

Программа развития ООН в Республике Беларусь  
Глобальный экологический фонд  
Департамент по энергоэффективности Госстандарта  
Республики Беларусь



Дзинтарс Яунземс

# Проектирование, практика и принципы строительства энергоэффективных зданий



Полноправные люди.  
Устойчивые страны.

МИНСК, 2014



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

Представленные материалы отражают точку зрения автора, которая может не совпадать с официальной позицией Программы развития ООН, Глобального экологического фонда и Департамента по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь. Содержание публикации носит рекомендательный характер, не имеет юридической силы, не может быть основанием для принятия решений государственной значимости.

Ни для кого не секрет, что здания являются активными потребителями энергии. На долю строительной отрасли приходится более 40% потребления первичной энергии во всем мире. К тому же, количество жилых зданий будет и дальше увеличиваться, и, соответственно, в ближайшие десятилетия можно прогнозировать рост потребления энергии жилым сектором.

Длительный срок эксплуатации зданий (20 лет и более) обуславливает важность проектирования и строительства зданий с высокими энергетическими характеристиками (энергоэффективных) зданий. Помимо энергосбережения, необходимо также принять во внимание микроклимат в помещениях, качество воздуха и вопросы охраны здоровья. Использование экологически безвредных и натуральных строительных материалов становится не столько пожеланием, сколько обязательным требованием. При продвижении энергоэффективных зданий необходимо рассматривать не только потенциал энергосбережения, но и политические, финансовые и технические аспекты. Использование определенных подходов и технологий для достижения высоких энергетических характеристик зданий — во многом вопрос географической локации и других местных особенностей.

Процесс строительства здания — достаточно сложная и комплексная система. Она состоит из огромного количества взаимодействующих друг с другом подсистем, компонентов и элементов. Нарботанный предыдущий опыт и постоянные новые исследования в области физики зданий позволили сделать прорыв в повышении энергетической эффективности домов. В публикации представлены следующие аспекты проектирования и строительства энергоэффективных зданий:

- Оболочка здания: геометрия, тепловые свойства оболочки, тепловые мостики, окна и двери, герметичность.
- Инженерные системы: вентиляция, системы отопления и нагрева воды, автоматизация, элементы управления и диспетчеризация зданий.
- Микроклимат помещений: температурные условия, качество воздуха и адаптация к микроклимату.
- Сокращение потребления электрической энергии: электрические приборы и освещение.
- Возобновляемые источники энергии: использование энергии солнца, грунта и т.д.)

Подводя итог, необходимо отметить, что здания с высокими энергетическими характеристиками должны потреблять как можно меньше энергии и, при этом, обладать комфортным внутренним микроклиматом. Особое внимание необходимо уделить активному использованию возобновляемых источников энергии.

Важным условием успешного внедрения практики строительства зданий с высокими энергетическими характеристиками является широкое информирование общества (включая чиновников, специалистов строительной отрасли, проектировщиков, представителей ученых кругов, владельцев зданий и самих жителей), а также позиционирование наиболее успешных энергоэффективных проектов в жилом секторе.

## СОКРАЩЕНИЯ

<b>ВОЧ</b>	Воздухообменов в час
<b>ASHRAE</b>	Американское общество инженеров по отоплению холодильной технике и кондиционированию воздуха
<b>ЕКС</b>	Европейский комитет по стандартизации
<b>СО<sub>2</sub></b>	Двуокись углерода
<b>ГВБН</b>	Горячая вода для бытовых нужд
<b>СВИО</b>	Система внешней изоляции и отделки
<b>ДЭХЗ</b>	Директива по энергетическим характеристикам зданий
<b>ППС</b>	Пенополистирол
<b>ЕСВЭ</b>	Европейский совет по возобновляемой энергетике
<b>ЕС</b>	Европейский союз
<b>ОВКВ</b>	Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха
<b>ИО</b>	Изолированная опалубка
<b>МЭА</b>	Международное энергетическое агентство
<b>МОС</b>	Международная организация по стандартизации
<b>ПМВРТ</b>	Принудительная механическая вентиляция с утилизацией тепла
<b>ОЭСР</b>	Организация экономического сотрудничества и развития
<b>МОФ</b>	Материал с обратимыми фазами
<b>ppm</b>	Частей на миллион
<b>ФЭУ</b>	Фотоэлектрическое устройство
<b>СБ/СК</b>	Солнечная батарея и солнечный коллектор
<b>ВИЭ</b>	Возобновляемые источники энергии
<b>ВО</b>	Вакуумное остекление
<b>ВИП</b>	Вакуумные изоляционные панели
<b>ЭППС</b>	Экструдированный пенополистирол

# Содержание

СОКРАЩЕНИЯ	2
Предисловие	5
1. Основная информация о здании	8
1.1. Строительные технологии и физика	9
1.2. Теплопотери и снижение потребности в охлаждении	11
1.3. Геометрия	12
1.3.1. Форма здания	12
1.3.2. Масштаб здания	13
1.4. Тепловая оболочка здания и тепловые свойства	14
1.4.1. Тепловые свойства	14
1.4.2. Сверхмощные изоляционные материалы	17
1.5. Тепловые мостики	18
1.5.1. Холодный подвал - Внешняя структура	20
1.5.2. Холодный подвал - Внутренние опорные структуры	21
1.5.3. Теплый подвал	22
1.5.4. Терморазрыв для балконов и лоджий	23
1.5.5. Парапетные ограждения	25
1.6. Окна и двери	26
1.6.1. Теплопотери	26
1.6.2. Пропускание света и солнечного тепла:	26
1.6.3. Конструктивные компоненты каркаса	27
1.7. Затенение	29
1.8. Герметичность	31
1.8.1. Пример влияния герметичности на эффективность тепловой изоляции	32
2. Вентиляция	37
2.1. Принудительная механическая вентиляция с утилизацией тепла	41
2.1.1. Централизованная механическая вентиляция с утилизацией тепла	42
2.1.2. Децентрализованная механическая вентиляция с утилизацией тепла	43
2.2. Основные методы проектирования	44
2.3. Отопление с помощью системы вентиляции.	46
3. Отопление помещений	47
3.1. Система отопления помещений	47

3.1.1. Система распределения тепла	48
3.1.2. Нагревательные приборы	49
3.2. Расчеты тепловой нагрузки	53
3.2.1. Влияние поступающей сквозь оболочку здания солнечной энергии на требования к отоплению помещений	54
3.2.2. Упрощенный расчет тепловой нагрузки	55
3.2.3. Подробный расчет тепловой нагрузки	55
4. Автоматизация, элементы управления и диспетчеризация здания	58
4.1. Упреждающий контроль	58
5. Система горячего водоснабжения для бытовых нужд	59
5.1. Сокращение потерь	59
5.2. Предотвращение риска заражения легионеллой	60
5.3. Коррозия и осадки	60
6. Комфорт в помещении	65
7. Сниженное потребление электроэнергии	65
7.1. Электроприборы	66
7.2. Освещение	66
7.3. Бытовые электроприборы	66
8. Интеграция возобновляемых источников энергии	68
8.1. Солнечная энергия	68
8.1.1. Тепловая солнечная энергия	72
8.1.2. Солнечные фотоэлектрические панели	74
8.2. Комбинированные возобновляемые технологии	74
8.2.1. Солнечная тепловая энергия и биомасса	74
8.2.2. Солнечная термальная энергия и тепловой насос	75
8.3. Микро- и мини-ТЭЦ	79
9. Противопожарная защита	79
10. Выводы	80
10.1. Основные проектные решения для многоквартирных жилых домов	81
Ссылки	83

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Все больше международных обществ и ассоциаций (таких как МЭА, ЕСВЭ, Программа согласованных действий по реализации ДЭХЗ, МОС, ЕКС по стандартам ЕС, национальные научно-исследовательские организации и т.д.) представляют на рассмотрение и ведут переговоры по важным вопросам низкоуглеродистой экономики за счет снижения выбросов ПГ, которое достигается путем сокращения энергопотребления и максимально эффективного использования энергетических ресурсов. Проблемы глобального изменения климата требуют международного сотрудничества и применения стратегии «Мыслить глобально, действовать локально».

Во всем мире здания являются самыми активными потребителями энергии. На долю строительной отрасли приходится более 40% потребления первичной энергии. В международном масштабе потребление подведенной энергии в этом секторе за период с 1971 по 2010 год увеличилось вдвое, в первую очередь в связи с увеличением численности населения и экономическим ростом. Количество зданий и дальше будет увеличиваться, что еще больше повысит спрос на энергию во всем мире. Согласно прогнозам специалистов, к 2035 году общая потребность зданий в энергии вырастет еще на 30%.

*Обновление энергетических кодексов в строительстве для обеспечения нашего общего энергетического будущего. Международное энергетическое агентство, 2013 г.*

Несмотря на обширные возможности для сокращения энергопотребления зданиями, переход от традиционных зданий к зданиям с высокими энергетическими характеристиками все еще происходит медленно и неудовлетворительно. Учитывая рост затрат и спроса на энергию, широко распространены экономически эффективные возможности для повышения энергоэффективности зданий. Несмотря на успехи в политике строительства (политика повышения энергоэффективности зданий реализуется, по меньшей мере, в течение последних 30 лет); общий объем энергопотребления в секторе строительства продолжает расти.

Длительный срок эксплуатации зданий (20 лет и более) обуславливает важность проектирования и строительства зданий с высокими энергетическими характеристиками (энергоэффективных) зданий. Таким образом, политика должна уделять особое внимание вопросам строительства энергоэффективных зданий, поощрению спроса на здания с высокими энергетическими характеристиками и дальнейшего поощрения такого подхода для обеспечения высокого уровня энергосбережения. При этом могут потребоваться инновационные решения и комплексное проектирование, но эксплуатация здания должна оставаться простой.

**«Нововведения всегда становились врагом для тех, кто был успешен в старых условиях, и всегда находят ярых сторонников среди тех, кто может добиться успеха в новых условиях».**

*Никколо ди Бернардо Макиавелли (XV век)*

Большую часть своей жизни мы проводим внутри зданий, поэтому следует принимать во внимание не только объем энергосбережения, но и микроклимат в помещениях, качество воздуха и вопросы охраны здоровья. В настоящее время использование экологически безвредных и натуральных строительных материалов не столько пожелание, сколько обязательное требование. При продвижении энергоэффективных зданий рассматривается не только потенциал энергосбережения, но и политические, финансовые и технические аспекты.

«Дорожная карта к ресурсоэффективной Европе», принятая в 2011 году, показывает, что в промышленных странах на долю питания, транспорта и жилищного сектора обычно приходится 70-80% всего воздействия на окружающую среду. Согласно этому документу, существующую политику продвижения энергоэффективности и использования возобновляемой энергии в зданиях необходимо дополнить политикой повышения эффективности ресурсов, которая учитывает более широкий диапазон экологического воздействия за весь срок эксплуатации зданий. Кроме того, такая политика позволит повысить конкурентоспособность сектора строительства и получить ресурсоэффективный фонд зданий. Это означает, что «устойчивые здания» - это один из способов обеспечить устойчивое будущее.



Сегодня существует ряд концепций и подходов (включая их совокупности) в сфере энергоэффективности зданий, но при этом до сих пор нет согласованной стандартной терминологии или методики. В целом, большинство действий носит добровольный характер, что обеспечивает гибкость в их применении, поскольку это не установленные обязательные требования.

Какие конкретно подходы и технологии можно использовать, чтобы обеспечить высокие энергетические характеристики здания, главным образом зависит от географического положения. Например, хорошая тепловая изоляция быстрее окупается в Швеции, чем в Испании, но при этом использование солнечных нагревателей и солнечных батарей логичнее в южных странах.

Требования относительно экономии тепловой энергии в здании в значительной степени зависят от климатических условий (температура, ветер, солнечное освещение, солнечное излучение и т.д.), которые серьезно варьируют от страны к стране, и такими различиями нельзя пренебрегать. То есть, экономически эффективные решения для Италии не будут таковыми в Норвегии из-за климатических различий этих стран. На пути к энергоэффективным зданиям любые экономически эффективные решения (с правовой и технической точки зрения) должны учитывать местные условия.

**Вопрос: «Как построить здание с высокими энергетическими характеристиками и согласующееся с принципами устойчивости?» все еще остается открытым.**

## 1. Основная информация о здании

Здание - это искусственное сооружение с крышей и стенами, стоящее более или менее постоянно на одном месте [1].

Здания обслуживают различные потребности общества:

- Укрытие от непогоды;
- Безопасность;
- Жилое пространство;
- Личное пространство и;
- Комфортная жизнь и работа<sup>1</sup>.

В некоторых климатических условиях здания - единственно возможный для человека способ выжить. Это означает, что здания (объем, отделенный от окружающей среды) - один из основных приоритетов помимо воды и пищи.

Здания потребляют энергию, чтобы гарантировать людям благополучие и комфорт. Хотя комфортные условия для людей частично зависят от ряда контекстуальных, поведенческих и культурных факторов, сами здания и их оснащение определяют приемлемый уровень комфорта с точки зрения температуры в помещении, температуры излучения, влажности и скорости движения воздуха.

*ASHRAE, 2004 г.*

Каждое здание проходит 4 этапа:

1. Этап проектирования (идея, предпроектный этап, моделирование, технико-экономическое обоснование, планирование, оценка затрат, подбор строительных материалов и технологий, тендеры и т.д.);
2. Этап строительства (проверка качества, тестирование и др.);
3. Этап эксплуатации и технического обслуживания (мониторинг, управление энергопотреблением и эксплуатацией здания, оптимизация и др.);
4. Снос и утилизация и (или) этап переработки / повторного использования.

1

Источник: <http://en.wikipedia.org/wiki/Building>

На каждом этапе имеются собственные ограничения и возможности, например, снижение негативного воздействия на окружающую среду, более эффективное использование ресурсов, повышение качества и (или) повышение энергоэффективности. В то же время существуют социально-экономические аспекты, которые необходимо принять во внимание для разработки новой политики, норм и (или) стандартов строительства и перехода к строительству энергоэффективных зданий и экологически устойчивого строительства.

Благодаря накопленному опыту и различным научным исследованиям в настоящее время строительство новых зданий гораздо сложнее и невозможно без высокого профессионализма и высочайшего качества работ на всех этапах.

### **1.1. Строительные технологии и физика**

Строительство само по себе очень сложная система. Она состоит из огромного количества взаимодействующих друг с другом подсистем, компонентов и элементов. Приложены огромные усилия, чтобы получить знания и опыт строительства и характеристик зданий. Научно-исследовательские организации, а также производители строительных материалов постоянно работают над усовершенствованием технологий и материалов и внедрением инноваций.

Если говорить вкратце, для каждого здания должны соблюдаться пять принципов:

1. Снижение тепловпотерь (и (или) необходимости в охлаждении) с обеспечением при этом хорошего микроклимата в помещении (температура, качество воздуха, скорость воздухообмена и т.д.);
2. Снижение потребления электроэнергии (например, эффективные насосы, вентиляторы и другое электрическое оборудование, в том числе, освещение)
3. Максимальное использование энергии солнца (доля солнечной энергии, поступающей через окна) во время отопительного сезона, включая использование солнечного освещения для естественного освещения;
4. Контроль, мониторинг и демонстрация использования энергии, а также обеспечение так называемого управления энергообеспечением здания.

