

где α - угол наклона поверхности к горизонту; индексы: *ст* - стена; *а* - анизотропная модель; A_1 - альbedo (см.табл.1).

Таблица 1.

Значения альbedo A_1 поверхности /5/:

Поверхность	Ориентация				
	Ю	ЮВ(ЮЗ)	В (З)	СВ (СЗ)	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 показывает результаты в 2 раза больше для южной ориентации и в 1,3 раза больше для восточной и западной по сравнению с изотропной моделью. Для зимнего периода соответственно в 3 и в 2 раза больше. Для северной ориентации результаты расчетов совпадают по обеим моделям.

Суммарная радиация на наклонную поверхность южной ориентации может быть выражена /16/:

$$Q_{\alpha} = k_{\alpha} \cdot Q , \quad (5)$$

где k_{α} - коэффициент пересчета, определяемый как функция от D , Q , k_s , α , A_1 и др., или по выражению /4/:

$$Q_{\alpha} = S' \cdot k_s + (Q - S') \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} + A \cdot Q \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} , \quad (6)$$

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 /2,5/:

$$Q_{cm} = S_{cm} + k_D \cdot D + 0,5 \cdot Q \cdot A , \quad (7)$$

где $S_{cm} = S \cdot \mathbf{Cosa}$; $\mathbf{Cosa} = \mathbf{Cosh} \cdot \mathbf{Cos} \psi$; $\psi = a - a_{cm}$; a - азимут Солнца; a_{cm} - 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 года с помощью указанных карт и полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 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 производить 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 /20/, или же выполняют расчеты с помощью обобщающих упрощенных диаграмм /5/. На данных диаграммах азимут отсчитывается от северного вектора по часовой стрелке $a \in 0^\circ \dots 360^\circ$. 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" ($a \in 0^\circ \dots 180^\circ$), а восточного направления - со знаком "минус" ($a \in -0^\circ \dots -180^\circ$).

Каждая из компонент суммарного солнечного излучения Q_α зависит не только от угла наклона поверхности, но также от ориентации ее по сторонам света (азимута). На рис.1 показана схема комплексного облучения наклонной поверхности здания.

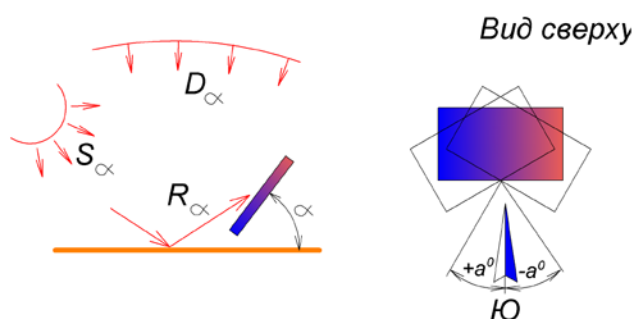


Рис.1. Компоненты энергетического солнечного излучения и азимуты наклонной поверхности.

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.1, были вычислены

коэффициенты, показывающие, во сколько раз уменьшаются солнечные тепlopоступления на наклонную поверхность в зависимости от угла её наклона при различных азимутах (относительно южного направления). Результаты расчёта представляем на рис.2 в виде диаграммы.

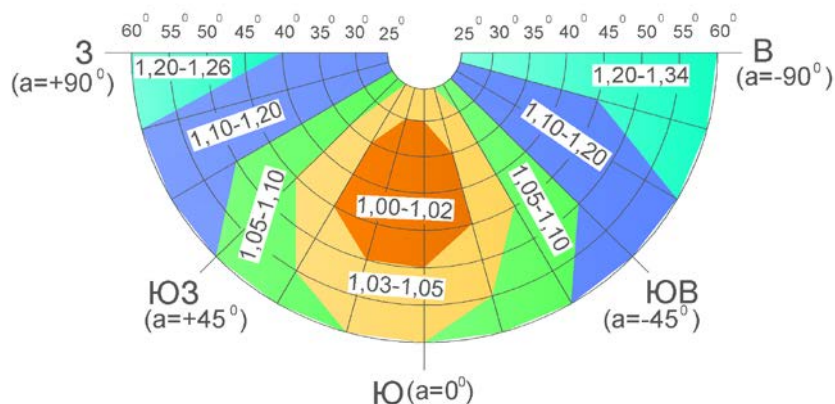


Рис.2. Диаграмма для определения коэффициента уменьшения поступления суммарной солнечной энергии на наклонную поверхность в зависимости от угла её наклона при различных азимутах (для осенне-весенне-летнего периода Беларуси).

Для вертикальной поверхности здания схема комплексного облучения показана на рис.3.

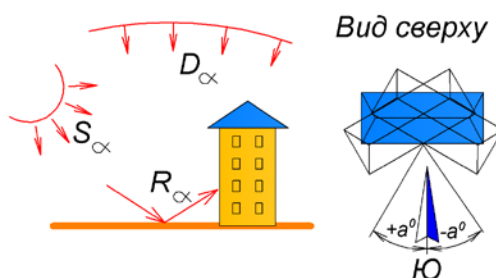


Рис.3. Компоненты энергетического солнечного излучения и азимуты вертикальной поверхности.

Для вертикальных поверхностей можно ограничиться изучением вопроса радиационного режима с выявлением направления гелиотермической оси [22,25...33] для различных географических областей Беларуси и определением допустимых отклонений от южной ориентации с целью определения возможных градостроительных решений при создании генплана места застройки и при решении фасадов энергоэффективных зданий. В качестве исходных параметров были приняты:

- 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.

Для выявления расчетного значения суммарной интенсивности солнечного излучения на расчетную поверхность воспользуемся базовыми принципами, положенными в основу методики, изложенной в работах [12,37]. С использованием исходных данных [1...4] построена диаграмма для определения средней за месяц суточной суммы суммарной радиации на вертикальную поверхность южной ориентации $Q_{ст}$, МДж/м², которую представляем на рис.4.

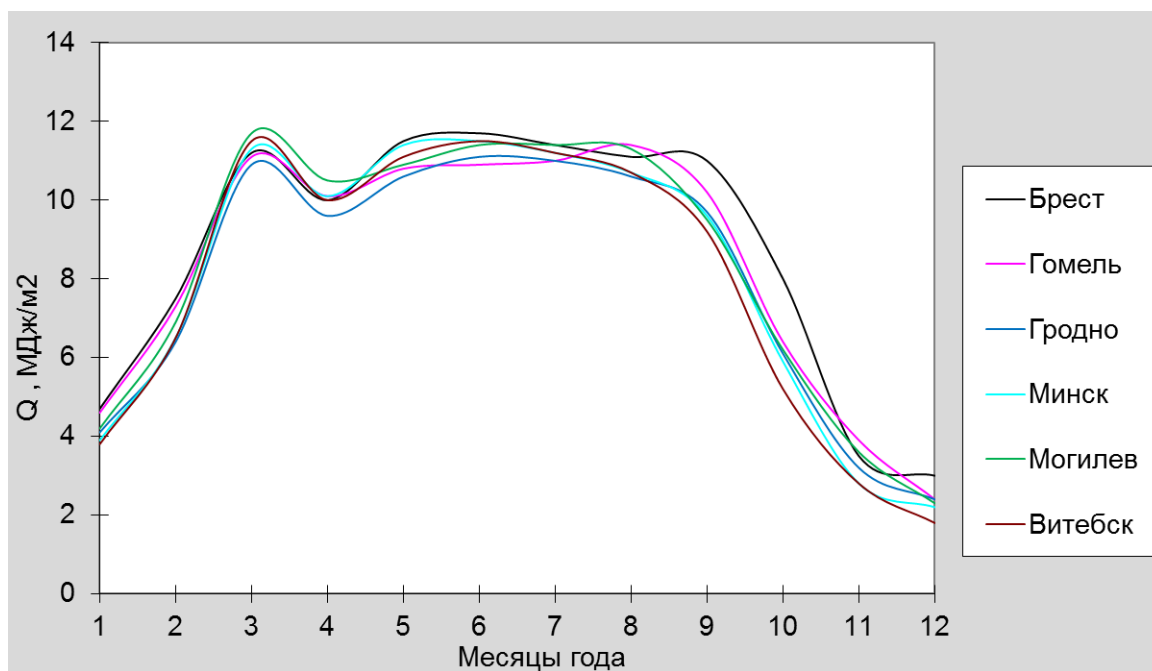


Рис.4. Диаграмма суточных сумм суммарной радиации на вертикальную поверхность по месяцам

Расчетную зависимость для определения суммарной интенсивности солнечного излучения на вертикальную поверхность южной ориентации $q_{ст}$ предлагаем в следующем виде:

$$q_{ст} = \frac{Q_{ст} \cdot 10^6}{\tau \cdot 0,7 \cdot 3600} = Q_{ст} \cdot \psi \quad (8)$$

где $Q_{ст}$ - средняя за месяц суточная сумма суммарной радиации на вертикальную поверхность южной ориентации [1...10], МДж/м²; τ - продолжительность "работы" гелиотехнического устройства (окна, вертикального гелиоколлектора и т.п.), ч.

Для определения значений коэффициента ψ предлагаем выражение:

$$\psi = \frac{397}{\tau} \quad (9)$$

Результаты расчета значений ψ показаны в табл.3.

Таблица 3

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

Город	Продолжительность инсоляции, τ , часы (верхняя строка)											
	Коэффициент ψ по месяцам года (нижняя строка)											
	янв	фев	март	апр	май	июнь	июль	авг	сент	окт	нояб	дек
Брест	8,3	9,9	11,8	11,0	10,0	9,4	9,6	10,5	11,7	10,7	8,8	7,8
52° сш	47,8	40,1	33,6	36,1	39,7	42,2	41,3	37,8	33,9	37,1	45,1	50,9
Гомель	8,2	9,9	11,8	11,0	10,0	9,5	9,6	10,5	11,7	10,7	8,8	7,7
52° сш	48,4	40,1	33,6	36,1	39,7	42,7	41,3	37,8	33,9	37,1	45,1	51,5
Минск, Гродно, Могилев	8,0	9,8	11,8	10,9	9,9	9,3	9,6	10,4	11,7	10,7	8,6	7,5
54° сш	49,6	40,5	33,6	36,4	40,1	42,7	41,3	38,2	33,0	37,1	46,1	52,9
Витебск	7,7	9,7	11,8	11,1	10,2	9,7	9,9	10,6	11,7	10,6	8,4	7,2
55° сш	51,5	40,9	33,6	35,3	36,9	40,9	40,1	37,4	33,9	37,4	47,2	53,1

С использованием выражения (8) построена номограмма, позволяющая определять удельную среднюю за день мощность солнечного излучения $q_{ст}$, Вт/м² на вертикальную поверхность (рис.5).

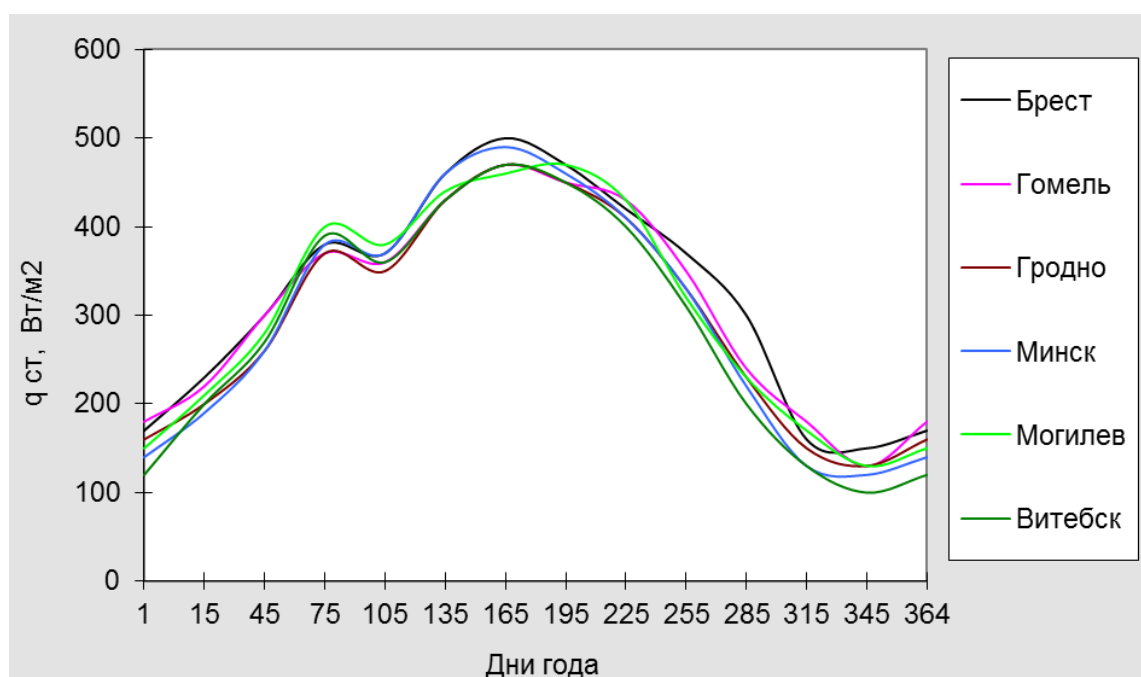


Рис.5. Диаграмма удельной средней за день интенсивности солнечного излучения на вертикальную поверхность южной ориентации по дням года

Максимальной активностью к восприятию солнечной энергии в зимний период обладают здания широтной ориентации. При посадке на местности здания с отклонением от широтной ориентации происходит снижение поступающей за отопительный период солнечной энергии, однако такое снижение в пределах 5% не отразится на общих годовых теплотехнических характеристиках

здания, так как находится в пределах погрешности исходных климатических данных. Чтобы выявить диапазон допустимых азимутов ($\pm a_{cmi}$) свободной посадки на местности типового энергоэффективного здания, на основании климатических данных месячных сумм солнечной радиации на вертикальную стену были рассчитаны значения коэффициента $K_{ст}$ в виде отношения суммарной за отопительный сезон радиации $Q_{стi}$ при азимутах a_{cmi} к суммарной за отопительный сезон радиации $Q_{ст}$ при $a_{cmi}=0$ для различных городов Республики Беларусь.