5. Обеспечение потребности в остальной энергии (тепло и электроэнергия) за счет возобновляемых источников энергии.



Рис. 1. Принцип здания с высокими энергетическими характеристиками[2].

Существует широко известная идея так называемой «энергетической триады», которая была предложена Делфтским университетом технологии:

1. Снижение потребности в энергии путем энергосбережения и предотвращения напрасной траты энергии.
2. Использование возобновляемых источников энергии для удовлетворения оставшейся потребности в энергии.
3. Если возобновляемые источники энергии недоступны, необходимо использовать лишь ископаемое топливо, но максимально эффективно и не загрязняя окружающую среду.

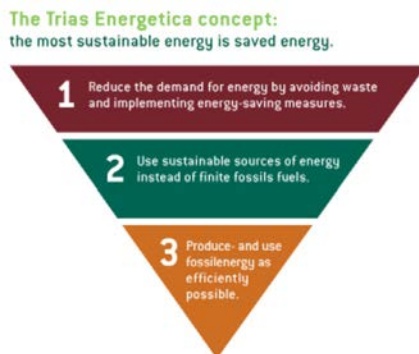


Рис. 2. Понятие «энергетической триады»: *Самая устойчивая энергия - это сэкономленная (или неиспользованная) энергия<sup>2</sup>*

2 Источник: <http://www.eurima.org/energy-efficiency-in-buildings/trias-energetica>

В следующих главах будет представлена более подробная информация о физических аспектах строительства.

## 1.2. Теплотери и снижение потребности в охлаждении

В целом, теплотери от здания зависят от разницы температур во внутренних помещениях и снаружи, а также от теплового сопротивления сооружения. Теплотери показывают, сколько энергии необходимо подвести к зданию, чтобы поддерживать внутри постоянную температуру, в то время как потребность в охлаждении характеризует объем энергии, который необходимо отвести от здания, чтобы сохранить желаемую температуру внутри здания.

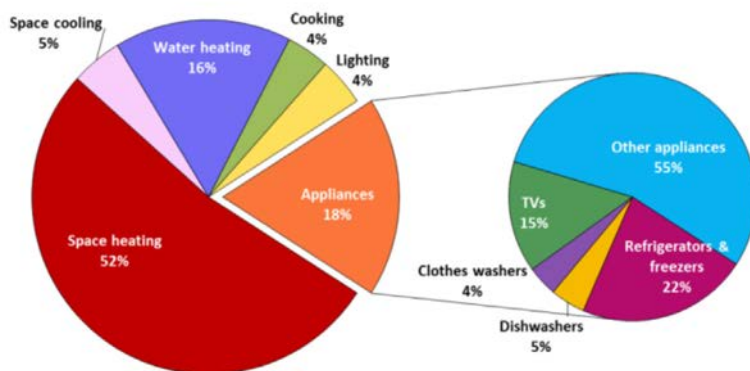


Рис. 3. Разбивка энергопотребления в жилищном секторе по данным ОЭСР (2011 г.) [3].

Space heating	Отопление	Refrigerators & freezers	Холодильники и морозильные камеры
Space cooling	Охлаждение помещений	Dishwashers	Посудомоечные машины
Water heating	Подогрев воды	Clothes washers	Стиральные машины
Cooking	Приготовление пищи	TVs	Телевизоры
Lighting	Освещение	Other appliances	Другие приборы
Appliances	Приборы		

Как видно из Рис. 1.1, в среднем, в жилищном секторе на долю отопления помещений (или компенсацию теплотери здания) прихо-

дится половина энергопотребления. Охлаждение помещений влияет на энергопотребление незначительно.

Существует ряд факторов, влияющих на характеристики здания и теплопотери и (или) потребность в охлаждении, и эти вопросы будут рассматриваться в следующих главах.

### 1.3. Геометрия

Геометрия здания характеризует не только высоту, ширину и длину здания, она включает также специфические индикаторы, например, *Форма здания и соотношение между площадью поверхности и объемом здания*. Чем компактнее здание, тем меньше площадь термической оболочки. Теплопотери связаны с площадью оболочки здания. Это означает, что при более низком значении соотношения теплопотери ниже.

#### 1.3.1. Форма здания

Форма характеризует, насколько здание компактно и эффективно с точки зрения его геометрии. Обычно используется два похожих параметра:

1. Соотношение между площадью оболочки здания  $A_e$  и площадью отапливаемых помещений  $A_{\text{тепл}}$
2. Соотношение между площадью оболочки здания  $A_e$  и объемом отапливаемых помещений  $V$ .

Простой пример формы здания показан на Рис. 4.


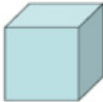
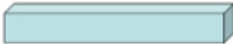
		$A_e / V$
	$A_e = 217 \text{ m}^2$ $V = 300 \text{ m}^3$	0,72
	$A_e = 270 \text{ m}^2$ $V = 300 \text{ m}^3$	0,9
	$A_e = 350 \text{ m}^2$ $V = 300 \text{ m}^3$	1,17

Рис. 4. Примеры других форм здания [2].

### 1.3.2. Масштаб здания

Масштаб здания - это еще один параметр, имеющий определенный эффект и последствия. Например, куб - это практическая форма здания с благоприятным соотношением площади поверхности оболочки к объему здания. Чем крупнее куб, тем меньше соотношение между площадью оболочки здания и его объемом.

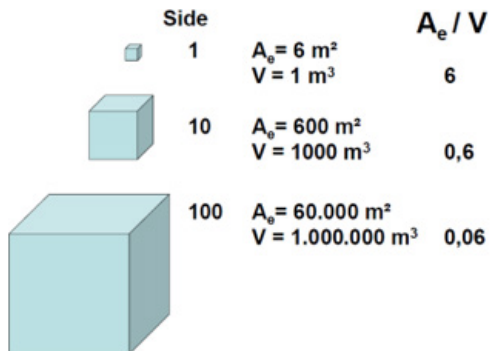
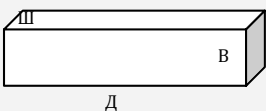
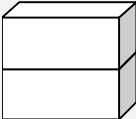


Рис. 5. Пример масштаба для куба [2].

Таблица 1

Сравнение неэффективной и эффективной геометрии здания

	Здание простой прямоугольной формы	Двухэтажное здание с той же площадью 150 кв.м
		
Габаритные размеры: Д x Ш x В	20 x 7,5 x 2,5	10 x 7,5 x 5
Объем $V$ , $\text{m}^3$	300	375
Площадь оболочки здания $A_e$ , $\text{m}^2$	437,5	325
Площадь пола $A$ , $\text{m}^2$	150	150
$A_e/A$	2,92	2,17
$A_e/V$	1,46	0,87

В заключение необходимо сказать, что масштаб здания влияет на компактность формы. Чем крупнее куб, тем компактнее форма. Однако очень крупные кубы (меньше масштаб здания и большая компактность формы) имеют такие недостатки как недостаток дневного освещения внутри здания и др., что не позволяет их применять на практике. В целом, многоэтажные здания обладают более правильной геометрией по сравнению, скажем, с домом ленточной застройки.

## 1.4. Тепловая оболочка здания и тепловые свойства

Оболочка здания отделяет внутренний климат здания от наружного и вместе с системой ОВКВ снижает колебания температур внутри помещения, даже при значительных изменениях наружных температур. Оболочка здания характеризуется рядом параметров.

### 1.4.1. Тепловые свойства

На практике для описания тепловых характеристик материала/стен и т.д. используются в основном два параметра.

1. **Теплопроводность** (часто обозначается буквой  $\lambda$ ) - это способность материала проводить тепло.<sup>3</sup>
2. **Коэффициент теплопроводности** определяет степень теплопотерь элемента здания, например, стены, пола или крыши. Чем ниже коэффициент теплопроводности, тем лучше изоляция. Он измеряется в ваттах на квадратный метр на градус Кельвина ( $\text{Вт}/\text{м}^2\text{K}$ ).<sup>4</sup>

Таблица 2

Общие тепловые свойства оболочки здания

Параметр	Единица измерения	Обычные значения
Теплопроводность	$\lambda$ , Вт/(м*К)	0,035-0,040 Вт/(мК)
Коэффициент теплопроводности	U, Вт/(м <sup>2</sup> *К)	0,1-0,2 Вт/(м <sup>2</sup> К)

3 Источник: [http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_conductivity](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conductivity)

4 [http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_conductivity#Transmittance](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conductivity#Transmittance)



Например, значение коэффициента теплопроводности ( $U$ ) = 0,1 Вт/м<sup>2</sup>К соответствует ~400..500 мм высококачественной изоляции. Таким образом, теплопроводность изоляционных материалов в жилых зданиях с очень низким уровнем потребления не должна превышать 0,05 Вт/(мК).

Таблица 3

Обзор теплоизоляционных материалов в зависимости от их теплопроводности [4].

Изоляционный продукт	Химический состав	$\lambda$ (Вт/м К)
Минеральная вата	Неорганические оксиды	0,034-0,045
Стекловата	Диоксид кремния	0,031-0,043
Пеностекло	Диоксид кремния	0,038-0,050
Пенополистирол (ППС)	Пенополимер	0,029-0,055
Экструдированный пенополистирол (ЭППС)	Пенополимер	0,029-0,048
Фенольно-резольный пенопласт	Пенополимер	0,021-0,025
Пенополиуретан	Пенополимер	0,020-0,029
Силикагель	Аэрогель на основе диоксида кремния	0,012-0,020
Органические аэрогели	Аэрогели, полученные из органических соединений	0,012-0,020
Вакуумные изоляционные панели (ВИП)	Основа из диоксида кремния под вакуумом в фольге	0,003-0,011
Вакуумное остекление (ВО)	Двойной вакуумный стеклопакет и вертикальные опоры	0,003-0,008

При использовании базовых строительных материалов без теплоизоляции невозможно обеспечить высокие тепловые свойства оболочки здания. То есть, без теплоизоляции невозможно построить здания с высокими характеристиками. На рынке строительных материалов представлены разные изоляционные материалы, а также решения относительно их использования в оболочке здания.

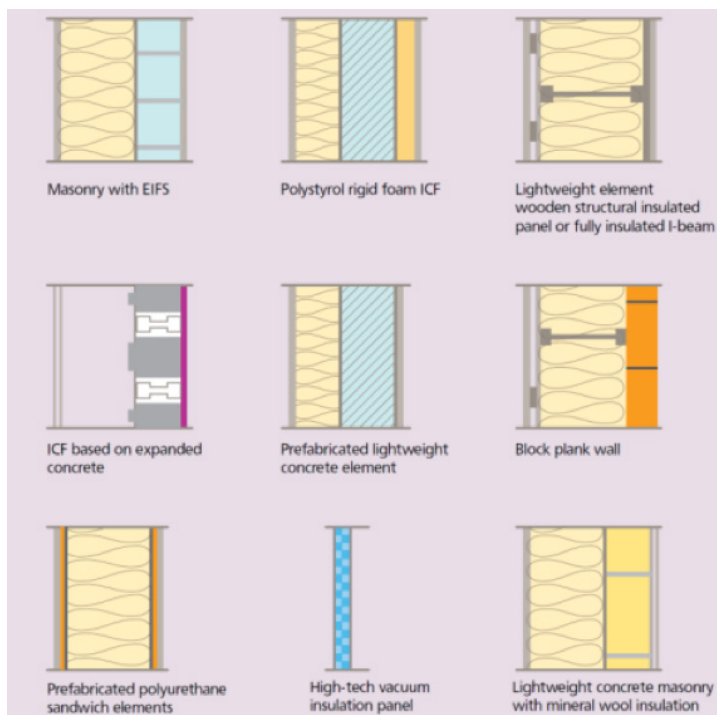


Рис. 6. Некоторые решения для изоляции оболочки здания: стен и фасадов [5].  
(СВИО - Система внешней изоляции и отделки; ИО - Изолированная опалубка)

Кирпичная кладка с СВИО	Твердый полистирол ИО	Легкий элемент Деревянный несущий изолированный элемент или полностью изолированная двутавровая балка
ИО на основе газобетона	Готовый элемент из легкого бетона	Стена из блоков и обшивных досок
Полиуретановые сэндвич-панели заводского изготовления	Высокотехнологичная панель с вакуумной изоляцией	Кладка из легкого бетона с изоляцией из минеральной ваты

На рис. 6 показан ряд стеновых конструкций, которые способны достичь значения коэффициента теплопроводности  $\leq 0,15 \text{ Вт/м}^2\text{К}$  при наращивании менее 450 мм.

Научно и практически подтверждено, что отсутствие изоляции или плохая изоляция оболочки здания снижают температуру в помещении и повышают уровень влажности, зачастую настолько серьезно, что может наблюдаться рост плесени. А также ухудшается комфорт в помещении (см. Главу 6. Комфорт в помещении).

Хорошая внешняя изоляция может предотвратить повышение влажности и рост плесени.

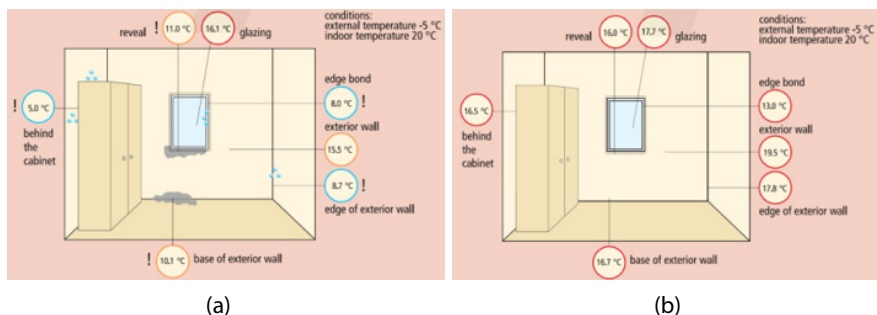


Рис. 7. Сравнение плохой и хорошей изоляции оболочки здания [5]:

(а) Плохо изолированная оболочка здания.

(б) Хорошо изолированная оболочка здания.

Behind the cabinet	За шкафом
Reveal	Откос проема
Glazing	Остекление
Conditions: External temperature -5°C Indoor temperature 20°C	Условия: Наружная температура -5°C Температура в помещении 20°C
Edge bond	Ребро кладки
Exterior wall	Внешняя стена
Edge of exterior wall	Край внешней стены
Base of exterior wall	Нижняя часть внешней стены

#### 1.4.2. Сверхмощные изоляционные материалы

Аэрогель - это разновидность синтетического пористого материала, в котором жидкий компонент заменен газообразным. Аэрогель обладает особенными акустическими свойствами и значительно более низкой теплопроводностью (~0,013 Вт/мК) по сравнению с другими имеющимися на рынке изоляционными материалами. Он также об-

ладает повышенными физическими и химическими свойствами, например, он пропускает свет. Поэтому этот материал считается одним из самых перспективных теплоизоляционных материалов для применения в строительстве. Параллельно с применением в жилищном и промышленном строительстве, аэрогель широко используется в таких сферах применения как космические летательные аппараты, небоскребы, автомобили, электронные устройства, одежда и т.д. Хотя стоимость аэрогеля все еще остается высокой по сравнению с традиционными изоляционными материалами, прилагаются серьезные усилия для снижения затрат на его производство и, следовательно, его более широкого применения по всему миру [4].

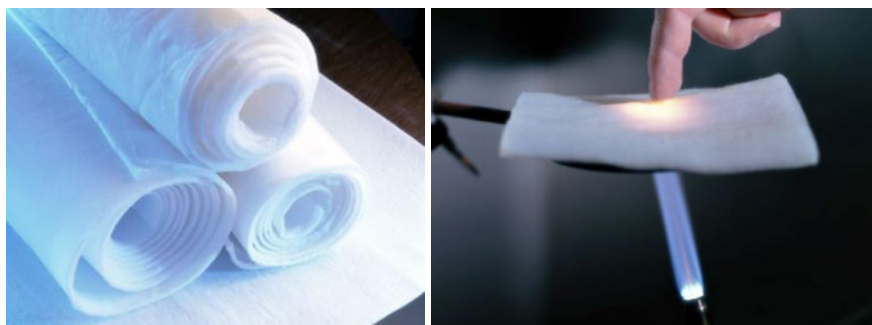


Рис. 8. Ультратонкая сверхмощная изоляция с аэрогелем.<sup>5</sup>

## 1.5. Тепловые мостики

Интерес к тепловым мостикам возник не так давно, и до недавнего времени этому вопросу не уделялось достаточно внимания по той причине, что при устранении таких мостиков обеспечивается сравнительно небольшая экономия энергии. Однако, учитывая ужесточение строительных кодексов и более высокие стандарты к оболочке здания, избегание тепловых мостиков становится все важнее с точки зрения общих характеристик здания.

По определению тепловые мостики - это геометрические соединения и связи между элементами, которые обычно создают теплопроводящий обходной путь, где возможны теплопотери, и которых поэтому следует по возможности избегать. Оболочка здания должна быть по возможности непрерывной и монолитной (без пропусков).

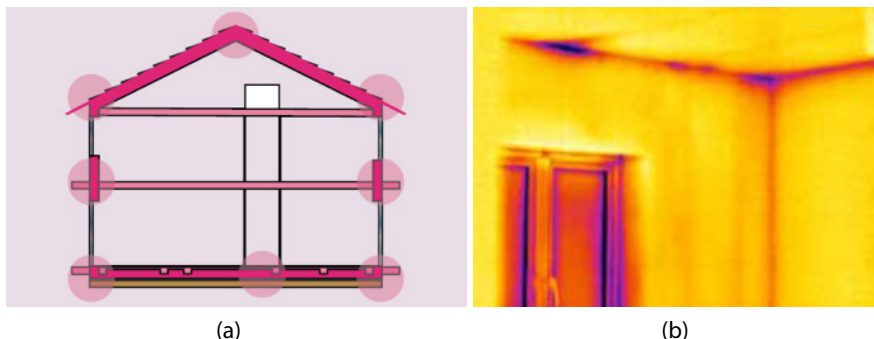


Рис. 9. Тепловые мостики:

(a) Некоторые места общего пользования, где могут образовываться мостики холода.

(b) Термография мостиков холода на стыке стен и крыши и вокруг окон [6].

#### Тепловые мостики:

- Повышение теплопотерь (до 15-20 кВтч/м<sup>2</sup> год);
- Более низкие температуры в помещении (до 12°C и ниже) и, как следствие, повышенная возможность образования плесени [7].
- Снижение комфорта в помещении и ухудшение микроклимата.

В многоквартирных домах по сравнению с домами усадебного типа имеются элементы конструкции, вызывающие большую озабоченность, например, подвалы (используемые как парковки или как место хранения и т.д.), парапетные стены, чердак и т.д.

При решении вопроса об изоляции подвалов есть два варианта на выбор:

1. Устройство тепловой перегородки на потолке подвала (то есть устройство холодного подвала, который вполне можно использовать для, скажем, парковки автомобилей).
2. Включение подвала в тепловую оболочку здания и внешняя изоляция этого подвала (например, устройство «теплого подвала», который используется в качестве обитаемого или используемого пространства, где необходимо поддерживать нормальную температуру в помещениях) [8].

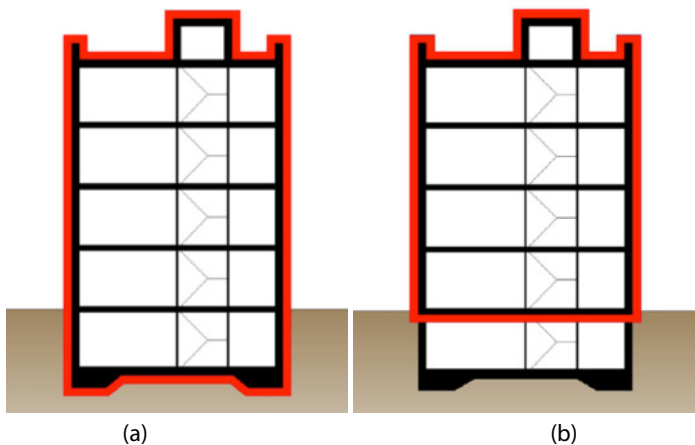


Рис. 10. Определение:

- (a) тепловая оболочка с теплым подвалом;  
 (b) тепловая оболочка здания с холодным неотапливаемым подвалом [8].

### 1.5.1. Холодный подвал - Внешняя структура

В случае холодного подвала во внешней тепловой оболочке требуется терморазрыв, который перекрывает слой изоляции, которая подходит под нижнюю часть потолка подвала. Такой терморазрыв можно устроить с помощью ряда средств, но чаще всего для этих целей используется непрерывный слой изоляционных блоков, пример см. на Рис. 11 [8].



Рис. 11. Гибридный терморазрыв, использованный в кирпичном многоквартирном доме [8].

Следует рассматривать не только изолирующие свойства этих материалов, но также и их несущую способность, которая обычно должна быть высокой в проектах, где предполагается возведение нескольких этажей. В таблице ниже отмечается, что при снижении

вертикальной теплопроводности снижается эффект теплового мостика. Однако параллельно с этим снижается несущая способность. Другими словами, оптимальные по термическим свойствам материалы не всегда лучше с точки зрения целостности конструкции. В некоторых случаях проектировщики применяют гибридное решение, когда высокоэффективный терморазрыв создается (например, с помощью пеностекла) за счет чередования изолирующего материала и структурных опор в виде железобетонных деталей, как показано на Рис. 12. [8].

### 1.5.2. Холодный подвал - Внутренние опорные структуры

Помимо описанных выше характеристик (внешней) тепловой оболочки, обычно будут еще и внутренние элементы, проходящие сквозь потолок подвала, несущий всю конструкцию. Такую опору могут обеспечить стены или колонны, а выбор между ними может оказать серьезное влияние на тепловые мостики, как показано на Рис. 13.

Институт пассивного дома (Passivhaus Institut) представляет следующие сценарии в отношении терморазрывов, создаваемых опорами моста:

- Стена из армированного бетона в подвале, проникающая сквозь тепловую оболочку без терморазрыва, приведет к теплопотерям на 90% выше по сравнению с ненарушенным потолком подвала.
- Замена указанной выше непрерывной стены упрочненными колоннами с интервалом 6 м между колоннами снизит потери тепла до значения, которое будет на 17% превышать значение для ненарушенного потолка при содержании стали 1 – 2%, и на 28% - при содержании стали 9%. Это значительно улучшит характеристики по сравнению с описанной выше непрерывной стеной.
- Если вся колонна будет изолирована до уровня земли, теплопотери сократятся еще на 13%. Это самый эффективный метод сокращения влияния мостиков холода в случае холодных подвалов.
- Стены в подвале, не являющиеся конструктивными элементами, должны термически отделяться от потолка материалами с низкой теплопроводностью, такими как представлены в Таблице 4 и Таблице 5 [8].

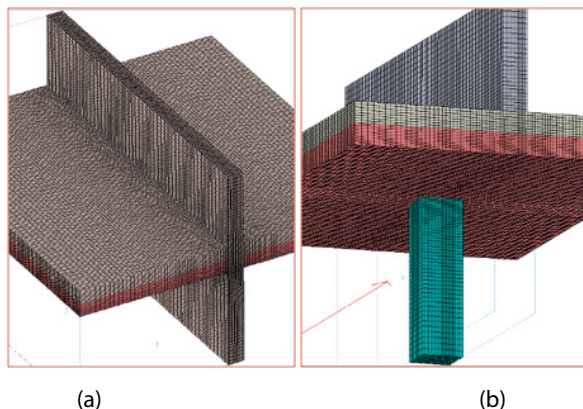


Рис. 12. (a) Укрепленные кирпичные стены, проходящие сквозь потолок холодного подвала, приведут к образованию множества мостиков холода.  
 (b) Замена стены колоннами позволит сократить теплопотери из-за образования тепловых мостиков [8].

### 1.5.3. Теплый подвал

Как показано выше, основная проблема с устройством теплого подвала - полностью изолировать снаружи стены подвала, фундамент и плиту перекрытия. В такой ситуации нет необходимости устраивать терморазрыв для внутренних опорных конструкций, таких как колонны.

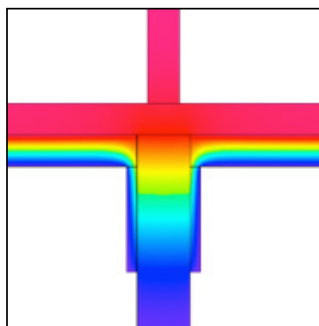


Рис. 13. Оптимальное решение с точки зрения тепловых характеристик с, по меньшей мере, частично изолированными колоннами [8].

Рис. 13. Оптимальное решение с точки зрения тепловых характеристик с, по меньшей мере, частично изолированными колоннами [8]. Целесообразность изоляции под зданием будет зависеть от проектного решения фундамента (или это ленточный фундамент, или несущая плита на уровне грунта), весовой нагрузки на почву и чувствительности здания к оседанию грунта.



Таблица 4

Теплопроводность и максимально допустимое давление некоторых изоляционных материалов [8].

Материал	Теплопроводность	Макс. допустимое давление (кН/м <sup>2</sup> )
(Вт/мК)	0,042	250
Дробленое пеностекло	0,14	180
Пеностекло	0,05	380

Как указывалось в материалах Института пассивного дома (Passivhaus Institut), согласно немецким нормам любой изоляционный материал, применяемый под несущими конструкциями, должен выдерживать длительное давление (общая деформация изоляционного материала  $\leq 2\%$  после 50 лет службы). Некоторые примеры материалов, используемых в таких целях, представлены в Табл. 4.

#### 1.5.4. Терморазрыв для балконов и лоджий

Встроенные конструктивные терморазрывы для балконов поддерживают температуру в помещении на более высоком уровне, что позволяет избежать конденсации и образования плесени.

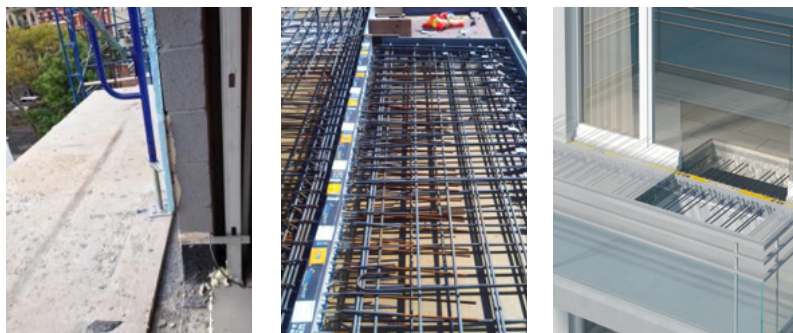


Рис. 14. Встроенные конструктивные терморазрывы из пенополистирола (ППС) высокого давления с добавлением графита и со стержнями из нержавеющей стали [9].

Обычный встроенный конструктивный терморазрыв заменяет бетон между внешним балконом и внутренней плитой с изоляционным материалом, например, пенополистиролом (ППС) высокого давления с добавлением графита; армирующие стержни из нержавеющей стали (а не угольные в целях пожарной безопасности) про-

ходят сквозь пенный материал. Такой композитный материал объединяет в себе прочность бетона, тепловые свойства вспененного материала и полистирола, а также удобство серийной технологии консольных балконов [9].

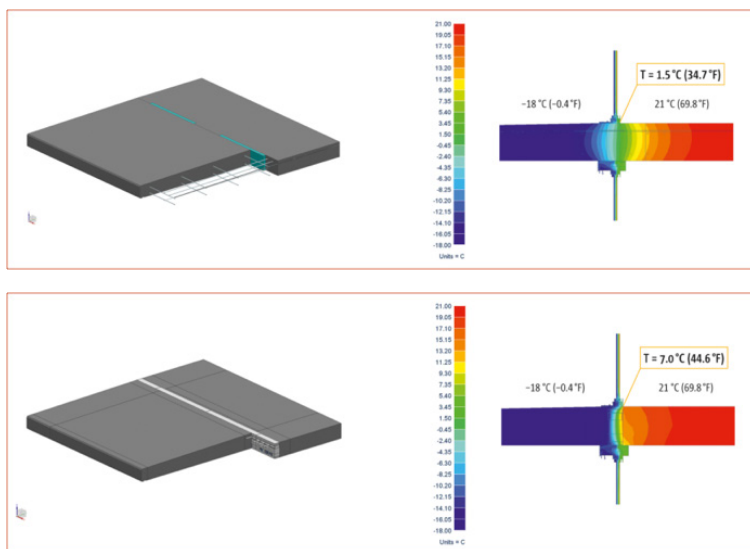


Рис. 15. Балконные блоки с терморазрывами и без терморазрывов [9].

На Рис. 16. показано, как устанавливаются и работают терморазрывы на практике, а полученные результаты ИК-съемки после модернизации показывают, что тепло остается внутри здания.

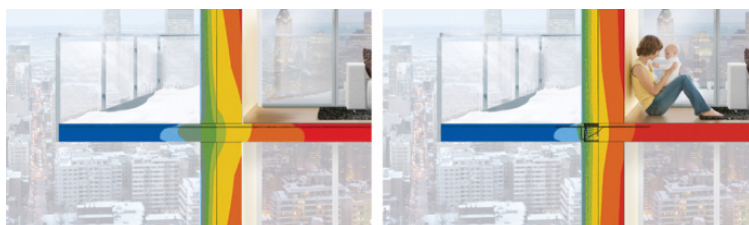


Рис. 16. Тепловое изображение балкона без терморазрыва и с ним [9].

При наличии встроенных конструктивных терморазрывов на балконе поддерживается комфорт для жильцов и можно реализовать энергоэффективные решения (Рис. 14-16). Спрос на терморазрывы для балконов со встроенными решениями пользуются высоким спросом.

Таблица 5  
Свойства материалов терморазрыва [8].

Материал терморазрыва	Теплопроводность (Вт/мК)		Несущая способность (кН/м <sup>2</sup> )	Ориентировочное значение, $\Psi$ (Вт/мК)
	Горизонтальная	Вертикальная		
Легкий бетон	0,088	0,286	2400	0,192
Известковый песчаник	0,33	0,33	1900	0,218
Пористый бетон	0,21	0,21	1500	0,144
Легкий бетон	0,083	0,189	1200	0,129
Пористый бетон	0,13	0,13	1000	0,086
Кирпичи	0,09	0,139	900	0,093
Пеностекло	0,055	0,058	600	0,026
Пористый бетон	0,09	0,09	400	0,053

Обратите внимание, что приведенные выше значения для тепловых мостиков ( $\Psi$ ) являются ориентировочными и их нельзя использовать при проектировании. Кроме того, они относятся к внешним стыкам, что является нормой для расчета теплотерь для проектов пассивных домов. Расчет тепловых мостиков - это неотъемлемая часть проектирования пассивного дома [8].