В качестве примера, на рис.6 представлены результаты расчета $K_{ст}$ для климата г. Витебска.

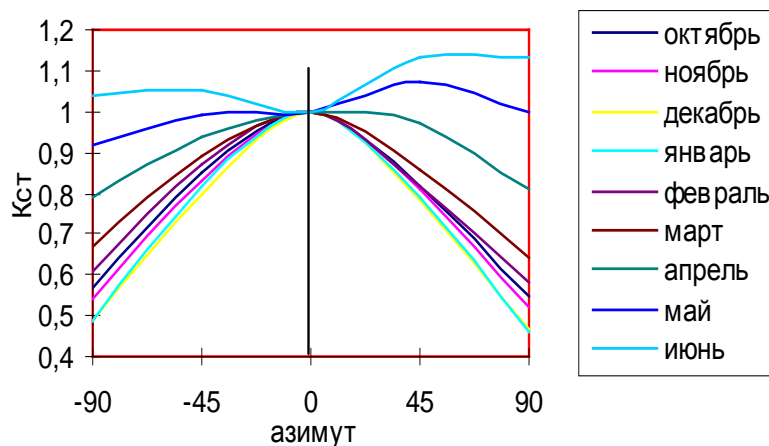


Рис.6. Зависимость коэффициента $K_{ст}$ от ориентации стены a_{cmi} для каждого месяца года при климатических условиях г. Витебска

По результатам расчётов, выполненных для различных географических областей Беларуси, можно отметить следующее:

1. В летний период имеет место "перегрев" в сравнении с южным фасадом восточного фасада на 16-20% и западного - 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 фасад.

2. В зимний период поступление суммарной солнечной энергии на восточный фасад на 55-65% меньше относительно южного фасада, а на западный - на 40-50%.

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

Указанные обстоятельства обуславливают принципиальные отличия в требованиях к формированию архитектурно-строительных решений каждого фасада энергоэффективного здания [25...31].

Таким образом, максимальной активностью к восприятию солнечной энергии обладает фасад с азимутом $+3,3^\circ$ в г.г. Бресте, Гомеле, Гродно, $+2,5^\circ$ в г. Могилеве и г. Минске, $+2,2^\circ$ в г. Витебске. При иной ориентации фасада происходит снижение поступающей солнечной энергии. Однако, задавшись допустимым снижением поступающей солнечной энергии до 5%, получаем

диапазон азимутов посадки на местности здания широтной ориентации в Беларуси в допустимых пределах $\alpha_{стj} \in -24...+32^\circ$.

2 Особенности применения принципов солнечной архитектуры при проектировании энергоэффективной квартальной застройки

На основании выполненного анализа радиационного климата Беларуси предлагаем планировочное решение жилой застройки составлять из ячеек дальнего порядка, сформированными транспортными дорогами широтной ориентации и с отклонениями от неё на $+32^\circ$ и на -24° (рис.7). Таким образом, здание солнечной архитектуры можно “поворачивать” в диапазоне 58° (в пределах азимутов: 32° на ЮЗ и 24° на ЮВ 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-двухэтажными сблокированными домами. В данной части ячейки могут встраиваться детские сады. На боковых сторонах ячейки располагаются многоэтажные дома с увеличением этажности к вершине ячейки /28/.

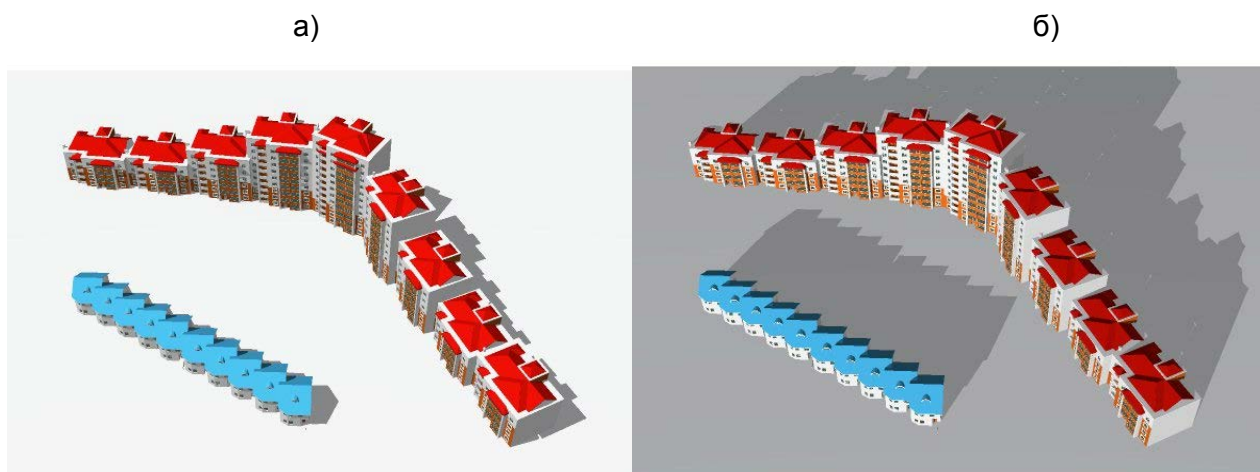


Рис.7. Энергоэффективная градостроительная ячейка с домами солнечной архитектуры:

- 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 зданиям солнечной архитектуры /25,26,28,30/. Кроме того, значительно улучшаются, в сравнении с иными вариантами застройки, условия микроклимата дворовых пространств и эксплуатационные условия транспортных магистралей. Дворовые пространства минимальным образом затеняются окружающими зданиями, при этом хорошо вентилируются и в то же время защищены от ветров ЮВ направления (преобладающего в зимний период года) и от ветров СЗ направления (преобладающего в летний период года). Основное тенеобразование от зданий

приходится на полотно дорог, формирующих градостроительную ячейку, что увеличивает срок службы дорожного покрытия. Дороги меридианной ориентации желательно не проектировать.

Ячейку можно формировать более прагматичным образом - в виде прямоугольного треугольника с боковыми гранями - дорогами под углом $+45^\circ$ и -45° относительно его основания широтной ориентации, вдоль которого предусматривается застройка одно-двухэтажными сблокированными домами. Для зданий солнечной архитектуры, выстраиваемых вдоль боковых граней – дорог квартальной ячейки, можно сохранить диапазон азимутов в пределах: $32^\circ \dots 45^\circ$ на ЮЗ и $24^\circ \dots 45^\circ$ на ЮВ 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 принципы солнечной архитектуры 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.8).

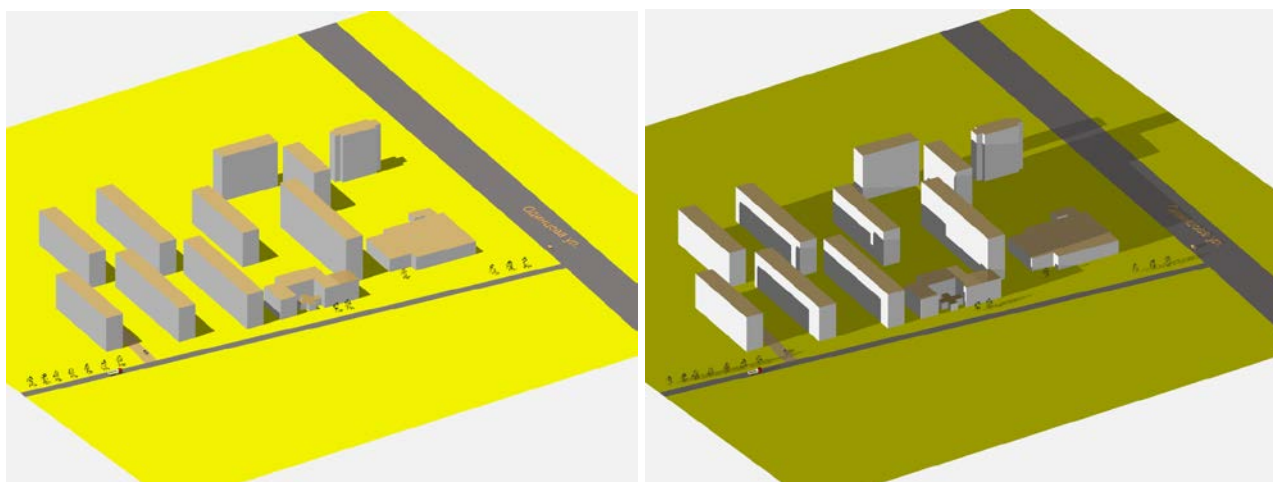


Рис.8. Характер инсоляции квартальной застройки в летний и зимний периоды:

- 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 солнечному облучению для зданий культурно-образовательного назначения и на прилегающие к ним площадки. Планировка квартала создаёт перегрев в помещениях летом и не позволяет использовать солнечную энергию в зимний период.

С использованием вышепредложенных принципов энергонеэффективной градостроительной ячейки мы преобразовали исходный энергонеэффективный квартал, показанный на рис.8, в энергоэффективный квартал «солнечной архитектуры» с

сохранением всех экономических и планировочных параметров и показателей застройки указанной площадки (рис.9).

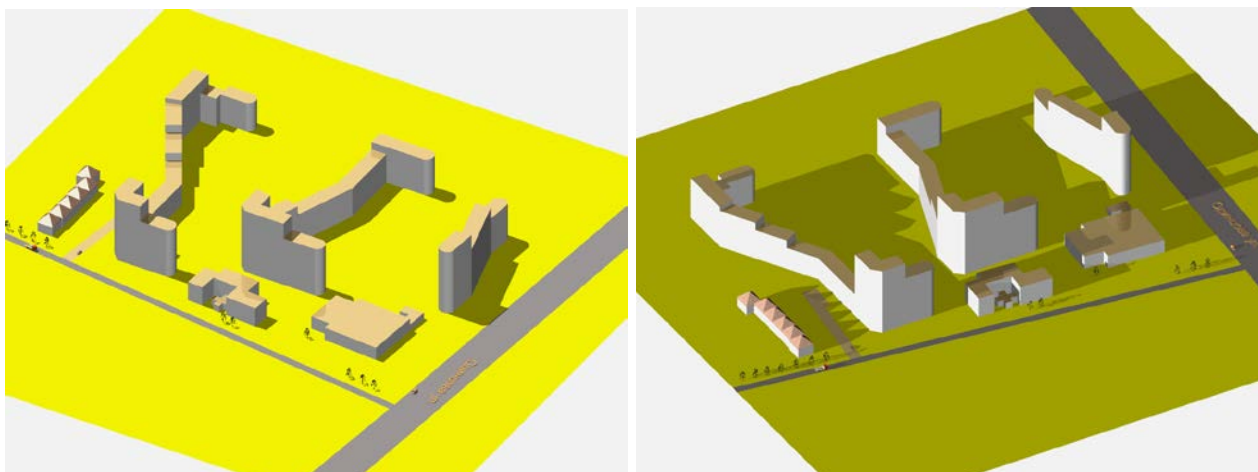


Рис.9. Альтернативный энергоэффективный вариант квартальной застройки:

- а) тенеобразование в квартале в полдень 22 июня;
- б) тенеобразование в квартале в полдень 21 декабря.