### 1.5.5. Парапетные ограждения

Подход к парапетным ограждениям напоминает подход к стенам холодного подвала, где существует два варианта: или устройство терморазрыва между наружной «холодной» и внутренней частью парапетного ограждения, или полная изоляция наружного парапетного ограждения, как показано на рисунке ниже.

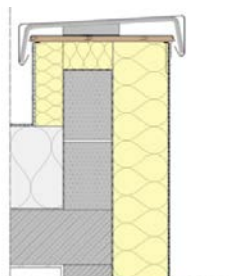


Рис. 17. Парапетные ограждения проектируют таким образом, чтобы избежать образования мостиков холода, в данном случае внешняя изоляция [8].

## 1.6. ОКНА И ДВЕРИ

Окна и двери выполняют ту же функцию, что и стены и крыша: они отделяют внутреннюю среду помещения от наружной. Несмотря на активные научные изыскания, окна до сих пор имеют самые худшие тепловые характеристики по сравнению с другими внешними компонентами здания.

### 1.6.1. Теплопотери

Окна играют важную роль с точки зрения теплопотерь и дневного освещения. На этапе проектирования необходимо найти равновесие между поступлением и потерей тепла, а также вопросами дневного освещения. Теплопотери через окна следует свести к минимуму путем оптимизации размера и ориентации, остекления и рамы окон (и дверей).

### 1.6.2. Пропускание света и солнечного тепла:

При планировании размещения окон и дверей необходимо учитывать пропускание света и тепла. Пропускание тепла - это доля падающей солнечной энергии в видимом диапазоне сквозь, например, оконное стекло. При проектировании здания с очень низким энергопотреблением необходимо оптимизировать остекление в сторону низкого коэффициента теплопропускания и высокого пропускания солнечного света [2,10].

Таблица 7

Рекомендованные тепловые свойства окон и дверей [8].

Элемент	Параметры
Окна	Коэффициент теплопроводности < 0,8..0,9 Вт/м <sup>2</sup> К
Стандарт для пассивного дома: U<0,8 Вт/м <sup>2</sup> К	
Тройное остекление окна	U <sub>о</sub> (коэффициент теплопроводности остекления) ≤ 0,8 Вт/(м <sup>2</sup> К)
U <sub>р</sub> (коэффициент теплопроводности рамы) ≤ 0,8 Вт/(м <sup>2</sup> К)	
Коэффициент теплопотери теплового мостика на прослойке остекления	Ψпрослойка ≤ 0,04 Вт/(мК)

Элемент	Параметры
Коэффициент теплопотери теплового мостика инженерной системы	Ψинженерная система ≤ 0,04 Вт/(мК)
Остекление	g-фактор (пропускание солнечной радиации) > 0,4 (40 %) ... 0,55 (55%)
пропускание солнечного света > 0,5 (50 %)	
Двери	Коэффициент теплопроводности > 1..1,2 Вт/м <sup>2</sup> К.

На рынке представлены энергоэффективные окна (коэффициент теплопроводности (U) < 0,8 Вт/м<sup>2</sup>К). Энергоэффективные окна помогают обеспечить низкие теплопотери и тепловой комфорт даже при отсутствии радиаторов отопления под окнами в жилых домах с низким потреблением энергии.

Имеются окна с тройным остеклением с коэффициентом теплопроводности (U) 0,7 Вт/м<sup>2</sup>К, g-фактор равен 0,50, а пропускание дневного света составляет 0,71. В жилых домах с низким потреблением энергии редко используются окна с четверным остеклением. Обычно в жилых домах с низким потреблением энергии используются окна с тройным остеклением. На рынке представлены окна с четверным остеклением с коэффициентом теплопроводности (U) 0,6 Вт/м<sup>2</sup>К, g-фактор равен 0,45, а пропускание дневного света составляет 0,59 [2,10].

### 1.6.3. Конструктивные компоненты каркаса

Эти компоненты призваны снизить образование тепловых мостиков в оболочке здания, и их необходимо использовать для получения общего низкого коэффициента теплопроводности. Конструктивные компоненты каркаса, снижающие образование тепловых мостиков, это, например, двутавровые балки из мазонита и дерева. Другое решение, часто используемое в жилых домах с низким энергопотреблением, это многослойные конструкции [2,10].

Установка окон в слой изоляции снижает образование мостиков холода, а наложение изоляционного материала на часть рамы сокращает теплопотери. Установка профилей в сплошных стенах и стенах с деревянным каркасом:

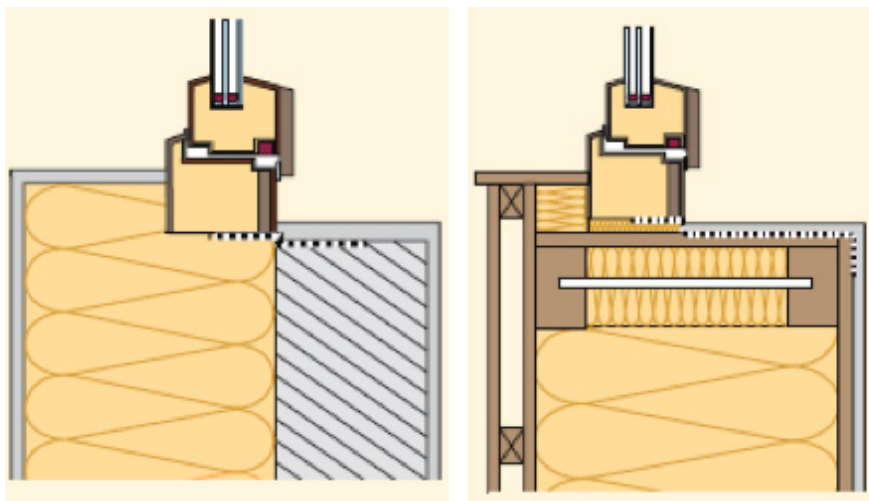
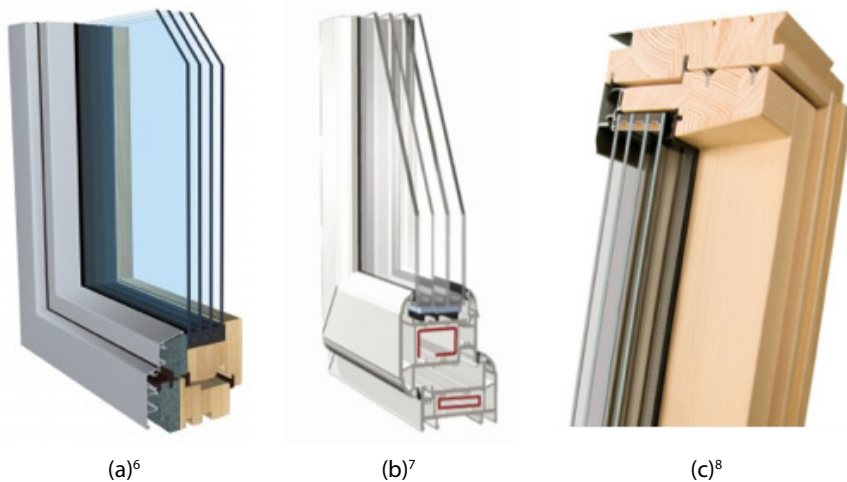


Рис. 18. Несколько примеров окон, установленных в слой изоляции [5].

На рис. 19 приведены примеры представленных на рынке окон с высокими характеристиками.



(a)<sup>6</sup>

(b)<sup>7</sup>

(c)<sup>8</sup>

Рис. 19. Пример окон с четверным остеклением

6 Источник: <http://www.zolawindows.com/passive-house-windows/>

7 Источник: <http://www.building.co.uk/quadruple-glazing-fancy-a-fourth-layer?/5027599.article>

8 Источник: <http://www.ecobuildproductsearch.co.uk/fakro-quadrupleglazed-roof-window-offers-lowest-news017010.htm>

Окна существенно повышают комфорт в помещении за счет поддержания средней температуры в помещении выше 17°C, даже при самых низких температурах наружного воздуха. Несомненно, это также предотвращает образование конденсата и рост плесени [5].

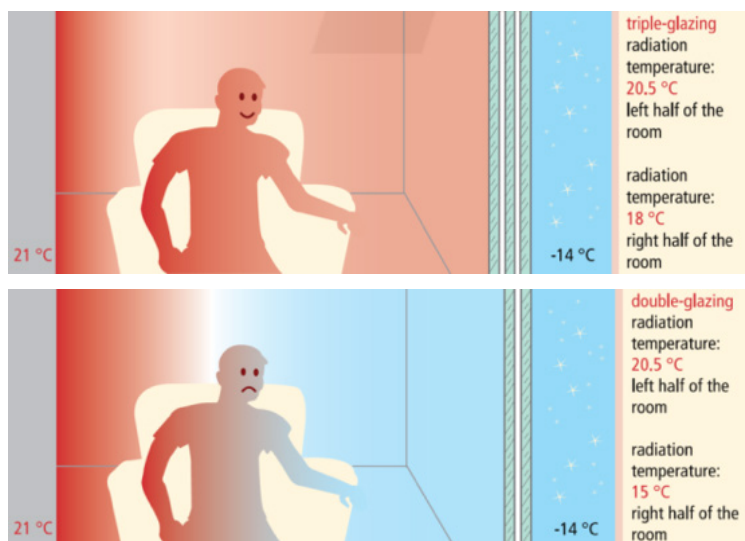


Рис. 20. Сравнение окон с тройным и двойным остеклением [5].

Triple glazing	Тройное остекление
Radiation temperature	Температура излучения
Left half of the room	Левая часть комнаты
Right half of the room	Правая часть комнаты
Double glazing	Двойное остекление

## 1.7. ЗАТЕНЕНИЕ

Солнечная радиация оказывает двойственное влияние на здание: с одной стороны, благодаря солнечному свету можно сократить потребление тепла в отопительный сезон и снизить расход электроэнергии на освещение, с другой стороны, солнечный свет может вызвать перегрев (повышается потребность в охлаждении) в летний период. Таким образом, очень важно найти оптимальное соотношение между непрозрачными и прозрачными деталями конструкции, используя следующие решения:

- Солнцезащитное стекло
- Внешнее и (или) внутреннее затенение
- Межстекольное затенение от солнца

Наиболее эффективный способ избежать некомфортно высоких температур в помещении и использования энергоемкого механического охлаждения в жилых зданиях - предотвратить попадание в здание излишней солнечной энергии за счет солнечного затенения. Солнечное затенение может быть либо фиксированным, например, навесы крыши, либо выдвижным приспособлением вместе с окном, например, наружные подъемные жалюзи. Еще один вариант - использовать солнцезащитные окна. Преимущество выдвижных приспособлений состоит в том, что солнечное затенение можно автоматически и (или) вручную скорректировать в зависимости от потребности. Недостаток фиксированного солнечного затенения состоит в том, что оно постоянно снижает поступление дневного света и солнечной энергии, даже тогда, когда это может быть выгодно для здания, например, чтобы сократить потребность в отоплении. В целом, внешние приспособления для затенения более эффективны, чем внутренние, если требуется ограничить поступление солнечного света внутрь здания. Солнечная защита между оконными стеклами также может быть весьма эффективной [2,10].

Внешнее затенение можно обеспечить за счет применения солнцезащитных козырьков<sup>9</sup> или выдвижных жалюзи. В первом случае имеется преимущество - отсутствие движущихся частей (соответственно, меньше необходимость в обслуживании), но козырьки не настолько эффективны, как жалюзи, в особенности для предохранения от попадания света от низкого солнца, в особенности с запада и востока. Кроме того, при оптимальном проектировании они будут отличаться по глубине для разного направления (например, не устанавливаются на северной стороне и устанавливаются глубоко на западе и востоке). Такие колебания архитекторы могут воспринимать как отклонение от общей эстетики здания.

---

9 В архитектуре относится к ряду постоянных конструкций для затенения от солнца, отходящих от простых фактурных бетонных стен



## 1.8. ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

Герметичность - это основная характеристика здания, влияющая на инфильтрацию (неконтролируемое проникновение наружного воздуха внутрь помещения через трещины, зазоры и другие непреднамеренные отверстия здания вследствие давления воздуха и (или) эффекта тяги) [11].

Герметичность оболочки здания, в особенности на стыках между разными элементами конструкции (окна, двери) крайне важна с точки зрения энергопотребления, конвекции влаги и конденсации. Следует избегать неконтролируемой инфильтрации / эксфильтрации сквозь оболочку здания. Такая утечка воздуха усиливается, если на улице ветрено или холодно (повышается эффект тяги). Весь воздухообмен в здании с очень низким уровнем энергопотребления происходит через систему рекуперации тепла. Крайне важна высокая эффективность системы рекуперации вентилируемого воздуха, поскольку для этого требуется высокая герметичность оболочки здания (и вентиляционных воздуховодов) [2,10].

Слой изоляции эффективен настолько, насколько он герметичен. Если воздух движется вокруг теплоизоляции, изоляционный слой не имеет смысла. Герметичность изоляции обеспечивается грамотным проектированием и строительными работами, в том числе, это применение герметичной гидроизоляции или барьера внутри каждого элемента здания.

Для достижения указанных тепловых характеристик изоляционного материала и обучения работников крайне важно соблюдать технические указания или инструкции производителя.

В целом, используется два подхода к заданию и проверке уровня герметичности:

1.  $n_{50}$  - это мера скорости воздухообменов с точки зрения объема воздуха, проходящего за час при давлении 50 Па (средняя скорость утечки воздуха), деленная на внутренний объем помещения здания ((объем в час) / объем) и выраженный следующим образом:  $n_{50} = X, X \text{ h}^{-1}$ . Такой подход требуется по стандарту пассивного дома.
2.  $q_{50}$  - это мера объема воздуха, проходящего через внешнюю оболочку в час при давлении 50 Па. Это мера проницаемости и

выражается следующим образом:  $q_{50} = X, X \text{ м}^3/\text{ч}/\text{м}^2$ , где  $\text{м}^2$  - это параметр оболочки с учетом внутренних габаритных размеров, включая общую площадь. Такой подход применяется в некоторых странах Евросоюза, например, в Ирландии [8].

Величины  $n_{50}$  и  $q_{50}$  можно сравнить в целом. Для большинства крупных зданий соотношение площади и объема ( $A/V$ ) составляет примерно 0,5, в то время как для малых зданий это соотношение обычно порядка 1,0. Таким образом, значение  $n_{50}$  равное 0,6 воздухообменов в час равняется воздухопроницаемости  $q_{50} = 1,2$  для крупных зданий (0,6/0,5) и воздухопроницаемости в размере 0,6 для малых зданий (0,6/1). Если здание очень компактное (как рекомендуется для пассивных домов), соотношение площади и объема может быть даже ниже, чем говорилось выше, например, 0,3. В таком случае значение  $n_{50}$ , равное 0,6 воздухообменов в час будет приблизительно равно воздухопроницаемости  $2 \text{ м}^3/\text{ч}/\text{м}^2$  (0,6/0,3). Эти примеры приведены исключительно в качестве иллюстрации, и их нельзя использовать в качестве основы для безусловного сравнения значений  $n_{50}$  и  $q_{50}$ .