Представленный в качестве примера альтернативный вариант квартальной застройки района Запад исключает взаимное затенение домов в зимнее время при одновременном сохранении полезной площади застройки. На данном примере (рис.8 и 9) мы стремились показать необходимость энергоэффективного подхода в градостроении, что позволяет без дополнительных капитальных затрат получать энергоэффективное решение и комфортный объём квартала.

3 Особенности применения принципов солнечной архитектуры при проектировании энергоэффективных зданий

Энергоэффективное проектирование базируется на теплофизической проработке архитектурной части проекта с целью придания отдельным фасадам и зданию в целом энергоактивных качеств /9,12,14,18,21,25...34/. Здание при этом приобретает свойства саморегулирования, благодаря которым получает в течение года от внешней среды оптимальное количество энергии при снижении тепловых сбросов и без перегрева в летний период. В таком здании инженерные системы представляются составляющими единого архитектурно-энергетического комплекса - здания. Существует множество различных типов энергоэффективных зданий.

Классическим энергоэффективным примером такого здания является индивидуальный дом архитектора К.С.Мельникова, построенный в 1929г. в Москве (рис.10).

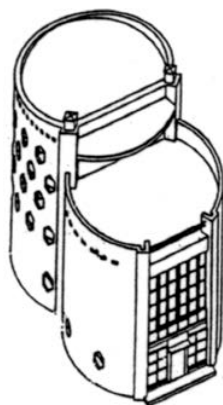


Рис. 10. Индивидуальный дом-мастерская архитектора К.С.Мельникова, построенный в 1929г. в Москве

Компактная геометрическая форма дома, а также южная ориентация остеклённого фасада позволяют при минимальных теплопотерях воспринимать солнечную энергию в необходимом количестве в течение всего года. Дополнительное отопление дома обеспечивается гравитационной огневоздушной системой, совмещённой с вентиляцией.

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

3.1 Формообразование энергоэффективного здания солнечной архитектуры

Для формообразования фасадов многоквартирных зданий архитекторы широко используют, к сожалению, изломы поверхности наружных стен. В упрощенном виде форма таких зданий в плане показана на рис.11.а. Обычно “впадины” используются для

формирования лоджий. Данное конструктивное решение создаёт 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 1м² общей площади. Следует в качестве энергоэффективного базового варианта принимать простую форму здания (рис.11.б), для которого фасады следует формировать с использованием энергоактивных конструктивных решений /25/.

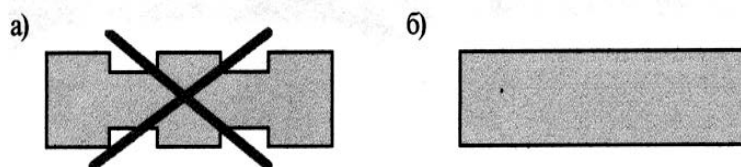


Рис.11. Варианты формообразования жилого дома (в плане):
а) энергозатратная форма; б) энергоэффективная форма.

Повышению теплопотерь в здании способствуют также “встроенные” в его объём незадымляемые лестничные клетки, так как внутренние стены, ограничивающие их объём, по сути, являются “наружными” (рис.12а). Следует отказаться от подобных энергозатратных планировок взамен на вариант неотапливаемой, “пристроенной” к дому на северном фасаде, незадымляемой лестничной клетки из светопрозрачных наружных ограждений (рис.12б). Предлагаемый вариант позволяет снизить сметную стоимость 1м² общей площади здания при уменьшении расхода теплоты на отопление /25/.

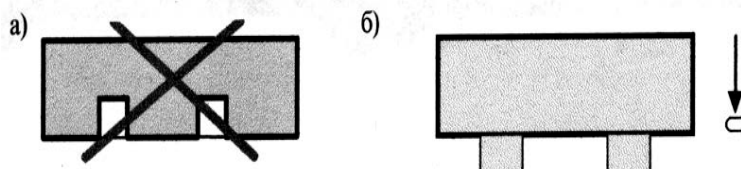


Рис.12. Формообразование жилого дома с незадымляемой лестничной клеткой:
а) традиционное планировочное решение; б) предлагаемое планировочное решение.

3.2 Энергоэффективные решения фасадов здания

В энергоэффективном здании солнечной архитектуры окна южного фасада рассматриваются в качестве гелиоприёмников, 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 0,2м, не применяют оклейку обоями теплоёмких поверхностей помещений, а для улучшения условий инсоляции пола применяют высокие окна /12,18,23 и др./. В нашем строительстве применяют в основном

полы из нетеплоёмких материалов. Поэтому необходима иная схема, позволяющая использовать для аккумулирования солнечной энергии поверхности стен и потолка /28...34/. В условиях существующего радиационного режима для энергоэффективного здания представляется оптимальным южный фасад из широких окон, заглубленных относительно наружной поверхности ограждений, высотой до 1,2 метра в сочетании с широкими теплоёмкими подоконниками (из бетона, камня и т.п.) и отражателями с наружной стороны.. Энергетический эффект значительно повышается при устройстве остеклённой лоджии с облучаемыми теплоёмкими элементами (рис.13).

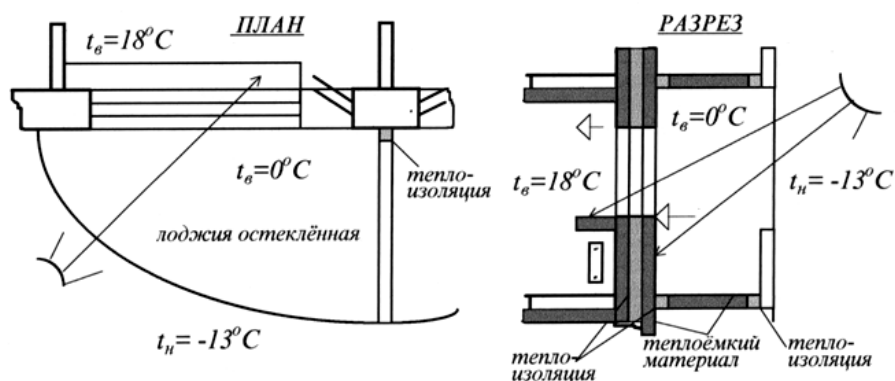


Рис.13. Энергоэффективное решение южного фасада

В качестве примера использования принципов энергоэффективного проектирования предлагаем некоторые работы белорусского архитектора А.В.Осененко (рис.14).



Рис.14. Варианты энергоэффективного решения фасадов дома солнечной архитектуры в полдень 22 июня (архитектор А.В.Осененко)

Проблемы энергосбережения в Беларуси, как правило, связывают только с зимним периодом, забывая, что и в летний период года 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 счёт средств жильцов, при этом значительно ухудшая годовые показатели энергоэффективности

жилых зданий. Можно выделить хотя бы некоторые наиболее грубые ошибки архитекторов, связанные с незнанием особенностей климата Беларуси и, соответственно, с отсутствием учёта архитекторами энергетических параметров климата в своих архитектурных произведениях.

Летом в течение дня на окна как восточного, так и западного фасадов поступает солнечной энергии в 1,1 раза больше, чем на южный фасад, то есть, за сутки на окна восточного и западного фасадов поступает теплоты в 2.2 раза больше, чем на окна южного фасада (см. раздел 1). Так как в жилой застройке преобладают здания меридианальной ориентации, то исходный радиационный перегрев им изначально обеспечен (рис.15а).

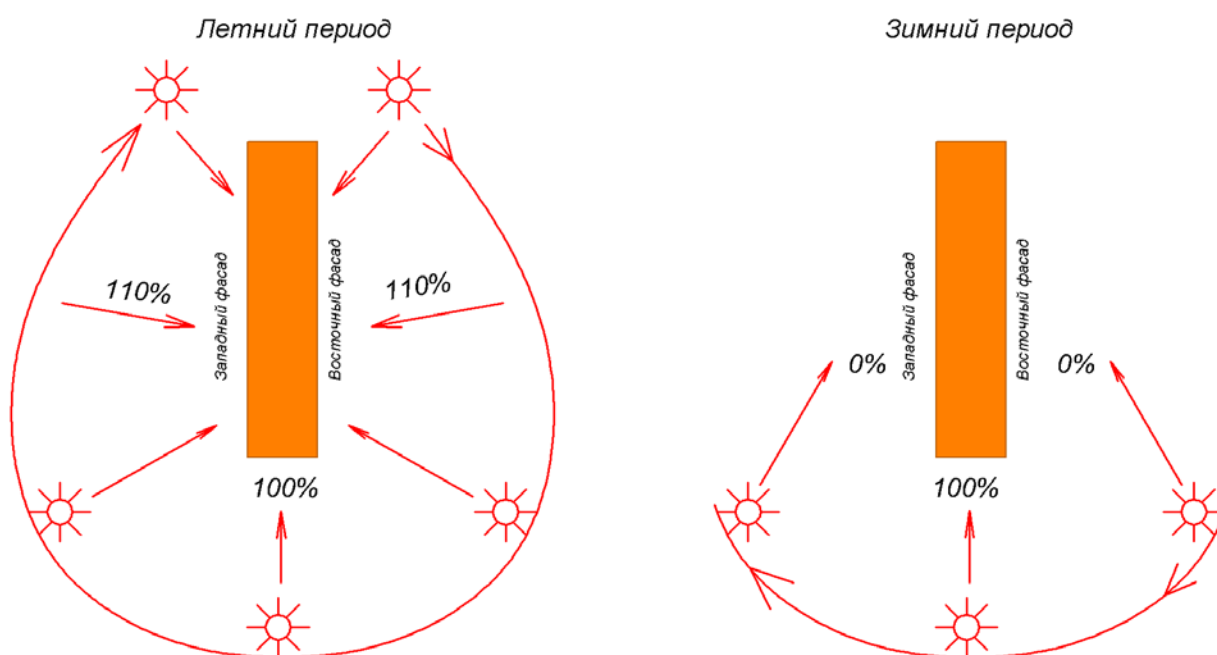


Рис.15. Схема поступления солнечной энергии на фасады многоэтажного жилого дома меридианальной ориентации в летний и зимний периоды года

Летний перегрев для таких зданий через окна восточного и западного фасадов можно исключить путём формирования этих фасадов в соответствии с простейшими принципами солнечной архитектуры. На рис.16а показаны причины перегрева из-за поступления солнечного излучения в объём помещения, а на рис.16б, 16в, показаны классические принципы формирования прагматичных энергоэффективных решений для восточного и западного фасадов.

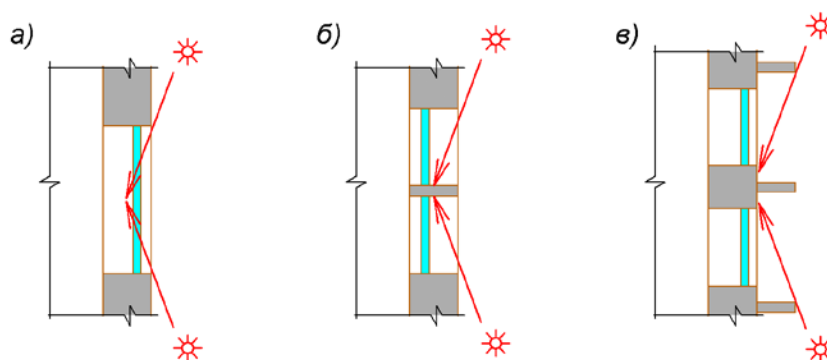


Рис.16. Схемы инсоляции окон восточного (западного) фасада:

- а) перегрев помещения через окно при традиционном решении фасада;
- б) вариант солнцезащитного решения путём «заглубления» узких окон;
- в) вариант солнцезащитного решения с помощью вертикальных солнцезащитных устройств.

Варианты подобного оформления фасадов можно встретить на известных зданиях г. Минска, например, на корпусе №15 БНТУ - на его южном фасаде, что является глупостью, в результате которой значительно перегреваются помещения здания, так как южный фасад следует оформлять не вертикальными, а горизонтальными солнцезащитными устройствами.