### 1.8.1. Пример влияния герметичности на эффективность тепловой изоляции

Институт строительной физики Штутгарта провел измерения для оценки влияния герметичности на эффективность теплоизоляции. Тепловые характеристики теплоизоляции толщиной 14 см с бесшовной пароизоляцией измеренное значение коэффициента теплопроводности составляет  $0,30 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ . Затем характеристики тепловой изоляции измерялись при наличии щелей различной величины в пароизоляции, при различных перепадах давления. Даже при малейшей ширине щели 1 мм эффективность изоляции сокращается в 4,8 раза (см. Рис. 21.). Это означает, что теплопроводность изолирующего слоя толщиной 14 см с небольшой утечкой уже не  $0,30 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , но лишь  $1,44 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ . Следовательно, утечки на уровне герметичности например, в пароизоляции приводят к снижению эффективности теплоизоляции.

Снижение тепловых характеристик - лишь одно из последствий неудовлетворительной герметичности. Еще один важный аспект - влага и проникновение влаги. Проникновение влаги сквозь места течей также частично связано с негерметичностью оболочки здания.

Проникновение влаги внутрь здания через малейшую щель шириной 1 мм посредством конвекции (потока воздуха) может достигать 800 г влаги на /м<sup>2</sup> в день. Это объясняет многие случаи повреждения зданий.

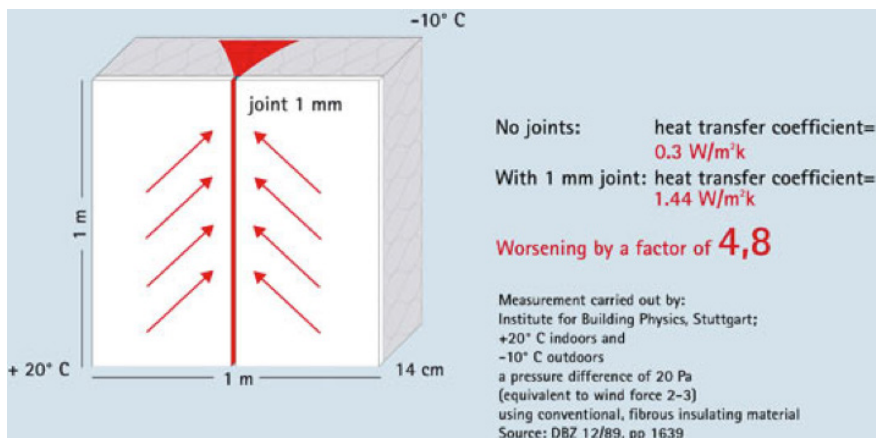


Рис. 21. Результаты измерений по оценке влияния герметичности на эффективность тепловой изоляции<sup>10</sup>.

Стык 1 мм	<p>Без стыков: коэффициент теплопередачи = 0,3 Вт/м<sup>2</sup>К</p> <p>Со стыком 1 мм: коэффициент теплопередачи = 1,44 Вт/м<sup>2</sup>К</p> <p><b>Значение хуже в 4,8 раз</b></p> <p>Измерения проводились: Институтом строительной физики г. Штутгарта: +20°С внутри - 10°С снаружи</p> <p>Разница давлений 20 Па (равно силе ветра 2-3)</p> <p>Использование традиционного волокнистого изоляционного материала</p> <p>Источник: DBCZ 12/89, pp 1639</p>
-----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Это четко демонстрирует тот факт, что при установке изоляции в здании мы также должны рассматривать в качестве приоритета герметичность внешней оболочки.

То есть решающую роль играет пароизоляция, не только с точки зрения тепловой изоляции, но и в смысле борьбы с влажностью. Невозможно полностью исключить потенциальное поступление

влаги в компоненты здания за весь срок его эксплуатации. Привлекательный подход к проектированию зданий - предусмотреть такие решения, чтобы в случае непредвиденного поступления влаги она высыхала максимально быстро.

«Умная» пленочная гидроизоляция полностью воздухопроницаема и может менять свои пароизоляционные свойства / проницаемость в зависимости от направления потока тепла и средней относительной влажности по обеим сторонам от пленки. Это позволяет пару проходить сквозь пленку при высокой влажности внутри элементов конструкции в связи с сезонными изменениями либо в связи с неожиданным проникновением влаги. Если средняя влажность низкая (условия зимы), пленочная гидроизоляция не позволяет пару поступать в элементы здания, что предотвращает внутриповорую конденсацию. Если средняя влажность возле пленочной гидроизоляции высока (условия лета), паропроницаемость пленки значительно повышается (см. Рис. 22 ниже). Это позволяет при необходимости высушить влажные элементы за летние месяцы и снижает накопление влаги внутри здания по сезонам. Традиционная пароизоляция с такой работой не справляется. Поэтому такая гидроизоляционная пленка характеризуется как «умная».

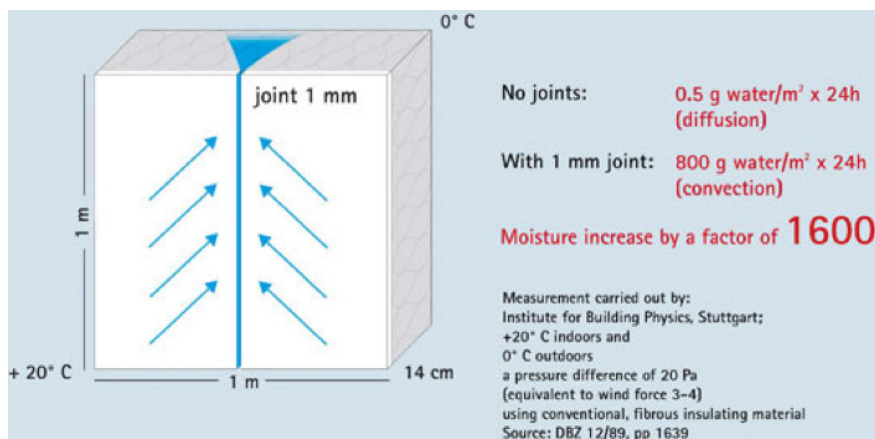


Рис. 22. Результаты измерений по оценке влияния влаги на эффективность тепловой изоляции <sup>11</sup>.

Стык 1 мм	Без стыков: 0,5 г воды/м <sup>2</sup> x 24 ч (диффузия) Со стыком 1 мм: 800 г воды/м <sup>2</sup> x 24 ч (конвекция) <b>Повышение содержания влаги в 1600 раз</b> Измерения проводились: Институтом строительной физики г. Штутгарта: +20°С внутри 0°С снаружи Разница давлений 20 Па (равно силе ветра 3-4) Использование традиционного волокнистого изоляционного материала Источник: DBCZ 12/89, pp 1639
-----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

В зависимости от используемого типа конструкции герметичное препятствие можно образовать либо с помощью слоя цементной штукатурки (кирпичная кладка), пароизолирующей пленки или с помощью плит OSB-3 или других изделий из древесины с подходящей толщиной и герметичностью. В местах разрыва этого слоя - например, окном - наклеивается подходящая фирменная лента для соединения герметичной гидроизоляционной пленки или барьерного слоя с окном, чтобы обеспечить непрерывность герметичного слоя. Герметичный слой следует четко определить и указать его характеристики на этапе подробного планирования и показать на всех рабочих чертежах [12].



(a)<sup>12</sup>



(b)<sup>13</sup>

Рис. 23. Фотография герметичной гидроизоляционной пленки и плиты OSB-3 с проклеенными стыками

12 Источник: <http://www.greenbuildingadvisor.com/sites/default/files/SIGA%20interior%203%20-%20membrane%20seam%20.jpg>

13 Источник: [http://static.wixstatic.com/media/bf8f0e\\_aeaf2665d8b47305311f5d7778be958e.jpg\\_srz\\_1181\\_1181\\_85\\_22\\_0.50\\_1.20\\_0.00.jpg\\_srz](http://static.wixstatic.com/media/bf8f0e_aeaf2665d8b47305311f5d7778be958e.jpg_srz_1181_1181_85_22_0.50_1.20_0.00.jpg_srz)

Несколько практических примеров, иллюстрирующих частые ошибки при создании герметичной оболочки:

- Точки входа и выхода инженерных сетей, например, воздуховодов системы рекуперации тепла, сбросных труб и электрических проводов;
- Разломы в заштукатуренных кирпичных стенах, например, возле розеток или других распределительных ящиков на внешних стенах;
- Слой штукатурки, не достигающий до пола, в случае кирпичных зданий это приводит к утечкам воздуха позади плинтуса;
- Нештукатуренные участки внешних кирпичных стен, что иногда бывает, если механические устройства, монтируемые на стену, устанавливаются на раннем этапе процесса строительства до нанесения покрытия;
- Отсутствие заранее предусмотренных сервисных ниш при применении деревянных каркасов и когда герметичный барьер пронизывает множество внутренних механических и электрических устройств, а также
- Отсутствие нахлеста герметичной пленки между разными этажами в случае деревянных каркасов или если композитный напольный материал зажат между верхней и нижней стеной [8].

Самая частая ошибка, которую допускают неопытные бригады строителей, - это слишком позднее проведение проверки на герметичность, когда уже упущена возможность отыскать и устранить течи. Если к этому моменту не достигнута необходимая степень герметичности, вполне возможно, что будет очень сложно и дорого устранить недочеты, а также потребуется разрушить уже построенное. [8].



Рис. 24. Пример неправильного планирования и незнания о проблеме герметичности [8].

В кирпичных сооружениях, где нет технологических ниш, важно обеспечить максимальную герметичность в местах прокладки любых инженерных сетей, см. рисунок, где для этой цели применяется установка в незастывшую шпатлевку.



Рис. 25. Герметичная установка розеток в незастывшую шпатлевку [8].

## 2. ВЕНТИЛЯЦИЯ

Существует два варианта вентиляции здания:

1. Естественная вентиляция - неконтролируемый процесс воздухообмена.
2. Принудительная механическая вентиляция контролируемый процесс воздухообмена.

Система вентиляции приобретает все большее значение, поскольку, во-первых, герметичная оболочка здания требует наличия принудительной механической вентиляции, которая обеспечит необходимую скорость воздухообменов, и, во-вторых, только хорошо спроектированная принудительная механическая вентиляция гарантирует хорошее качество воздуха в помещении. Для достижения высокой эффективности в смысле теплового комфорта, энергосбережения и обеспечения высокого качества воздуха, становится необходимо контролировать вентиляцию.

Так как оболочка здания должна иметь высокое тепловое сопротивление (низкий уровень теплопотерь) и быть герметичной, вентиляция должна быть принудительной механической с высокоэффек-

тивной рекуперацией тепла, что позволит свести к минимуму выход тепла из здания вместе с отработанным воздухом.

Параметры вентиляции обычно указывают в строительных нормах и правилах, вентиляция должна обеспечивать хорошее качество воздуха в помещении. Обычная скорость воздухообмена равна  $n = 0,5 \text{ ч}^{-1}$  или 0,5 ВОЧ (воздухообменов в час), это означает, что за один час сменяется половина всего объема воздуха в помещении, а весь объем воздуха в помещении полностью сменится за 2 часа.

Таблица 8

Рекомендованная скорость воздухообмена в час в жилых комнатах квартиры

	Жилые комнаты в квартире
Предложенный журналом CIBSE скорость воздухообмена	0,4...1 ВОЧ
Рекомендации в соответствии с пакетом программного обеспечения для проектирования пассивного дома	0,4 ВОЧ

Вне зависимости от этой рекомендованной скорости воздухообмена, для обеспечения хорошего качества воздуха в помещении рекомендуется уровень CO<sub>2</sub> не выше 600-700 частей на миллион, и все системы здания необходимо проектировать таким образом, чтобы обеспечить такой показатель. Например, человеческое тело выделяет порядка 20 л/ч CO<sub>2</sub> и около 50 г/ч водяного пара. Кроме того, работы по дому и принятие душа каждый день добавляют несколько литров водяного пара в воздух помещения. Из-за этого особую важность приобретает система вентиляции и механический контроль потока воздуха. Тем временем, обычная концентрация углекислого газа в свежем воздухе вне помещения составляет около 400 - 500 частей на миллион.

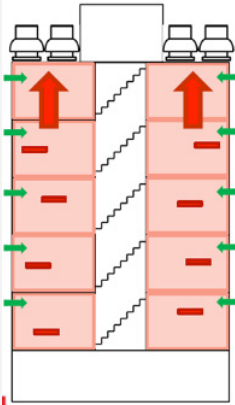
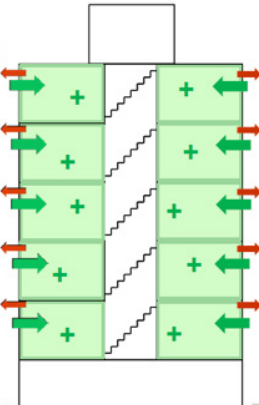
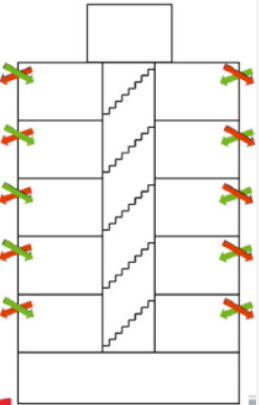
Существует несколько технических решений для устройства вентиляции, начиная от простой и неконтролируемой и заканчивая централизованной принудительной вентиляцией (полностью компьютеризированной или автоматической). Существует три стратегии для обеспечения поступления свежего воздуха:

- Вытяжная вентиляция с добавочным воздухом или без него.
- Приточная вентиляция.
- Сбалансированная механическая вентиляция с утилизацией тепла.



Таблица 9

Стратегии для обеспечения поступления свежего воздуха [13].

1. Вытяжная вентиляция	2. Приточная вентиляция	3. Сбалансированная механическая вентиляция с утилизацией тепла
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вытяжная вентиляция слегка сбрасывает давление в помещениях;</li> <li>• Наружный воздух проникает сквозь щели, трещины или запроектованные впускные отверстия (щелевые воздухопроводные отверстия, не подрезанные).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Механически поступающий свежий воздух создает слегка повышенное давление в помещениях;</li> <li>• Это заставляет спертый воздух выходить наружу через щели и трещины.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Перенос тепла между внутренним и наружным воздухом;</li> <li>• Не повышает и не понижает давление.</li> <li>• Централизованное и децентрализованное решение.</li> </ul>

Для зданий с высокими характеристиками рекомендуется использовать систему механической вентиляции с утилизацией тепла.

Силы, действующие на многоэтажное здание (ветер, эффект тяги), гораздо больше, чем силы, действующие на другие жилые здания, а потому решающее значение имеет управление движением воздуха. При использовании централизованных систем вентиляции огромные вентиляторы, обслуживающие все здание, должны преодолевать эффект тяги, а при использовании децентрализованной системы вентиляции небольшие вентиляторы в отдельных квартирах должны преодолевать местную разницу давлений. Разница давлений по причине эффекта тяги может быть значительной (до 5

Па на 1 этаж в холодные дни, например, для десятиэтажного здания эта разница может достичь 50 Па). Поэтому для полного управления движением потока воздуха очень важно определить воздушные барьеры (границы давления) и обеспечить герметичные механические системы. Воздуховоды и каналы необходимо герметизировать.