3.3 Солнцезащитные устройства, регулирующие количество поступающего солнечного излучения

Одной из целей современного энергоэффективного строительства является обеспечение энергоэффективными качествами фасада здания /23...26/. При правильном проектировании в помещениях наблюдается стабилизация температуры и обеспечение комфорта в помещениях. Базой для таких расчетов являются климатические данные места строительства. На основе анализа этих параметров построено множество энергоэффективных зданий в странах Европы /21...27/.

Важной составляющей проектирования энергоэффективного или пассивного здания является архитектурно-планировочное решение. При помощи оптимальных архитектурно-планировочных необходимо достигнуть того, чтобы в зимний период здание получило максимальное количество полезной солнечной энергии с её использованием в течении длительного периода времени. С этой целью должны учитываться следующие факторы /35/:

- корректная ориентация здания по сторонам света, включая расположение здания на участке;
- компактность здания (минимальный коэффициент, равный отношению площади поверхности наружных стен к кубатуре здания /36/);
- теплоизоляция без теплопроводных мостов и максимальная герметичность здания;

- размещение вспомогательных помещений с более низкой расчетной температурой с северной стороны здания;
- оптимальное остекление, включая ориентацию и размеры остекления;
- защита светопрозрачных конструкций с южной стороны и др.

Особое внимание следует уделять конструированию солнцезащитных устройств - козырьков, регулирующих поступление солнечной энергии с южной стороны фасада здания в помещения в оптимально необходимом количестве /37/.

Рассматривая солнцезащитные устройства, регулирующие количество поступающего солнечного излучения, можно выделить типовые решения козырьков для южного фасада здания/36/. В летний период такие козырьки снижают нагрузку на кондиционирование воздуха, уменьшая перегрев помещения. Это происходит из-за того, что солнце находится высоко над горизонтом, что создаёт тенеобразование на остеклении южного фасада. Зимой солнце находится низко, поэтому козырьки не препятствуют поступлению теплоты от солнца в помещение. Таким образом, на протяжении года такие помещения будут получать оптимальное количество солнечной энергии. В качестве козырьков могут быть использованы балконы, террасы, различные выступы, навесы, заглубленное расположение остекления. При использовании таких оптимальных элементов не требуются затраты на охлаждение помещений. Также можно использовать жалюзи, ролеты, ставни, однако эти устройства требуют постоянного контроля и обслуживания в течение суток.

Определение конкретных размеров регулирующих солнцезащитных устройств базируется на различных методиках, а также на климатических статистических данных /1, табл 4.19/ (табл. 4).

Основными исходными данными для расчёта являются значения месячных и годовых сумм суммарной солнечной радиации на вертикальные поверхности южной ориентации при средних условиях облачности, МДж/м².

Суммарная солнечная радиация, поступающая в помещение, определяется по формуле:

$$Q = q_{\text{верт}} * K_{\text{ст}} * K_{\text{перепл}} * F_o, \text{ где} \quad (10)$$

$q_{\text{верт}}$ - месячные суммы суммарной солнечной радиации на вертикальные поверхности южной ориентации при средних условиях облачности, МДж/м²;

$K_{\text{ст}}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий отражательную и поглощательную способности используемого стекла. Для обычного силикатного стекла $K_{\text{ст}} = 0,93$;

$K_{\text{перепл}}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние оконного переплета на реальную площадь стекла. Для пластиковых стеклопакетов принимается равным 0,85;

F_o – общая площадь оконного проема, м².

Учитывая солнцезащитные козырьки реальная суммарная солнечная радиация, поступающая в помещение, будет определяться по выражению:

$$Q_{\text{реал}} = q_{\text{верт}} * K_{\text{ст}} * K_{\text{перепл}} * F_{\text{солн.ок.}}, \text{ где} \quad (11)$$

$F_{\text{солн.ок.}}$ – реальная площадь остекления, м², рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{солн.ок.}} = F_o - F_{\text{тени}}, \text{ где} \quad (12)$$

$F_{\text{тени}}$ – средняя за месяц площадь затененного участка стекла, м².

Значение $F_{\text{тени}}$ можно определить, исходя из максимальной высоты солнца над горизонтом в определенный день каждого месяца. Эти данные находятся в специальной литературе, а также в свободном доступе в онлайн калькуляторах. Далее строится соответствующий максимальный угол. По этому значению определяется максимальный вертикальный размер затененного участка. Учитывая ширину верхнего оконного переплета и переменную высоту солнца в течение дня определяется искомая средняя площадь за световой день и за месяц.

Таблица 4.

Месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации на горизонтальную и вертикальные поверхности 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
ЮВ	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	333	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
ЮЗ	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

3.4 Оценка энергоэффективности проектного решения

Энергоэффективность проектного решения оценивается уровнем удельного годового теплотребления здания $q_{г}$, отнесенной к 1 м^2 общей отапливаемой площади или 1 м^3 объёма. 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 /25,26/:

$$Q_{от} = Q_T + Q_{и} - Q_{б} \cdot (1 - \eta_1), \quad (13)$$

где Q_T , $Q_{и}$ - соответственно суммарные трансмиссионные теплотери здания и теплотери вследствие воздухообмена, Вт; $Q_{б} = 150 A_{п}/f_{п}$ - бытовые тепlopоступления, Вт; $A_{п}$ - площадь пола жилых помещений, м^2 ; $f_{п}$ - средняя величина жилой площади на человека, $\text{м}^2/\text{чел.}$; η_1 - коэффициент, принимаемый в зависимости от способа регулирования системы отопления: $\eta_1 = 0,80$ при индивидуальном регулировании, $\eta_1 = 0,4$ при местном регулировании, $\eta_1 = 0,2$ без регулирования.

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

$$Q_{ми} = 2,6 [(Q_T + Q_{и}) \cdot (t_{в} - t_{ми}) / (t_{в} - t_{н}) - Q_{б} \cdot \eta_1] - Q_{с\ ми} \cdot \eta_1, \quad (14)$$

где $t_{в}$, $t_{н}$ - расчётная температура соответственно внутреннего и наружного воздуха (параметры Б); $t_{ми}$ - среднемесячная температура; $Q_{с\ ми}$ - 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:

$$Q_{с\ ми} = Q_{ст\ и} \cdot \eta \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_{зи} \cdot A_o, \quad (15)$$

где $Q_{ст\ и}$ - сумма радиации за месяц на вертикальную стену южной ориентации, Мдж;

η - коэффициент пропускания солнечного излучения через остекление оконных проёмов;

k_1 , k_2 - коэффициенты соответственно запылённости остекления и затенённости от переплётов; $k_{зи}$ - коэффициент, учитывающий влияние солнцезащитных устройств (рассчитывается для каждого месяца); A_o - общая площадь остекления южного фасада, м^2 .

Удельное годовое теплотребление на отопление жилого здания $q_{г\ от}$, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, определяется по формуле:

$$q_{г\ от} = 0,28 \cdot (\sum Q_{ми}) / A. \quad (16)$$

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

4 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 в течение года. Теплопоступления солнечной энергии также являются нерегулярными и не совпадают по величине и по периоду с потребностью в теплоте, поэтому между приёмником 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 аккумулированием тепловой энергии. Такие системы являются экономически оптимальными, и дальнейшее содержание данного пособия относится именно к этим гелиосистемам.

Гелиосистема включает в себя три основных конструктивных элемента: гелиоколлектор - приёмник тепловой солнечной энергии; аккумулятор теплоты, например, водяной бак-аккумулятор; систему передачи теплоты потребителю. Условно гелиосистемы подразделяют на гелиосистемы небольшие, средние и крупные. Такое разделение связано с принципиальными различиями в конструкции этих гелиосистем.

4.1 Гелиосистемы небольшие и средние

Небольшие гелиосистемы применяют с естественной и насосной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора. Системы с естественной циркуляцией обладают более высокой энергоэффективностью в сравнении с насосными, имеют меньшую стоимость и просты в эксплуатации. На рис.17 приведена распространённая в странах с тёплым климатом схема с естественной циркуляцией теплоносителя.

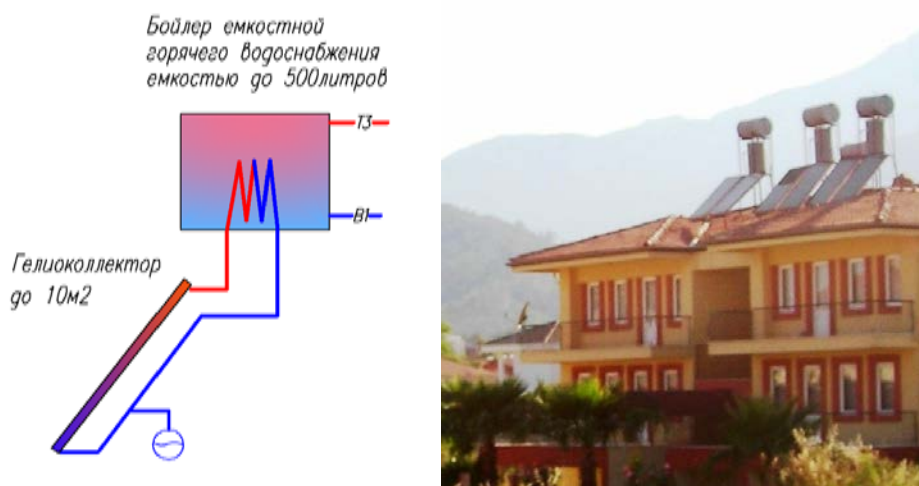


Рис.17. Конструкция небольшой гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора - одноконтурная схема с верхним расположением бойлера

Для климата с отрицательными температурами такая схема неприемлема. Мы предложили двухконтурную схему /26,31,39/, имеющую все преимущества, присущие системам с естественной циркуляцией, и разработали методику её проектирования /40/. В этой системе контур гелиоколлектора состоит из двух контуров: до гидравлического разделителя – с естественной циркуляцией, после гидравлического разделителя – с насосной циркуляцией (рис.18).

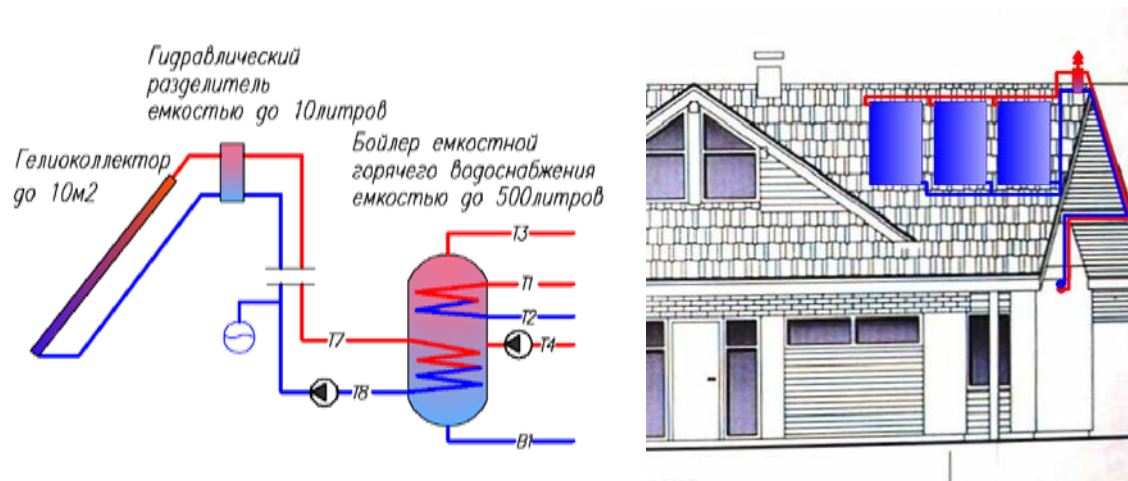


Рис.18. Конструкция небольшой гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора - двухконтурная схема с гидравлическим разделителем и с нижним расположением бойлера /26,31,39,40/.

На рис.19 приведены упрощённые схемы небольших и средних гелиосистем с насосной циркуляцией теплоносителя.