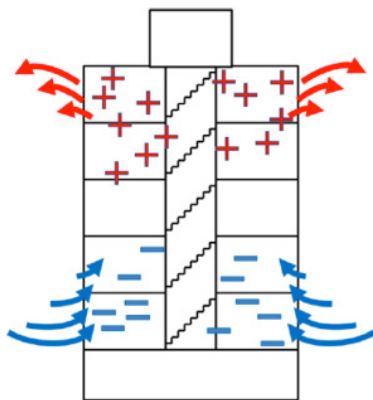


Рис. 26. Эффект тяги в многоэтажном здании [13].

Зоны положительного и отрицательного давления создают потоки воздуха между зонами, которые не рекомендуются для хорошей работы системы вентиляции.

Вне зависимости от выбранной на этапе проектирования стратегии поступления свежего воздуха, существует несколько рекомендаций (*строй герметично вентилируй грамотно*):

- Определить потребности в вентиляции (скорость воздухообмена, правильные технологии и т.д.) и вариант вентиляции для обеспечения ее долговечности.
- Построить герметичное здание.
- Обратить внимание на качество установки:
  - Предусмотреть технические характеристики для утечек и потока воздуха.
  - Предусмотреть технические характеристики для герметичности воздуховодов в строительной документации.
  - Обозначить конкретные места, которые должны быть герметизированы: все соединения, стыки и т.д.
- Провести обучение пользователей и обслуживающего персонала [13].

## 2.1. ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛА

Системы вентиляции с утилизацией тепла имеют большое значение в странах с холодным климатом. Внутри теплообменника тепло от теплого спертого воздуха (отработанного) передается холодному, поступающему снаружи, свежему воздуху, за счет чего намного сокращаются потери тепла [5,8,12]. Принцип работы принудительной механической вентиляции с утилизацией тепла представлен на Рис. 27.

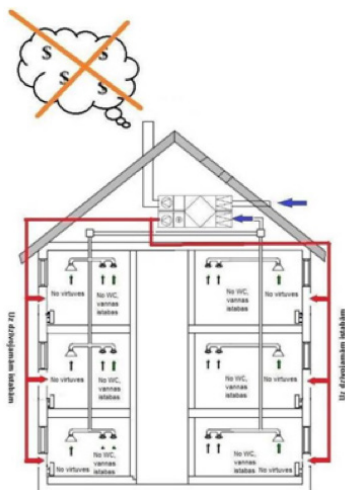


Рис. 27. Централизованная механическая вентиляция с утилизацией тепла в многоэтажных зданиях <sup>14</sup>.

В зависимости от эффективности работы теплообменника можно передать более 90 % тепла, благодаря чему приточный воздух поступает в помещение уже с температурой, почти равной температуре комнатного воздуха. Высококачественные системы вентиляции обеспечивают герметичность приточного и вытяжного воздухопроводов в теплообменнике, а поэтому свежий и отработанный воздух никогда не смешиваются. Такие высококачественные системы вентиляции экономят гораздо больше энергии за счет предотвращения теплотерь, чем потребляют для своей работы [5,8,12].

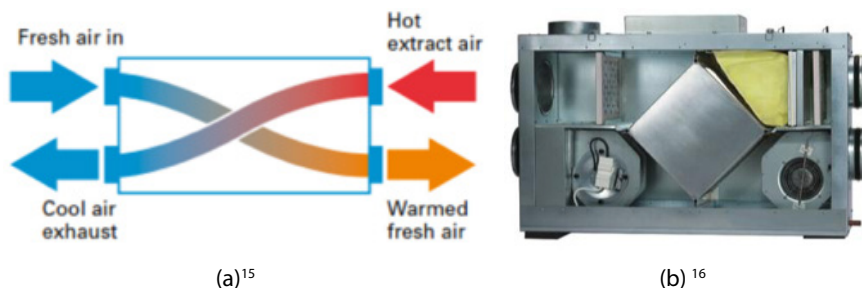


Рис. 28. (a) Принцип воздушных потоков в теплоутилизаторе;  
(b) Установка теплоутилизатора.

Fresh air in	Поступление свежего воздуха
Cool air exhaust	Выпуск отработанного прохладного воздуха
Hot extract air	Горячий вытяжной воздух
Warmed fresh air	Подогретый свежий воздух

### 2.1.1. Централизованная механическая вентиляция с утилизацией тепла

Централизованное управление - централизованный подход, всей системой вентиляции для всех жилых помещений можно управлять из одной точки, и делать это может один достаточно квалифицированный специалист.

В таком случае владельцам отдельных квартир не придется управлять системой вентиляции в своей квартире, включая периодическую замену и чистку фильтров. Такой сценарий может иметь особенно большое значение в социальных домах или в студенческих общежитиях, то есть в тех случаях, когда жильцы не настолько заинтересованы в смене фильтров, когда это необходимо.

В случае социального жилища существует опасение, что жильцы могут даже отключить вентиляционное оборудование, чтобы сэкономить деньги на оплату электричества. Централизованная система управления предотвратит этот риск.

15 Источник: [http://www.nfan.co.uk/writeable/cms\\_images/HRU\\_image\\_3.jpg](http://www.nfan.co.uk/writeable/cms_images/HRU_image_3.jpg)

16 Источник: [http://cms.esi.info/Media/productImages/AlleryPlus\\_Ltd\\_Helios\\_KWLC\\_650\\_Plate\\_Heat\\_Exchanger\\_HRV\\_units\\_1.jpg](http://cms.esi.info/Media/productImages/AlleryPlus_Ltd_Helios_KWLC_650_Plate_Heat_Exchanger_HRV_units_1.jpg)



Рис. 29. Крупная централизованная система МВРТ требует для работы помещения большой площади<sup>17</sup>.

### 2.1.2. Децентрализованная механическая вентиляция с утилизацией тепла

В отличие от централизованной системы вентиляции, децентрализованную МВРТ сложнее контролировать, так как обычно в каждой квартире устанавливается отдельный пульт управления.

Каждый отдельный пульт функционирует самостоятельно, и им можно управлять индивидуально. Вентиляцию всего здания можно обеспечить за счет установки этих элементов управления в помещениях, где необходима вентиляция.



(a)<sup>18</sup>



(b)<sup>19</sup>

Рис. 30. Отдельный пункт управления МВРТ для квартиры

17 Источник: [www.passiv.de/07\\_eng/phpp/Criteria\\_Residential-Use.pdf](http://www.passiv.de/07_eng/phpp/Criteria_Residential-Use.pdf)

18 Источник: <http://www.lunos.de/wp-content/uploads/2012/03/e2-Explo.jpg>

19 Источник: <http://renergise.ie/wp-content/uploads/2013/11/Wall-View-300x300.jpg>

Децентрализованную МВРТ легче устанавливать из-за более коротких и меньших воздуховодов, они работают тише на малой скорости. Кроме того, более короткие и узкие воздуховоды также могут повлиять на эффективность утилизации тепла.

## 2.2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В Таблице 10 представлены основные критерии проектирования системы МВРТ с учетом следующих положений:

- Глава 46 Руководства ASHRAE 1999 года — Практическое руководство.
- Стандарт EN 12097:2006 Вентиляция зданий Системы воздуховодов Требования к компонентам системы воздуховодов для упрощения управления системами воздуховодов.
- Стандарт EN 13053:2006 Вентиляция зданий Приточные установки Оценка и характеристики узлов, компонентов и секции [14].

Таблица 10. Критерии проектирования для системы МВРТ [14].

Спроектировать систему распределения воздуха так, чтобы свести к минимуму сопротивление потоков воздуха и вихревых потоков. Высокое сопротивление потока воздуха увеличивает требуемое давление нагнетания вентилятора, что приводит к повышенной шумности вентилятора. Вихревые потоки усиливают шум от потоков воздуха от арматуры и клапанов воздуховодов в системе распределения воздуха, в особенности при низкой частоте.

Выбрать вентилятор, который будет работать максимально близко к расчетной максимальной мощности при работе с требуемым объемом воздуха и статическом давлении. А также, выбрать вентилятор с минимальным уровнем шума, который все же отвечает проектным условиям, для которых он был выбран. Применение слишком большого или слишком маленького вентилятора, который не работает на расчетной максимальной мощности или близкой к ней, может привести к значительно более высоким уровням шума.

Спроектировать соединения воздуховодов как на входе, так и на выходе от вентилятора для образования равномерного и прямого потока воздуха. Невыполнение этого условия может привести к возникновению сильных вихревых потоков у входа к вентилятору и на выходе, а также на разделении потоков у лопастей вентилятора. И первое, и второе могут намного усилить шум вентилятора.

Выбрать глушители шума для воздуховодов, которые существенно повышают требуемое общее статическое давление вентилятора. При неправильном подборе глушители шума для воздуховодов могут намного повысить требуемое общее

статическое давление вентилятора. Выбор глушителей шума с потерей статического давления 87 Па или меньше может свести к минимуму шум, вызываемый потоком воздуха.

Размещать воздухосмесительные резервуары с вентиляторами в системах распределения воздуха с разным объемом вдали от зон, где шум нежелателен.

Свести к минимуму шум от потока воздуха за счет изгибов или отводов воздухопроводов, где это возможно, разместив их на расстоянии от 4 до 5 диаметров воздухопровода друг от друга. Для систем с большой скоростью может потребоваться увеличить это расстояние в критичных по шуму областях до 10 диаметров воздухопровода.

Поддерживать скорость потока воздуха в воздуховоде максимально низкой (7,5 м/с или меньше) возле зон, где шум особенно нежелателен, за счет увеличения поперечного сечения воздухопровода. Для жилых зданий рекомендуемая скорость воздуха в основном воздуховоде приблизительно равна 3 м/с. Разделение потоков из-за углов раскрытия более 15° может вызвать рокочущий шум. Увеличение площади поперечного сечения воздухопровода снизит потенциальный шум потока, связанный с вихревыми потоками в этих точках.

Использовать поворотные лопатки в крупных прямоугольных изгибах 90° и отводах.

В жилых помещениях размещать решетки, диффузоры и заслоночные клапаны как можно дальше от изгибов и отводов.

Свести к минимуму использование клапанов, регулирующих поступление воздуха, возле решеток, диффузоров и заслоночных клапанов в акустически критичных помещениях.

Если механическое оборудование расположено на верхних этажах или в комнате, обеспечить виброизоляцию всего вибрирующего оборудования, совершающего возвратно-поступательное или вращательное движение. А также обычно виброизоляция необходима для механического оборудования, которое расположено в подвале здания, а также трубы, прикрепленные к плите перекрытия подвала, прямо под жилым помещением. Может потребоваться установить гибкие соединения для труб и гибкие короба для электропроводки между оборудованием, совершающим возвратно-поступательное или вращательное движение, и трубами и воздухопроводами, подсоединенными к оборудованию.

Устроить виброизоляцию трубопроводов и труб с помощью пружин и(или) неопреновых держателей на расстоянии, по меньшей мере, первых 15 м от виброизолированного оборудования.

Использовать ограждения возле оборудования, расположенного на улице, если оно может вызвать шум на смежных территориях при отсутствии заграждений. В обычной практике ограждения обычно поглощают звук в среднем частотном диапазоне не более 1 дБ.

### 2.3. ОТОПЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ.

При отоплении с помощью системы вентиляции воздух используется в качестве носителя тепла. Если в здании установлена система механической вентиляции с утилизацией тепла, проектировщик также должен рассчитать максимальную отопительную нагрузку приточного воздуха, что поможет сделать вывод о том, можно ли использовать механическую систему вентиляции для подачи необходимого тепла. Золотое правило: если отопительная нагрузка ниже 10 Вт/м<sup>2</sup>, весьма вероятно, что можно будет использовать систему вентиляции. Проектировщик должен рассчитать, можно ли обеспечить поступление необходимого тепла просто за счет воздуха в системе вентиляции или потребуются использовать альтернативный метод (например, радиаторы отопления).

При использовании приточного воздуха для отопления здания необходим какой-либо последующий нагреватель, который будет подогревать воздух после прохода через теплоутилизатор механической вентиляционной системы. В этом отношении есть ряд вариантов, в том числе:

- Теплообменник вода - воздух (горячая вода может подогреваться с использованием сочетания солнечных нагревателей и котлов на биомассе или природном газе или, например, за счет тепла от централизованной системы отопления);
- Включенный в сеть электрический нагревательный элемент, а также
- Тепловой насос.

Если имеется желание установить индивидуальный регулятор температуры в каждой комнате (например, в каждой квартире многоквартирного дома), понадобится вторичный нагреватель с термостатом в точке поступления приточного воздуха в каждую комнату. Это намного увеличит затраты на систему.

И при этом в определенных погодных условиях (обычно в диапазоне температур +5..-10 °С, в зависимости от тепловых характеристик здания), отопление внутренних помещений здания можно будет обеспечить за счет механической системы вентиляции.



### 3. ОТОПЛЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ

К проектированию системы отопления нельзя подходить невнимательно, поскольку каждое энергоэффективное здание должно обеспечить отличный комфорт в любое время в самую плохую погоду. Принципы проектирования: учитывать возможности и гибкость системы отопления, чтобы удовлетворить потребность в комфорте и энергоэффективности.

Основным фактором, который следует учитывать при проектировании отопительной системы энергоэффективного здания, это отопительная нагрузка помещения, то есть мера мощности отопительного устройства (например, котла), требуемого для выработки и распределении достаточного объема тепла в целях поддержания установленной внутренней температуры, например, 20°C, в самых сложных зимних условиях. Обычно отопительную нагрузку помещения можно выразить в кВт или в виде удельной отопительной нагрузки в ваттах на квадратный метр (Вт/м<sup>2</sup>).

В зданиях с низким уровнем энергопотребления, где установлена механическая система вентиляции с утилизацией тепла, можно снизить мощность и размеры системы отопления. Это означает, что вентиляционная система может покрыть часть отопительной нагрузки, и до определенного момента не нужна будет система отопления.

Все системы отопления можно разделить на группы в зависимости от используемого теплоносителя, который переносит тепло от источника к отопительному прибору. Обычно используется три вида теплоносителей: (1) воздух, (2) вода (жидкость) и (3) пар.

#### 3.1. СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ

Учитывая достаточно низкие температуры наружного воздуха в отопительный сезон (до -25..-30 °C) в северных странах с умеренным климатом сохранится потребность в альтернативном решении для отопления помещений, например, радиаторах. Отсюда вытекает необходимость грамотного проектирования и точного подбора размеров отопительной системы. Существует тенденция использовать большие по площади поверхности (например, пол, стены и т.д.), что, с одной стороны, позволяет работать с более низкими поступающими температурами, а с другой, оставляет большую площадь поме-

щения для жильцов, поскольку в таком случае отсутствует необходимость в радиаторах отопления.

В целом, система отопления включает следующие элементы:

- Источник тепла;
- Распределительная сеть (основные, второстепенные трубы, обратные трубопроводы и т.д.)
- Нагревательные приборы (например, радиаторы, полы в случае теплых полов).;

При проектировании системы отопления необходимо решить задачу оптимизации с учетом ряда критериев, например, длина и расположение труб, конфигурация системы (однотрубная или двухтрубная система), расположение нагревательных приборов, потребности в управлении, инвестиции, затраты на эксплуатацию и техобслуживание.

Ниже приведены технические элементы системы отопления, требующие оценки на стадии проектирования:

- Качество теплоносителя (например, химический состав воды);
- Трубопровод;
- Материалы, изоляция, размещение, спуск воздуха, слив жидкости.
- Арматура:
- Запорный, регулировочный клапан, запорный клапан радиатора;
- Сливной / питательный клапаны, устройства для спуска воздуха
- Насосы, фильтры.