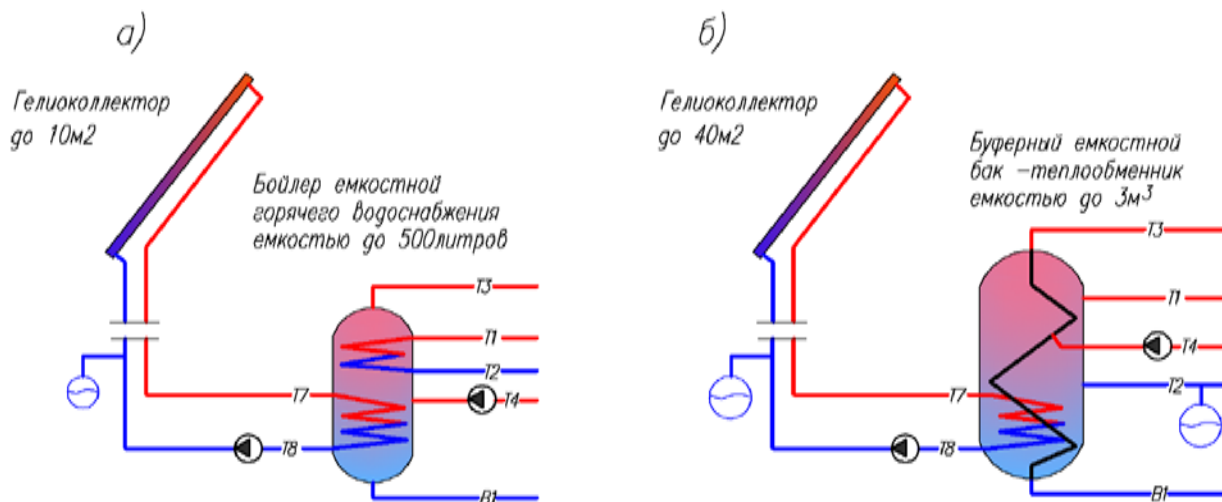


Рис.19. Конструкция небольшой (а) и средней (б) гелиосистем.

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 гелиосистемы и от дополнительных источников энергии.

Небольшие гелиосистемы - с гелиоколлектором до 10м^2 и с аккумулирующим бойлером ёмкостью до 500 литров (рис.19а) - являются наиболее распространёнными 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 гелиосистем и возможные пожелания потребителя. Варианты комплектаций приводятся производителями в подробных описаниях по монтажу и эксплуатации, что весьма удобно для потенциального покупателя. Бойлеры ёмкостью более 500 литров в настоящее время, как правило, не используются ввиду возникающих при этом проблем по санации контура горячего водоснабжения от легионеллёза.

Для так называемых средних гелиосистем с гелиоколлектором общей площадью до 40м^2 требуются аккумуляторы ёмкостью более 500литров. В этом случае применяют в качестве аккумуляторов так называемые буферные баки ёмкостью до 3м^3 , заполненные теплоаккумулирующей деаэрированной водой, от которой теплота передаётся к воде горячего через трубчатый змеевик-теплообменник, расположенный по всей высоте бака (рис.19б). 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.

К крупным гелиосистемам относят гелиосистемы с гелиоколлектором общей площадью более $100...200\text{м}^2$. Они принципиально отличаются от средних гелиосистем конструкцией тепловых аккумуляторов, системами автоматического управления и технологией проектирования.

4.2 Крупные гелиосистемы

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

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 4м³. Крупные гелиосистемы применяют также в сочетании другими возобновляемыми источниками тепловой энергии, что позволяет значительно повысить энергоэффективность систем здания в течение всего года.

Крупная гелиосистема, в зависимости от конкретных обстоятельств, может иметь два и более буферных бака-аккумулятора. Будем рассматривать только варианты гелиосистем с применением одного буферного бака. Такие системы являются экономически оптимальными и более простыми в проектировании и эксплуатации. На рис.20, 21 приведены в упрощённом виде некоторые варианты крупных гелиосистем с одним буферным баком-аккумулятором.

В европейской практике распространение получили гелиосистемы с буферным баком-аккумулятором, работающим под давлением (рис.20а). 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 следует разрабатывать для гелиосистемы такие технические решения, которые по силам эксплуатационным службам ЖЭС на базе имеющейся квалификации. Например, следует разрабатывать такие устройства для гелиосистем теплоснабжения и горячего водоснабжения, которые не требуют планового периодического обслуживания. Предлагаем применять буферные баки-аккумуляторы, работающие под атмосферным давлением и обладающие функциями расширительного бака (рис.21), а также при возможности отказаться от мембранных расширительных баков, заменив их расширительными баками специальной конструкции, которые работают под атмосферным давлением (рис.20б, рис.21). Это позволит в дальнейшем рекомендовать разработанные и опробованные в рамках настоящего проекта гелиосистемы для внедрения в проектируемый и эксплуатируемый жилой фонд.

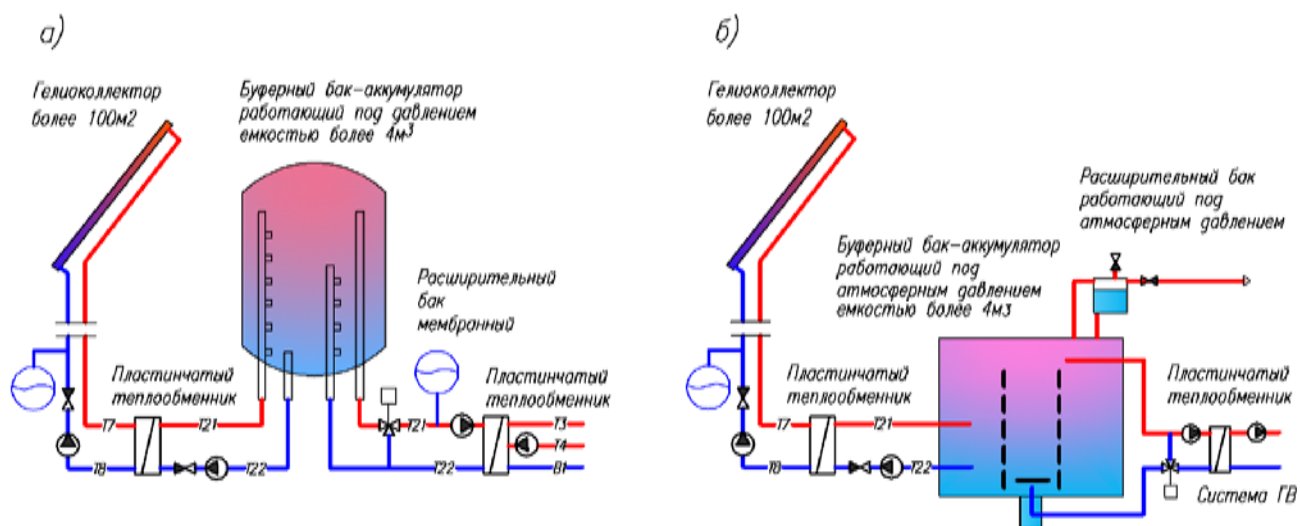


Рис.20. Варианты крупной гелиосистемы:

- 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.

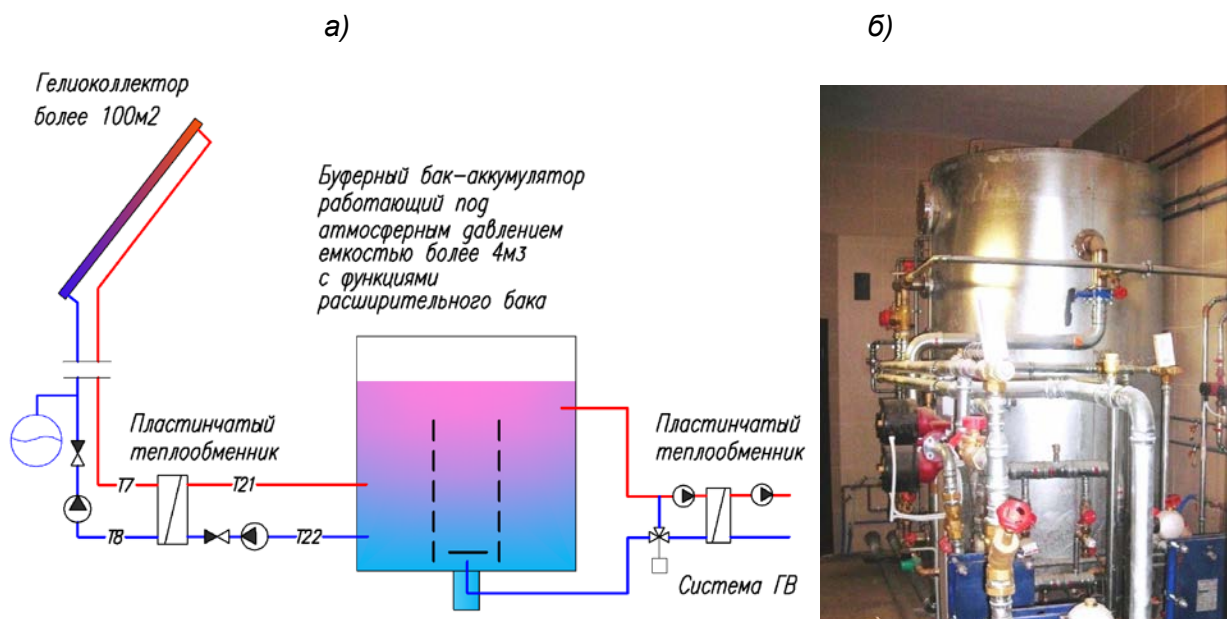


Рис.21. Крупная гелиосистема с буферным баком-аккумулятором, работающим под атмосферным давлением, с функциями расширительного бака:

- а) схема крупной гелиосистемы;
- б) бак-аккумулятор 4,5м³ самостоятельного изготовления с функциями расширительного бака, установленный в котельной для гелиоколлекторов 60м² (Витебская область).

4.3 Гелиоколлекторы

Наиболее применяемыми в настоящее время 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 применяют самые различные варианты расположения гелиоколлекторов: на скатной кровле, на плоской кровле, на специальной эстакаде, вертикальные и встроенные в ограждающую конструкцию здания.



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

- для гелиосистемы тёплого периода года - 40...45град.
- для гелиосистемы круглогодичного применения - 50...55град.

Как правило, реальный азимут устанавливаемого коллектора отличается от южной ориентации, поэтому при проектировании следует увеличить проектную площадь коллектора, умножив её на величину, равную коэффициенту уменьшения получаемой солнечной энергии. Например, при ориентации гелиоколлектора на ЮЗ количество поступающей солнечной энергии уменьшится в 1,05 раза при наклоне 40° и в 1,10 раза при наклоне 60° , а при ориентации на ЮВ количество поступающей солнечной энергии уменьшится в 1,10 раза при наклоне 40° и в 1,15 раза при наклоне 60° (рис.2). Соответственно, во столько же раз следует увеличить требуемую поверхность проектируемых гелиоколлекторов.

Плоский и трубчатый гелиоколлекторы принципиально отличаются по конструктивному устройству (рис.22).

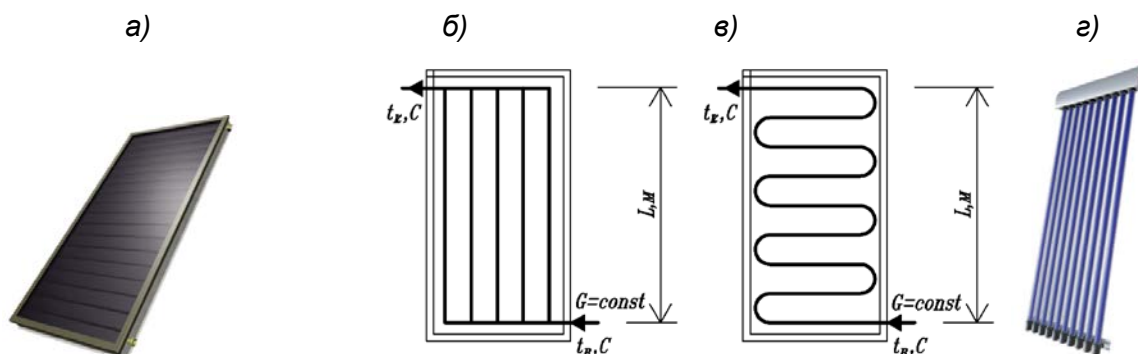


Рис.22. Плоский и трубчатый гелиоколлекторы: а) общий вид плоского гелиоколлектора; б) схема плоского гелиоколлектора для систем с естественной циркуляцией; в) схема плоского гелиоколлектора для систем с насосной циркуляцией; г) общий вид трубчатого вакуумированного гелиоколлектора.

Плоский коллектор состоит из последовательных плоских слоёв «солнечного» стекла, теплового коллектора для поглощения солнечной энергии и слоя теплоизоляции, помещённых в достаточно герметичный корпус (рис.22а). Для систем с естественной циркуляцией теплопоглощающий коллектор изготавливают в виде вертикально расположенных параллельно соединённых элементов (рис.22б), а для систем с насосной циркуляцией теплопоглощающий коллектор собирается из горизонтально расположенных последовательно соединённых элементов (рис.22в).