Названные технические компоненты системы отопления будут играть важную роль при эксплуатации и техническом обслуживании системы в долгосрочной перспективе (от 3 до 10 лет).

### **3.1.1. Система распределения тепла**

Существует несколько подходов к распределению тепла в здании. Кроме того, проведены масштабные исследования и имеются разработки лучших решений для зданий с низким энергопотреблением, в особенности многоэтажных (более 5 этажей).

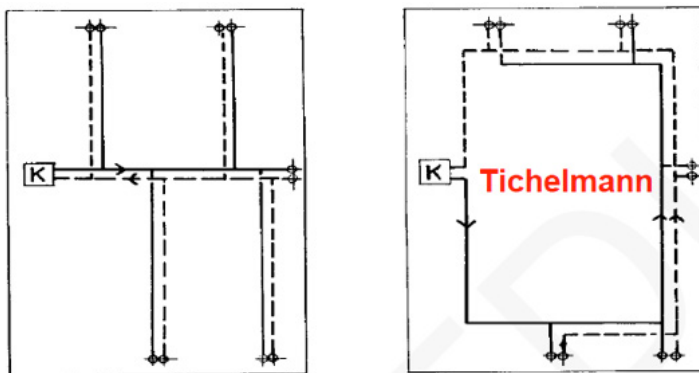


Рис. 31. Двухтрубная система: (а) Противоток; (б) Параллельное [14].

Очень важный аспект системы отопления - это правильное гидравлическое уравнивание. Гидравлического уравнивания можно достичь даже в однотрубной системе вертикального распределения (часто встречается в зданиях, построенных после распада СССР) и обеспечить равномерное распределение тепловой энергии по всему зданию.

### 3.1.2. Нагревательные приборы

Проектные температуры отопления за последние годы снизились в соответствии с энергетическими требованиями к зданиям. Это также касается нагревательных приборов, поскольку теперь тепловая энергия нагревательных приборов отдается посредством конвекции, а не излучения.

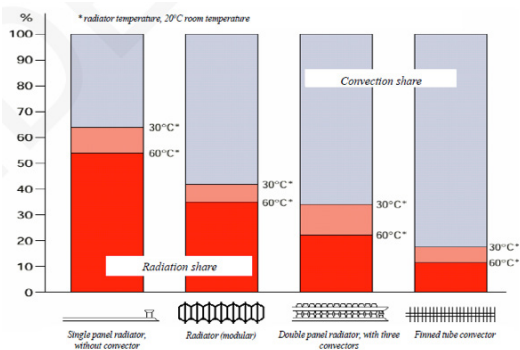


Рис. 32. Тепловая мощность различных нагревательных приборов [14].

* Radiator temperature, 20°C room temperature	* Температура радиатора, температура в помещении 20°C
Convection share	Доля конвекции
Radiation share	Доля излучения
Single panel radiator, without convector	Панельный радиатор с 1 панелью без конвектора
Radiator (modular)	Радиатор (секционный)
Double panel radiator, with three convectors	Панельный радиатор из двух панелей с тремя конвекторами
Finned tube convector	Пластинчатый трубчатый конвектор

С ужесточением требований к зданию и изоляции в Европе становится легче прогреть оболочку здания, так как теперь теряется меньше тепла. Кроме того, с отличной быстротой реагирования отопительной системы сегодня как никогда реально можно использовать поступление солнечной энергии и дома, и в офисе.

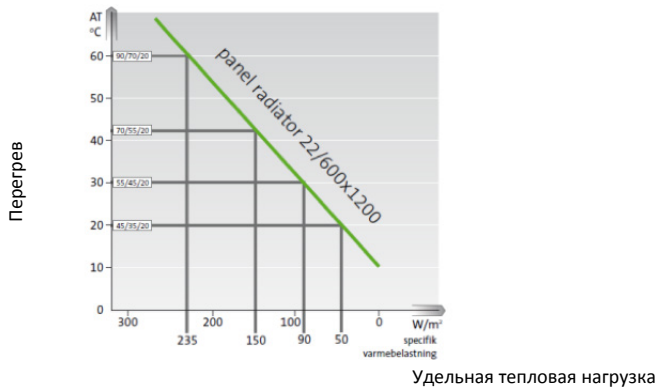


Рис. 33. Вследствие снижения тепловой нагрузки зданий снизились проектные температуры радиаторов [15].

Panel radiator	Панельный радиатор
----------------	--------------------

В индустрии отопления все еще существует миф, что с низкотемпературными отопительными системами нужны более крупные радиаторы. Однако больше не всегда значит лучше.

Обычно в отопительный сезон приток тепла не превышает 30% от потребности в отоплении, а поэтому крайне важны теплопроизво-

длительность и гибкость (время реакции). Система отопления должна быстро реагировать (без задержек) на потребность в тепле, чтобы избежать резких колебаний температуры в помещении.

По результатам сравнительного анализа нагревательных приборов даже в самый холодный зимний период необходима быстрая изменение теплопроизводительности для поддержания температуры в помещении в оптимальном комфортном диапазоне. Система радиаторов с малой теплоемкостью может реагировать быстрее и поддерживать температуру в помещении ближе к заданной [15,16].

Быстрое реагирование на поступление тепла и малые потери тепла в системе - это ключевые элементы энергоэффективных систем отопления. Также важно обеспечить индивидуальное управление температурой, поскольку отопление сильно варьирует от помещения к помещению. При центральном отоплении в некоторых помещениях происходит перегрев, что приводит к штрафам за превышение установленного лимита энергопотребления. По этой причине для сокращения системных потерь рекомендуется использование низкотемпературных систем и быстро реагирующих нагревательных приборов с индивидуальным управлением / регулятором в каждой комнате.

В последние годы компьютерное моделирование также помогло существенно повысить энергоэффективность: оптимизация потока горячей воды по радиатору, передача тепла на ребра радиатора, а также расчет оптимального лучистого и конвективного тепла в помещении.

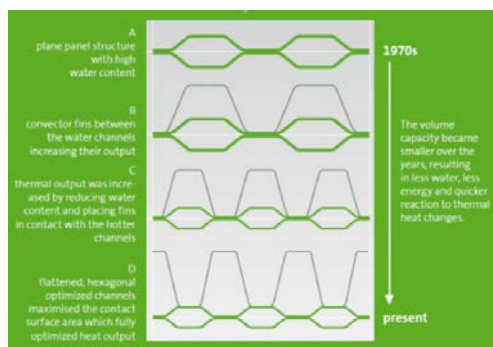


Рис. 34. Эволюция радиаторов [15].

<p><b>A</b> Простая панельная конструкция с высоким содержанием воды</p>	<p>1970-ые</p> <p>С годами объем уменьшился, что привело к снижению объема воды, сокращению энергопотребления и ускорению реакции на температурные изменения</p> <p>Настоящее время</p>
<p><b>B</b> Конвекторные пластины между каналами для воды, повышающие их эффективность</p>	
<p><b>C</b> Теплоотдача повысилась за счет снижения содержания воды и размещения пластин на самых горячих каналах для воды</p>	
<p><b>D</b> Уплощенные шестиугольные оптимизированные каналы с максимальной площадью контактной поверхности, что позволило оптимизировать теплоотдачу</p>	

В показанном здесь радиаторе оптимизированной шестиугольной формы (пример (D) на Рис. 34) площадь контактной поверхности максимально увеличена, и полностью оптимизирована теплоотдача. Сокращение содержания воды и размещение ребер на более горячих каналах позволило повысить теплоотдачу.

Радиатор того же размера отвечает изменяющимся требованиям к энергетическим характеристикам здания. Показаны такие параметры как теплопроизводительность / удельная тепловая нагрузка и перегрев  $\Delta T$ . Перегрев должен быть минимально возможным.

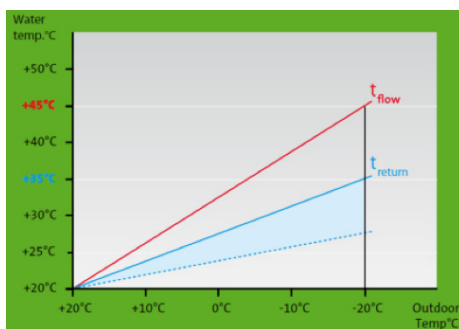


Рис. 35. Температуры поступающей и обратной воды радиаторе с учетом наружной температуры [15,16].

Water temp. °C	Температура воды °C
$t_{flow}$	Тпоступающей воды
$t_{flow}$	Тобратного потока
Outdoor temp °C	Наружная температура °C

Температура воды, поступающей обратно в систему (возвратный поток) в радиаторе при использовании термостата ниже за счет притока тепла и соответствующего действия термостата. При использовании тепловых насосов в качестве теплогенератора очень благоприятно использование радиаторов с низкими температурами воды (приток и обратное поступление в систему).

## 3.2. РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

Правильный расчет тепловой нагрузки оказывает существенное влияние на первоначальные инвестиции, затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание системы отопления. Если речь идет о здании с высокими энергетическими характеристиками, крайне важно точно определить данные для системы отопления. Поэтому не рекомендуется использовать упрощенные методики расчета тепловой нагрузки, например, метод удельной тепловой нагрузки. Существует несколько подробно описанных методик расчета тепловой нагрузки (квазистационарные и динамические), основанные в целом на соответствующих стандартах. В настоящее время существуют программное обеспечение / инструменты для симуляции или моделирования (TRNSYS, DOE, пакет программного обеспечения для проектирования пассивного дома PHPP, WUFI Passive и т.д.), позволяющие сравнить различные решения и альтернативные варианты, а также нестандартные решения. Полный перечень имеющихся и соответствующих этой цели программных продуктов можно найти в Каталоге программного обеспечения для энергетических решений в строительстве Министерства энергетики США . Кроме того, практически все разработчики программного обеспечения или средств моделирования предоставляют обучение и обучающие курсы для пользователей.

### 3.2.1. Влияние поступающей сквозь оболочку здания солнечной энергии на требования к отоплению помещений

В зависимости от проектного решения многоквартирного дома, в нем могут быть отдельные жилые помещения (зоны или комнаты), куда в отопительный сезон не поступает солнечное тепло (например, квартиры, выходящие на север). В то время как в таких комнатах от системы отопления поступает столько же тепла, что и в южных комнатах, с точки зрения общего баланса энергий северные комнаты находятся в проигрышном положении. Такое положение вещей можно компенсировать за счет улучшенной изоляции, что сократит теплопотери при передаче, или, например, путем снижения площади комнаты, чтобы приток тепла в среднем на один кв. м площади пола был выше по сравнению с квартирами, выходящими на юг.

У разных квартир с разной ориентацией неизбежно будет разная потребность в тепле. То же самое верно для фактической энергии отопления, используемой в отдельных квартирах, однако некоторые жильцы предпочитают более высокие температуры в помещении, некоторые предпочитают оставлять окна открытыми, кто-то остается дома весь день, а кто-то бывает дома только после работы.

Есть возможность смоделировать влияние колебания температур в соседних квартирах. Это полезная информация, поскольку позволит поддерживать комфортные условия даже в то время, когда в соседних квартирах холоднее, например, когда соседи уехали в зимний отпуск или если отключили отопление. Она также может использоваться для того, чтобы проверить, как на помещение влияет наличие рядом неотапливаемого помещения.

Например, программное обеспечение пакета пассивного дома PHPP исходит из температурной разницы по умолчанию для смежных неотапливаемых помещений  $3^{\circ}\text{C}$ , которая может показаться слишком малой, но которая оказалась адекватной из-за высокой тепловой инерции, благодаря чему температура падает очень медленно. Если смежное помещение (или зона) - это существующее слабо изолированное здание, рекомендуется принимать разницу температур  $5^{\circ}\text{C}$ . Вне зависимости от того, поступает ли солнечное тепло в отдельные квартиры зимой, их тепловая эффективность будет всегда выше по сравнению с отдельно стоящим жилым домом усадебного типа, который страдает от такого же дефицита солнечного тепла, по той



причине, что площадь поверхности, подверженной атмосферным условиям, в квартире меньше.

### 3.2.2. Упрощенный расчет тепловой нагрузки

Золотое правило:

- Тепловая нагрузка рассчитывается, исходя из площади или объема отапливаемого помещения:
- По площади: 20...120 Вт/м<sup>2</sup> при высоте потолков ~2,5..3 м;
- По объему: 20...50 Вт/м<sup>3</sup> при высоте потолков более 2,5 м;
- Дополнительно к этой цифре добавляется 10...15 % на горячее водоснабжение.

Если мы возьмем многоквартирный дом общей площадью 5000 м<sup>2</sup>, при типичной тепловой нагрузке для энергоэффективного дома потребуется котел мощностью 150 кВт (5000 м<sup>2</sup>, умноженные на 30 Вт/м<sup>2</sup>). Тепловую нагрузку определяют путем расчета максимально возможной разницы (планирование сценария худшего случая) между притоком и потерей тепла. Проектировщик должен принять во внимание, по крайней мере, противоположные погодные условия (а) очень холодная, но ясная погода с высоким уровнем солнечного излучения и (б) умеренно холодная погода, но со сплошной облачностью с низким уровнем солнечного излучения.

Упрощенный расчет тепловой нагрузки используется только для очень быстрых (и в основном неточных) подсчетов и не может считаться надежным методом.

### 3.2.3. Подробный расчет тепловой нагрузки

По сравнению с упрощенным подходом, в зданиях с высокой энергетической эффективностью важно принимать во внимание все аспекты (динамический характер теплопередачи и преобразования в здании).

Размеры системы отопления зависят от результатов проектирования теплопередачи в условиях установившегося рабочего режима. Перенос тепла рассчитывается для каждой комнаты (в том числе, окна, стены, прозрачные и непрозрачные конструкции и т.д.) для проектной внутренней и наружной температуры. Также в расчет принимаются тепловые мостики, вентиляция и постоянный приток тепла. Например, EN 12831: 2003 "Отопительные системы в поме-

щения – Методика расчета проектной тепловой нагрузки” или EN 13790: 2008 “Потребность в энергии и использование энергии, отопление и охлаждение”.

EN 13790:2008 охватывает четыре различных типа методик:

1. Полностью заданный ежемесячный метод расчета для квазистационарного состояния;
2. Полностью заданный сезонный метод расчета для квазистационарного состояния;
3. Полностью заданный простой почасовой динамический метод расчета;
4. Процедура расчетов для подробных (например, почасовых) методов динамического моделирования (для данной методики не представлены алгоритмы вычисления).

В 2013 году стандарт EN 13790:2008 был усовершенствован. В целом, усовершенствованный почасовой метод был предложен в новом стандарте prEN 15603:2013. prEN 15603:2013 - это общий стандарт в поддержку реализации Директивы по энергетическим характеристикам зданий В предложенном простом почасовом методе: каждый элемент здания моделируется отдельно на основании так называемой модели электрического эквивалента «RC» (Рис. 36.).