Трубчатый вакуумированный гелиоколлектор имеет множество конструктивных вариантов исполнения, в основу которых заложено значительное снижение теплотерь между тепловым элементом и наружным воздухом за счёт создания вакуума между ними (рис.22г). Основным элементом трубчатых вакуумированных коллекторов является «трубка» (рис.23), которая состоит из стеклянной колбы поз.1 с двойным остеклением и вакуумированным зазором, и теплопринимающего элемента поз.2.

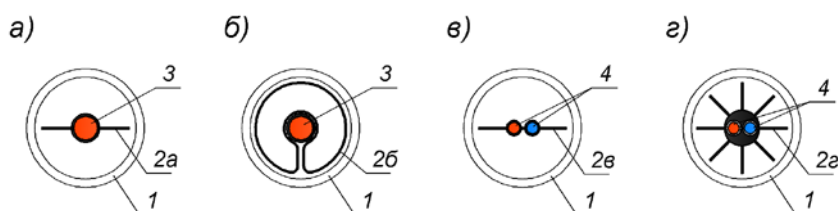


Рис.23. Сечение трубки различного типа вакуумированных трубчатых коллекторов: а), в) - с тепловым плоским элементом; б) - с тепловым цилиндрическим элементом; г) - с тепловым литым элементом из алюминиевого сплава; 1 - колба с двойным остеклением и вакуумированным зазором; 2а, 2в – плоский теплопринимающий элемент; 2б - теплопринимающий 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 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.23а, 23б 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.23в, 23г). Применение тепловых трубок поз.3 позволяет упростить производство и, особенно, транспортировку гелиоколлекторов по отдельным своим составляющим. Коллекторы рис.23в, 23г имеют более высокие теплотехнические качества по сравнению с коллекторами рис.23а, 23б 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.24).

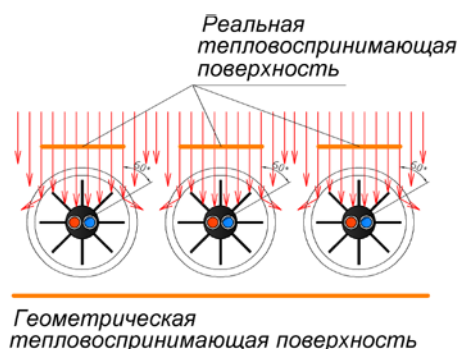


Рис.24. Оценка реальной тепловоспринимающей поверхности трубчатых коллекторов

Реальная тепловоспринимающая поверхность трубчатого коллектора составляет 0,60...0,62 от его геометрической поверхности. Для плоских коллекторов это соотношение составляет 0,9...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 $С_{пл}$ и площадь по наружным габаритам $А_{пл}$, 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, выполненные специалистами в области тепловых гелиотехнологий, не показали в условиях центрально-европейского климата 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°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 3бар - для плоских коллекторов с одинарным остеклением и более 5бар - 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 силикатное закалённое 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° . Коллекторы со специальным стеклом без «блёсткости» имеют более высокую стоимость.

Срок службы от 20 до 35 лет, гарантийный срок - от 1 до 13 лет.

Выбор варианта плоского коллектора следует проводить среди 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. При выборе желательно не принимать

сборный корпус, а ориентироваться на цельный штампованный, который дешевле, прочнее и герметичнее всех прочих и имеет минимальную массу.

4.4 Справочные сведения по методике расчёта 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 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 /1/. В технических расчётах гелиосистем применяют средние за месяц параметры среды и суммарные за месяц энергетические характеристики климата данной местности. Сумма за месяц суммарной солнечной радиации Q_{α} на наклонный гелиоколлектор определяется в зависимости от широты местности, от угла наклона коллектора, от азимута коллектора относительно южной ориентации, от альbedo поверхности, от средней степени облачности. С использованием этих факторов выявляется коэффициент K , применяемый для пересчёта суммарной солнечной радиации Q , МДж/м², с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность коллектора Q_{α} :

$$Q_{\alpha} = K \cdot Q . \quad (17)$$

Из литературных данных /7,16 и др./ применительно к рассматриваемым условиям Беларуси (широта 53-54 град., угол наклона коллектора 40-45град., средний коэффициент облачности 0,4-0,5) можно принять следующие значения коэффициента пересчёта K :

Таблица 5.

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

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
К	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 таблицы 4. Получаемая 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_n , от 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.25.

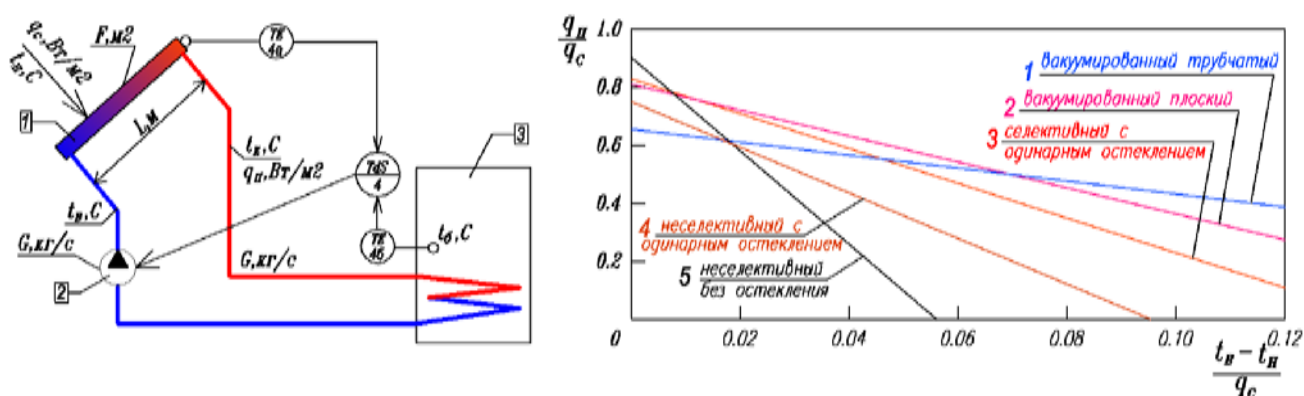


Рис.25. Тепловая схема и графическая зависимость для КПД для гелиоколлекторов различного типа

Как правило, функциональная зависимость представляется следующим образом:

$$\frac{q_p}{q_c} = f\left\{ \frac{t_s - t_n}{q_c} \right\}. \quad (18)$$

В выполненных нами исследованиях для воздушных и водяных гелиосистем с естественной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора /26,31,33,39,40/ мы показали неправомочность зависимости (18), показанной на рис.25. 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.

Для определения КПД гелиоколлектора при насосной циркуляции теплоносителя необходимо знать расчётную температуру наружного воздуха t_n . Данную температуру следует принять для дневного времени суток. Поэтому, используя значения таблиц 6 и 7 /1/ с допустимой для технических расчётов точностью для получения расчётного значения t_n , к значениям табл.6 прибавим половину суточной амплитуды табл.7. Результаты вычислений сведены в виде табл.8.

Таблица 6.

Средняя месячная и годовая 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 7.

Средняя за месяц и за год 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 8.

Расчётная средняя за световой день температура наружного воздуха, t_n , °С
(для определения КПД 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 расчёт теплопроизводительности 1м^2 плоского

гелиоколлектора с селективной тепловоспринимающей поверхностью, установленного под углом 40...45 град. Результаты расчёта приведены в табл.9.

Таблица 9.

Теплопроизводительность за месяц и за год гелиоколлектора, установленного под углом 40...45 град, кВт*ч/м²

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: Расчёт выполнен без учёта отражённой энергии R_{α} , которая в зависимости от угла наклона коллектора и альбедо поверхности может значительно увеличить теплопроизводительность в зимние и весенне-осенние месяцы.

Основная часть полученной гелиоколлектором солнечной энергии приходится на семь «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 с помощью гелиосистемы не более 15...20% годовой теплопроизводительности.

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 1м² гелиоколлектора, например, в виде табл.9.

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 при подборе скоростного водонагревателя системы горячего водоснабжения «гарантировать» требуемую тепловую мощность при его подключении к тепловым сетям. Однако, в применимости к системам с суточным аккумулированием получаемой тепловой энергии, следует в тепловых расчётах гелиосистем 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 расчётный месяц на теплопроизводительность 1м² гелиоколлектора. В качестве расчётного можно выбрать месяц с наиболее высокой теплопроизводительностью. Если рассматривается гелиосистема только для нужд горячего

водоснабжения, то в качестве расчётного можно принять июль месяц (см. табл.9). При наличии дополнительно иных потребителей в качестве расчётного можно выбрать месяц с низкой теплопроизводительностью в летний период (например, март или сентябрь – табл.9).

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

5. Выполняется проектирование проектируемой гелиосистемы, включающее в себя проектирование системы гелиоколлекторов на кровле, эстакаде, проектирование теплового пункта с размещением в нём баков-аккумуляторов, теплообменников, насосов и другого оборудования, составление схем первичного, вторичного и промежуточного контуров гелиосистемы.

6. Выполняются теплотехнические и гидравлические расчёты контуров гелиосистемы. При этом для проектирования и расчётов 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;
- расчётный удельный расход теплоносителя в контуре между баком-аккумулятором и теплообменником гелиоколлектора – не менее 35 кг/ч на 1 м² гелиоколлектора;
- удельный объём теплоносителя в баке-аккумуляторе для суточного накопления теплоты – не менее 40...70 л на 1 м² гелиоколлектора.

4.5 Особенности проектирования крупной гелиосистемы теплоснабжения жилых домов

При конструктивном построении на кровле здания отдельных элементов гелиоколлектора следует учитывать задаваемый угол наклона гелиоколлектора и высоту солнца над горизонтом. Покажем основные принципы проектирования гелиоколлектора на примере для условий г. Могилёва.

Примем в расчёт работу гелиоколлекторов по октябрь месяц, начиная с февраля. Тогда, согласно таблице 10, для широты г. Могилева можно задаться высотой над горизонтом примерно 24 град. и углом наклона гелиоколлектора 40град., как максимально необходимым для получения максимального количества энергии с потерей не более 5% при ориентации гелиоколлектора на ЮГО-ЗАПАД (исходя из ориентации проектируемого здания на местности). Определим оптимальное местоположение гелиоколлекторов на кровле

здания, имеющих размеры 1040мм x 2040мм и установленные под углом 40град. к горизонту.

Таблица 10

Определение азимута и высоты солнца над горизонтом на широте 53.9 градусов с.ш. пятнадцатого числа каждого месяца в 2014 году

Месяц	Азимут (град)	Высота над горизонтом (град) в 12.00	Максимальная высота над горизонтом (град)
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

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

$$A = L \left(\frac{\sin \alpha}{\tan \beta} + \cos \alpha \right) = 2040 \left(\frac{\sin 40}{\tan 24} + \cos 40 \right) = 4500 \text{ мм} \quad (19)$$

На рис.26 показаны основные привязки для установки групп плоских гелиоколлекторов на плоской кровле проектируемого здания.

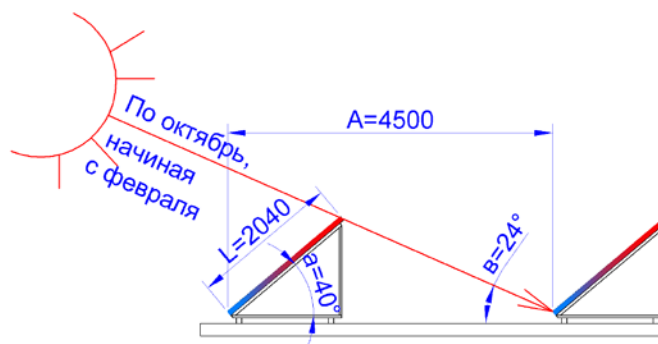


Рис.26. Основные размеры привязки плоских гелиоколлекторов на плоской кровле.

Общая схема гелиосистемы многоквартирного энергоэффективного жилого дома показана на рис.27. В контуре гелиоколлектора 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 эффективного использования малой интенсивности излучения в облачный период, а также в утренние и вечерние часы. Принцип управления частотой вращения циркуляционного насоса может быть реализован без клапанов поз.7 и 8 путём применения контроллера, уменьшающего частоту вращения при понижении температуры теплоносителя после гелиоколлекторов ниже 60°C .

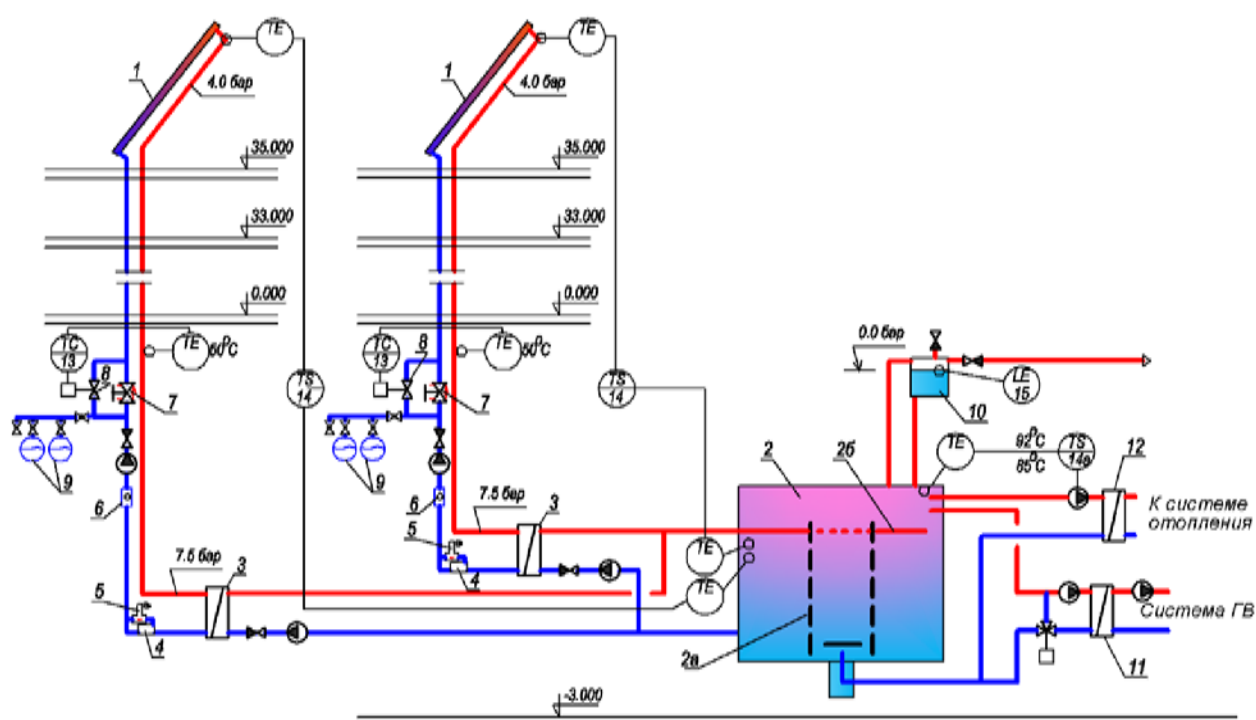


Рис.27. Схема гелиосистемы энергоэффективного многоквартирного жилого дома с единым буферным баком-аккумулятором:

1 - гелиоколлекторы; 2 - буферный бак; 3 - пластинчатые разборные теплообменники; 4 - воздухосорбник; 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 системы отопления; 13 - пропорциональный регулятор; 14 (14а) - контроллер гелиосистемы; 15 - датчик уровня системы подпитки

Бак-аккумулятор поз.2 имеет значительные размеры, например, для гелиоколлекторов площадью примерно 400m^2 необходимо иметь бак ёмкостью $12...20\text{m}^3$. В практике проектирования в таких случаях устанавливают 2...3 бака ёмкостью по $4...5\text{m}^3$, работающих под давлением. Для наших условий эксплуатации такой вариант неприемлем.

Проблему можно решить путём создания двух самостоятельных гелиосистем (рис.28), принцип работы которых, по сути, аналогичен вышеприведенному. В отличие от гелиосистемы, показанной на рис.27, в данной гелиосистеме предлагается использовать баки-аккумуляторы с функциями расширительного бака (рис.21).

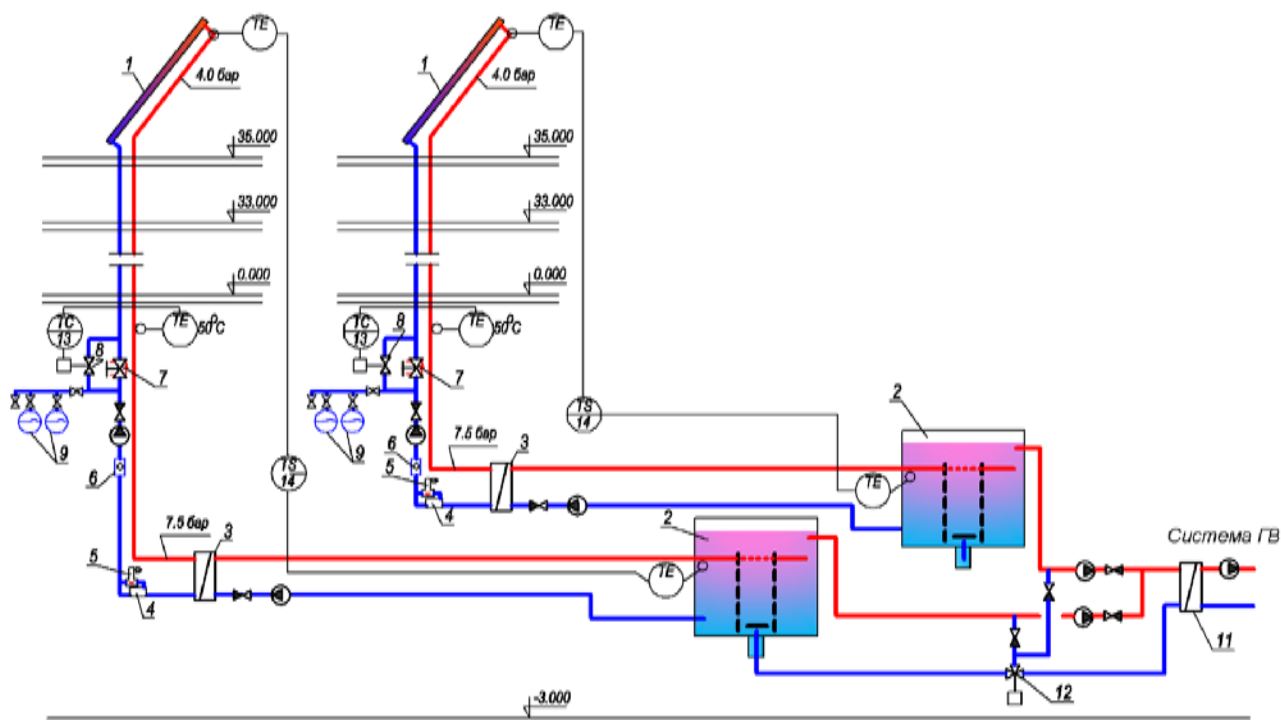


Рис.28. Гелиосистема энергоэффективного многоквартирного жилого дома в виде двух самостоятельных гелиосистем:

- 1 - гелиоколлекторы; 2 - буферный бак с функцией расширительного бака; 3 - пластинчатые разборные теплообменники; 4 - воздухосорбник; 5 - сепаратор воздушный; 6 - визуальный расходомер; 7 - балансировочный вентиль минимального расчётного расхода; 8 - клапан повышения расхода; 9 - расширительные баки; 11 - разборный теплообменник горячего водоснабжения; 12 - клапан регулирующий трёхходовой; 13 - пропорциональный регулятор; 14 (14а) - контроллер гелиосистемы

Современный энергоэффективный многоквартирный жилой дом, как правило, оснащается дополнительными возобновляемыми низкотемпературными источниками теплоты, которые наряду с гелиосистемой, используются для системы отопления дома. Такая система отопления называется низкотемпературной и, в отличие от традиционной, имеет свои особенности в проектировании и эксплуатации.

5 Особенности проектирования системы низкотемпературного водяного отопления энергоэффективных многоквартирных жилых зданий.

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 45⁰С до 70⁰С. 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 теплотери через наружные ограждения;
- из-за более низкой температуры поверхностей отопительных приборов значительно снижается скорость свободноконвективных потоков и, как следствие, значительно снижается запылённость воздуха в помещении;
- использование СНВО позволяет увеличить энергоэффективность применяемых невозобновляемых и возобновляемых источников тепловой энергии.

Востребованность возобновляемых источников 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 /42-48/.

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...15⁰С. Как правило, эту разность температур принимают равной 10⁰С.

- низкая расчётная температура подающего теплоносителя - не более 60⁰С.

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

5.1 Особенности проектирования ИТП

Можно выделить отличительные особенности проектирования ИТП для СНВО:

1. 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.

2. 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 этом ни в коем случае нельзя применять двухходовые пластинчатые теплообменники, как это принято в повсеместной проектной практике. Следует применять только одноходовые теплообменники /44,47,48/.

3. При независимой схеме присоединения применяют расширительные баки мембранного типа, объём которых для больших зданий превышает 1м³. 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. Данная проблема решается путём применения обратных клапанов, отсекающих поверхность испарения от атмосферного воздуха /46-48/. Работоспособность этого предложения проверена на ряде объектов, где подпитка системы не требовалась в течение отопительного периода. На рис.28 показан вариант крупного бака на примере современной реконструкции системы отопления учебного корпуса №15 БНТУ. Подобное решение предлагается для низкотемпературных систем отопления многоквартирных жилых домов.

4. Низкое качество регулирования температуры подающего теплоносителя по графику ЦКР (из-за небольшого диапазона +30⁰С...+50⁰С) следует компенсировать применением качественных, простых и надёжных систем индивидуального регулирования температуры воздуха в отапливаемых помещениях;

5. 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.

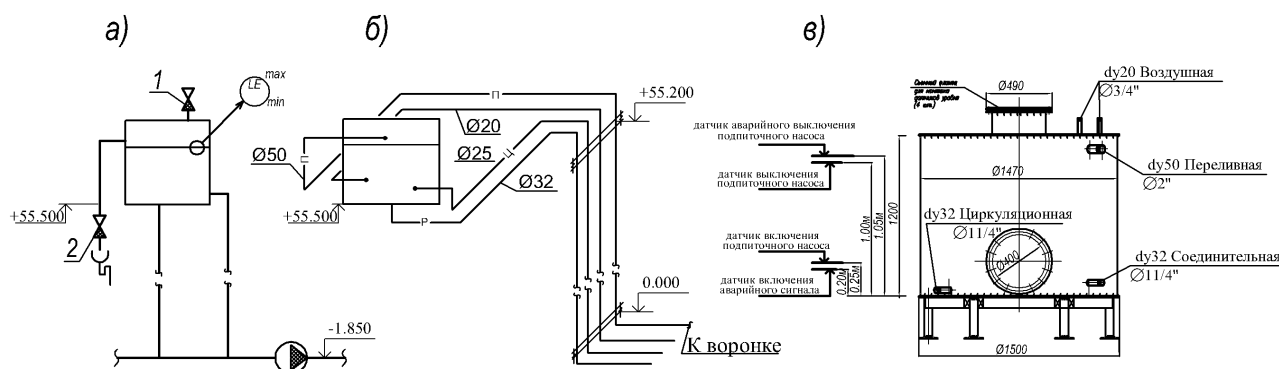


Рис.28. Предлагаемый расширительный бак, устанавливаемый в верхней точке системы низкотемпературного водяного отопления:

- 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 3м³

5.2 Особенности проектирования низкотемпературной системы отопления

При проектировании низкотемпературных систем отопления следует учитывать следующие рекомендации:

1. Исключается применение однотрубных систем. Следует проектировать двухтрубные системы отопления;
2. 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.
3. Требуемые поверхности нагревательных приборов почти в 2 раза больше, поэтому следует применять пластинчатые конвекторы или стальные плоские радиаторы высотой не более 400мм с расположением термостатического клапана с жидкостным датчиком или с датчиком с твёрдым наполнителем ближе к полу. Отопительные приборы следует оборудовать термостатическими клапанами со встроенной задаваемой предустановкой пропускной способности, но при значении k_{vs} в пределах 0,35...0,45 м³/ч (рис.29), что в сочетании с правильно подобранным циркуляционным насосом исключает нарушение работы в системе при любых вмешательствах жильцов в гидравлику системы.

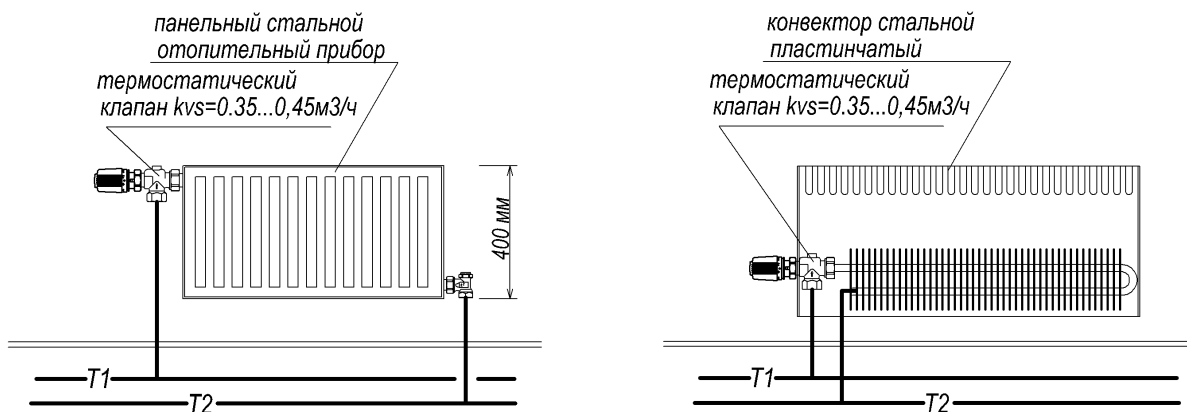


Рис.29. Предлагаемые варианты конвективного низкотемпературного отопления

4. Напольное отопление и конвективное отопление квартиры предлагается подключать к единой распределительной гребёнке (рис.30).

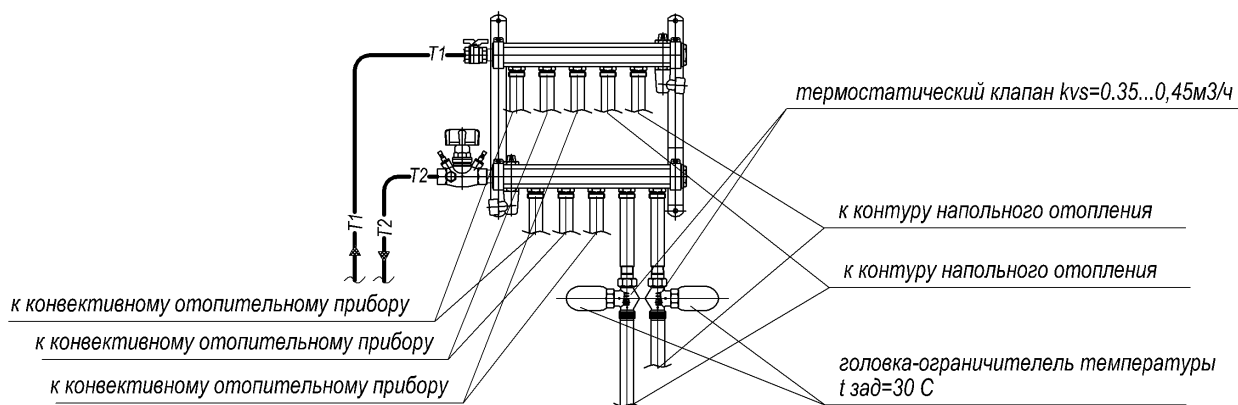


Рис.30. Предлагаемый вариант гребёнок квартирного распределителя

5. 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 30⁰С (рис.30).

6. В случае отказа от проектирования напольного отопления следует сохранить указанную на рис.30 обвязку квартирного распределителя, предоставив, таким образом, каждому застройщику при желании возможность самостоятельного изготовления системы напольного отопления с присоединением к своему квартирному распределителю.

Список используемых источников

- СНБ 2.04.05 – 2000 Строительная климатология – Минстройархитектуры, 2001. – 35с
- Пивоварова. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР.- Л.:Гидрометеиздат, 1988.-295с.
- Материалы по радиационному режиму Белоруссии (Белорусский территориальный гидрометеоцентр)-Мн., 1977.-38с.
- Данные по радиационному режиму Белоруссии в единицах международной системы (СИ). Минская гидрометеорологическая обсерватория, отдел актинометрии и климата. Мн. 1982.
- Пивоварова. Характеристика радиационного режима на территории СССР применительно к запросам строительства.-Л.:Гидрометеиздат, 1973.-128с.
- М.Кенисарин, А.Шафеев, Н.Филатова. Корреляция солнечной радиации с часами солнечного сияния//Гелиотехника.-1988,-№6,-с.64-69.
- Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки.-М.: Энергоиздат, 1991.-208с.
- Рабинович М.Д. Сравнение различных методов представления климатологической информации при расчете производительности гелиосистем. Гелиотехника, 1986, №3,с.76-77.
- В.Ермашкевич, В.Покотиллов, Томас Копф. Реабилитация общественных зданий с использованием принципов "солнечной архитектуры" // Архитектура и строительство. - Мн., 1996, - №5-6.- с.61-63.
- Modeling and simulation of element for solar heating and dailighting/Wilke W.-S., Schmind J.//Sol.Energy.-1991.-46,15,-p.295-304.
- Un programme de calcul //Sonnenenergie(Schweiz).-1991.-18, 14-p.40.
- Б.Андерсон. Солнечная энергия: (Основы строительного проектирования)/Пер. с англ. А.Р.Анисимова; Под ред. Ю.Н.Малевского. -М.: Стройиздат, 1982. -375с.
- Е.Харкнесс, М.Мехта. Регулирование солнечной радиации в зданиях / Пер. с англ.Г.М.Айпетовой; Под ред. Н.В.Оболенского.-М.: Стройиздат, 1984.-176с
- Энергоактивные здания/ Н.П.Селиванов, А.И.Мелуа, С.В.Зоколей и др.; Под ред. Э.В.Сарнацкого и Н.П.Селиванова.-М.:Стройиздат,1989-76с.
- Р.Авезов, М.Барский-Зорин, И.Васильева и др. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения; Под ред. Э.Сарнацкого и С.Чистовича. --М.: Стройиздат, 1990. -328с

Бекман У. и др. Расчёт систем солнечного теплоснабжения: Пер. с англ./ У.Бекман, С.Клейн, Дж.Даффи. -М.: Энергоиздат, 1982. -80с.

Gopinatan K.K. Estimation of hourly global and diffuse solar radiation from hourly sunshine duration//Sol.Energy-1992.-48, ,11.-p.3-5.

С.Зоколей. Солнечная энергия и строительство: Пер. с англ./ Под ред. Ю.Н.Малевского. -М.: Стройиздат, 1979. -208с.

Chowadhury B.H., Rahman S. Comparative assessment of plan - ofarray irradiance models,- Sol.Energy-1987.-39, ,15.-p.391-398.

Ф.У.Гетчинсон. Проектирование систем отопления и вентиляции / Пер. С англ.-М.: Стройиздат, 1959-218с.

Оболенский Н.В. Архитектура и солнце. -М.: Стройиздат,1988.-207с.

Казаков Г.В. Принципы совершенствования гелиоархитектуры.- Львов: Свит, 1990-152с.

Othmar Humm. Niedrigenergiehauser in Theorie und Praxis. 226 S.m.v. Abb., 1990.

С.Терной, Л.Бекл и др. Проектирование энергоэкономичных общественных зданий / Пер. с англ. А.С.Гусева; Под ред. В.П.Титова .- М.: Стройиздат, 1990.- 336ñ.

В.Н.Богословский, В.В.Покотиллов. Системы микроклимата экспериментального многоквартирного жилого дома с эффективным использованием энергии (проект для г.Москвы)// Четвёртая науч.-практ. конф.“Проблемы строительной теплофизики систем микроклимата и энергосбережения в зданиях” - М., Рос.Акад. Арх-ры и Стр-х Наук, НИИСФ,- 1999,-с.37-47.

Покотиллов В.В. Комплексное тепловое проектирование энергоактивных жилых зданий и энергоэффективных инженерных систем // Тепломассообмен - ММФ-2000. Труды IV Минского международного форума по тепломассообмену (22-26 мая 2000 г.) Т.10. Тепломассообмен в энергетических устройствах. Минск: АНК “ИТМО им. А.В.Лыкова” АНБ, 2000. С.280-288.

Покотиллов В.В.: Энергию солнца - на службу хозяину; Ветроэнергетические установки. / Энциклопедия сельского хозяина; -Мн.: БелЭн, 1994. – с. 109-114, 124-127.

Покотиллов В.В., Осененко А.В. Энергоэффективная ячейка жилой городской застройки для климата Витебска // Архитектура и строительство. 1999. 13. №.25-26.

S.Zenhanka, V.Pokotilov (Belarus), Tomas Kopf (Austria). First results of solar thermal equipment produced by “Doma” in International Sakharov Institute of Radioecology // World sustainable energy day. Rroceedings, 4.-5.3.1999, Wels/ Austria, P.170.

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

Покотилов В.В., Шалак А.Д., Макаревич С.А. Теплообмен в гелиосистеме с естественной и насосной циркуляцией жидкости // Тепломассообмен - ММФ-96. Теплообмен в энергетических устройствах и энергосбережение. Минск: АНК «ИТМО им. А.В.Лыкова» АНБ, 1996. Т.Х. Ч.1. С.133-136.

Покотилов В.В. Биоклиматическая архитектура и гелиосистемы зданий для условий Беларуси /Восьмая науч.-практ. конф.(Академические чтения)“Актуальные проблемы строительной теплофизики”. Сб.докладов. М.: РААСН, НИИСФ,2003.

В.В.Покотилов, А.Д.Шалак. Испытания пассивного воздушного коллектора солнечной энергии // Энергетика.(Изв.Высш.Учеб.зав-ий).-1994,-№3-4,-с.85-92.

В.Ермашкевич, В.Покотилов, С.Макаревич, А.Осененко и др. Энергоактивные здания в условиях Беларуси // Архитектура и строительство. - Мн., 1995, - №1.-с.32-34.

Эрнст Т. Архитектурные принципы проектирования пассивных экодому. Примеры реализованных проектов пассивных и энергосберегающих домов в Украине и на постсоветском пространстве // Пятая международная конф. «Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь: современные технологии энергосбережения». – М.: Медиа группа «АРТ Престиж», 2013. – с. 56-63.

Ciepło w standardize: wymagania dla domow / Anna Wronska //Murator numer specjalny extra Dom Energooszczedny. – 2011. - №1. – s.6-9

Passive solar buildngs: unified facilities criteria / UFC 3-440-03N/ - USA, 2004/ - 201 p.

В.Турулов., Б.Хрустов. Рекомендации по теплотехническому расчёту наружных стен зданий с гелиовоздухонагревателями.-М.: ГИПРОНИИЗДРАВ, 1985.-37с.

Покотилов В.В., Рутковский М.А. Особенности проектирования гелиосистем индивидуальных жилых домов.// Материалы международной научно-технической конференции «Современные методы индустриального домостроения», 13-14 июня 2011г., Минск, «МАиСРБ, НИПТИС»

ТКП 45-4.02-74-2007 «Системы отопления и вентиляции усадебных жилых домов».

Хрусталёв Б.М., Покотилов В.В., Рутковский М.А. Гелиосистемы теплоснабжения в жилищном строительстве в условиях климата Беларуси // Строительство и реконструкция. ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», Орёл, 2014. №5(55). С. 111-117.

Покотилов В.В. Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения. Вена: фирма «Herz Armaturen», 2010. 176 с.

ТКП 45-4.02-183-2009(02250) Тепловые пункты. Правила проектирования. (~40%).

Покотиллов В.В., А.Г.Рутковский. Особенности проектирования систем отопления энергоактивных зданий. Материалы Второй Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогасоснабжения и вентиляции» 21-23 ноября, МГСУ, Москва: МГСУ, 2007. - с.44-49.

Покотиллов В.В. Системы водяного отопления. Вена: фирма «Herz Armaturen», 2011. 159 с.

Покотиллов В.В. Гелиосистемы теплоснабжения и горячего водоснабжения жилых зданий. Минск: ПРООН/ГЭФ, Департамент по энергоэффективности Госстандарта РБ, 2014. 30 с.

Г.Глинцерер, К.Фурман, В.В.Покотиллов, А.Г.Рутковский. Поквартирное отопление многоэтажных зданий с использованием шкафов управления// Сборник докладов международной конференции «Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь», 28 февраля 2013г., с.50-55

Г.Глинцерер, К.Фурман, В.В.Покотиллов, А.Г.Рутковский. Экономичные системы водяного отопления нового поколения.// Энергоэффективность, 2013, №4.