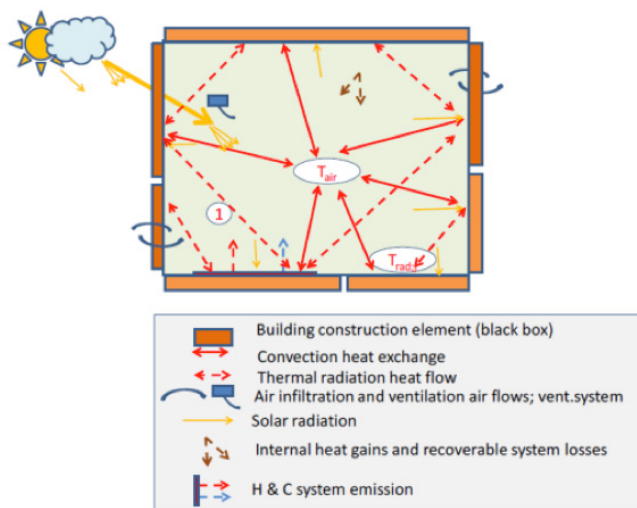


Рис. 36. Упрощенная иллюстрация усовершенствованного (несколько точек) простого почасового метода расчета [17].

Несущий элемент здания (объект исследования)
Конвекционный теплообмен
Поток теплового излучения
Инфильтрация воздуха и вентиляционные потоки; система вентиляции
Солнечное излучение
Внутреннее поступление тепла и возобновляемые потери в системе
Излучение системы Н & С (???Тепло и Холод)

Основные входные параметры для простого почасового метода расчета приведены ниже:

- Для конструкции:
  - Коэффициент теплопроводности.
  - Площадь.
  - Величина теплового мостика и длина.
  - Тяжелая или легкая.
  - Температура на обеих сторонах.
  - Пропускание солнечного света.
- Для источника вентиляции (потока воздуха):
  - Скорость потока воздуха.
  - Температура приточного воздуха.
- Для расчетной зоны:
  - Сумма внутреннего поступления.
  - Площадь (тяжелых / легких) внутренних конструкций.

Взаимодействие между элементами здания и зоной (воздух и средняя температура излучения; потребность в отоплении или охлаждении) рассчитываются каждый час.

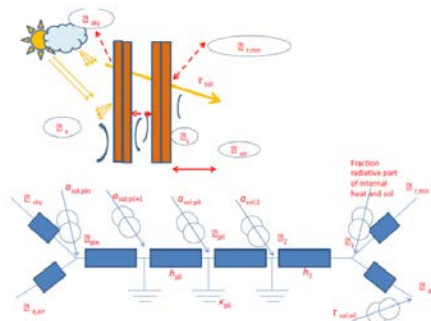


Рис. 37. Упрощенная иллюстрация моделирования каждого элемента здания [17].

## 4. АВТОМАТИЗАЦИЯ, ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ЗДАНИЯ

В соответствии со стандартом EN 12828 «Отопительные системы в здании - Проектирование отопительных систем с использованием воды в качестве рабочего тела» существует широкий спектр стратегий управления: от самых простых (например, локальное ручное управление) до сложного, например, локальное автоматическое управление и центральное автоматическое управление с оптимизацией.

Общий подход к автоматизации и управлению (например, регулирование в зависимости от эталонной комнатной температуры или прямое управление кривой тепла в зависимости от наружной температуры) надежен и широко признан. Несмотря на это, все еще существует потенциал для усовершенствования и экономии энергии. В целом, с точки зрения повышения энергоэффективности внимание уделяется разработке новых концепций контроля и управления. Кроме того, обычно новые здания оснащены различными системами и в них применяются различные технологии. Таким образом, большое значение имеет их координация и функционирование.

Так, разрабатываются новые решения, позволяющие обеспечить более эффективное управление различными системами, применяемыми в современных зданиях, например, самонастраивающиеся регуляторы, упреждающий контроль и так далее.

### 4.1. УПРЕЖДАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

Упреждающий контроль имеет место по той причине, что при традиционном регулировании не учитываются эффект теплоаккумуляции и различия между фактической потребностью в тепле и поставленным теплом.

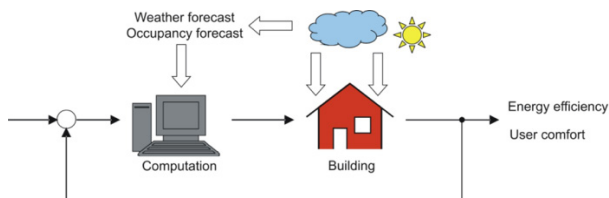


Рис. 38. Управление ОБКВ <sup>20</sup>.

Упреждающий контроль основан на прогнозе погоды, чтобы избежать колебаний внутренних температур, вызванных несоответствием между наружной температурой и мгновенной мощностью отопительной системы. Упреждающий контроль опирается на прогноз погоды в сочетании с физическими параметрами здания, отопительной системой и внутренними нагрузками.

## **5. СИСТЕМА ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ БЫТОВЫХ НУЖД**

За несколько последних лет развились системы бытового горячего водоснабжения. Это произошло в связи с ростом стоимости энергии, требуемого уровня высокой надежности горячего водоснабжения и качества и гигиенических свойств воды, то есть заражения легионеллами.

Существует тенденция использовать в новых многоквартирных домах горизонтальную систему распределения горячей воды вместо вертикальной, а также системы рециркуляции в зависимости от потребности и оптимизированного дизайна контура рециркуляции.

### **5.1. СОКРАЩЕНИЕ ПОТЕРЬ**

Потери тепла при распределении горячей воды могут быть значительными при недостаточной изоляции труб, и лишь 45% любых потерь можно использовать даже при размещении труб внутри тепловой оболочки. Обычно толщина изоляции должна быть минимум вдвое больше номинального диаметра трубы [18].

Теплопотери можно точно рассчитать на листе РНРР 'DHW+Distribution', на котором проектировщик может вести длины и диаметры труб, толщину и теплопроводность изоляции, расположение труб по отношению к тепловой оболочке (внутри или снаружи), проектные температуры и потери при хранении.

Кроме того, сокращение потерь связано с циркуляцией горячей воды в системе горячего водоснабжения.

### 5.3. КОРРОЗИЯ И ОСАДКИ

В установках для подогрева бытовой воды протекают два независимых процесса: (1) Коррозия; (2) Осаждение осадка.

Проблему осадка и коррозии в установках для горячего водоснабжения можно свести к минимуму при соблюдении следующих условий:

- Знание параметров качества поступающей (холодной) воды (в соответствии со стандартами качества).
- Обеспечение соответствующей постоянной температуры в установках для горячей воды и циркуляционном контуре.
- Свести к минимуму колебания температур (контроль перегрева установки в зависимости от времени и температуры).
- Обеспечение проектной скорости потока и выбор соответствующих сантехнических материалов.

### 6. КОМФОРТ В ПОМЕЩЕНИИ

Комфорт в помещении зависит от множества факторов: и не технических, и не физических. Некоторые из них носят психосоциальный характер и связаны с индивидуальными характеристиками и качествами отдельных людей. Из них напрямую система ОВКВ может влиять только на тепловые условия и качество воздуха.

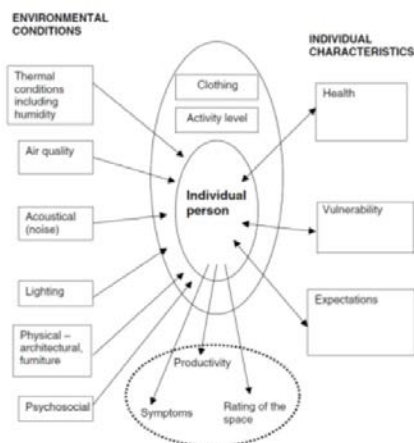


Рис. 39. Модель личного пространства (адаптировано с разрешения автора по материалам издания «The construct of comfort: a framework for research» [19].

УСЛОВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ		ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
Температурные условия, в том числе, влажность	Одежда Уровень активности	Здоровье
Качество воздуха	<b>Человек</b>	Уязвимость
Акустические (шум)		Ожидания
Освещение		
Физические, архитектурные, мебель	Продуктивность	
Психосоциальные	Симптомы Оценка пространства	

**Здоровье:** Очень здоровый человек даже может не заметить сквозняк от кондиционера. С другой стороны, если люди в помещении - это пациенты в приемной врача, они могут воспринимать поток холодного воздуха как весьма не комфортный и неприятный.

**Уязвимость:** также может отличаться уязвимость присутствующих в помещении людей. Например, холодный пол никак не отразится на активном взрослом человеке в обуви. Тот же самый пол может казаться неприятно холодным ребенку, который по нему ползает.

**Ожидания:** входя в престижный отель, мы ожидаем, что внутри будет комфортно. Входя летом в помещение с кондиционером, мы ожидаем, что внутри будет прохладно. Ожидания могут основываться на прежнем опыте пребывания в этом помещении или на визуальном восприятии пространства. Например, входя в раздевалку в спортзале, ожидаешь неприятный запах, и ожидания делают человека более терпимым к реалиям.

**Тепловые условия** – это не только температура воздуха. Если скорость воздуха слишком высока, будет считаться, что в помещении сквозняки. Если нет движения воздуха, присутствующие в помещении могут воспринимать его как «душное». Скорость воздуха в помещении с механическим кондиционированием воздуха во многом зависит от проекта системы. С одной стороны, представим, что присутствующие сидят у большого незатененного окна. Если температура остается постоянной, под светом солнца им будет теплее, а,

если тучи прикроют солнце, им будет прохладнее. В такой ситуации архитектурное решение помещения влияет на тепловой комфорт присутствующих вне зависимости от температуры в помещении.

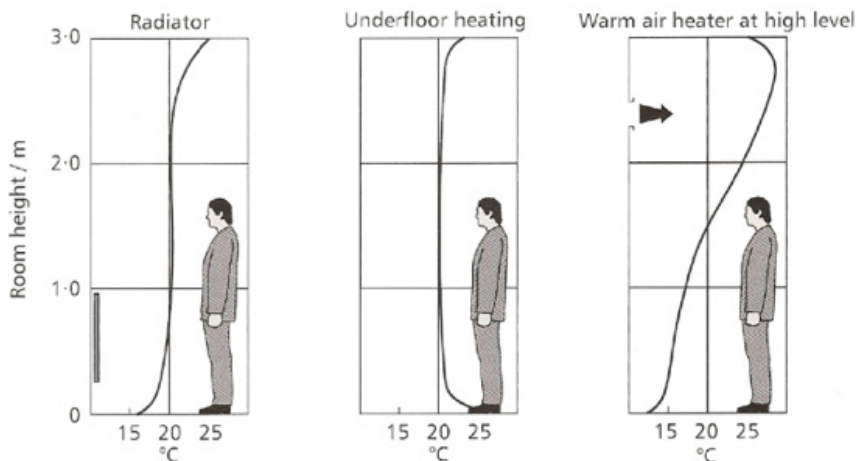


Рис. 40. Пример градиентов температур, созданных различными типами систем отопления [20].

Room height / m	Высота помещения / м
Radiator	Радиатор отопления
Underfloor heating	Подогрев пола
Warm air heater at high level	Высоко расположенный воздушный нагреватель

На качество воздуха в помещении влияет загрязнение со стороны присутствующих в помещении и другого содержимого пространства. Это загрязнение в большей или меньшей степени снижается с увеличением количеством наружного воздуха, поступающего в помещение и растворяющего загрязняющие вещества. Обычно помещения с большим числом присутствующих, например, кинотеатры или те, где осуществляется деятельность с высокой степенью загрязнения, например приготовление пищи, требуют большего количества наружного воздуха, чем офисное здание или жилые помещения [19].



На тепловой комфорт влияют 3 группы факторов:

1. Личные (уровень активности и одежда);
2. Индивидуальные характеристики или ожидания;
3. Условия окружающей среды и архитектурные факторы:
  - a. Температура воздуха
  - b. Температура излучения
  - c. Влажность
  - d. Скорость движения воздуха [19].

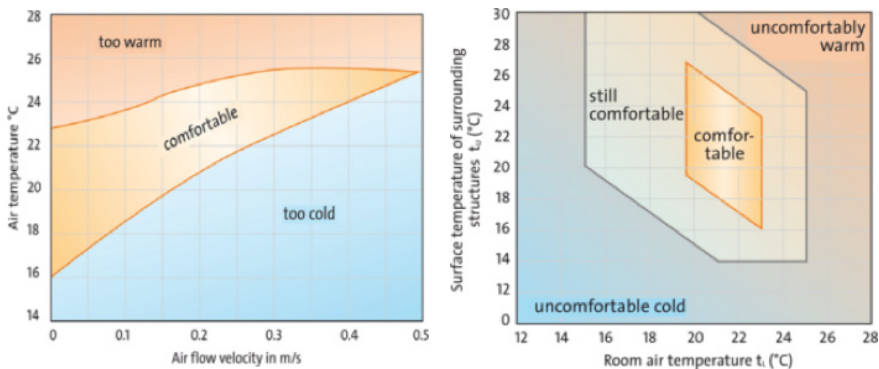


Рис. 41. Тепловой комфорт<sup>21</sup>

Температура воздуха °С	Слишком тепло	Температура поверхности окружающих элементов $t_s$ (°С)	Некомфортно тепло
	Комфортно		Все еще комфортно
	Слишком холодно		Комфортно
	Скорость потока воздуха в м/с		Некомфортно холодно
			Температура воздуха в помещении $t$ (°С)

Повышенная скорость потока воздуха в здании повысит интенсивность теплоотдачи от людей. Если скорость потока воздуха превышает 0,2 м/с или низкая температура в помещении вместе с любой скоростью потока воздуха вызовет дискомфорт или так называемый сквозняк. Этот дискомфорт более чувствителен на уровне ног и (или) головы. Даже небольшая разница температур между воздухом в помещении и окружающими поверхностями (пол, стены, потолок и окна) может отразиться на комфорте в помещении.

21

Источник: <http://www.isover-airtightness.com/Benefits/Thermal-comfort>

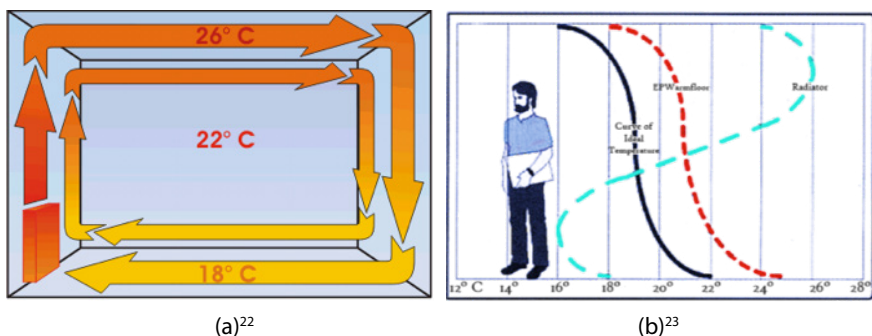


Рис. 42. (а) Распределение тепла при традиционном отоплении; (б) распределение температуры в помещении в зависимости от отопления.

Curve of ideal temperature	График идеальной температуры
EPWarmfloor	Теплый пол EPWarmfloor
Radiator	Радиатор отопления

Даже если технически температура в помещении отличная (например, 20,5 градусов Цельсия), все еще многое определяется человеческим фактором. Люди имеют адаптационные механизмы. Например, согласно данным Humphreys, 1997, если в помещении происходит какое-то изменение, которое может вызвать дискомфорт, люди реагируют таким образом, чтобы восстановить комфортное состояние.

Существует саморегулирующаяся модель теплового комфорта с тремя категориями:

1. Поведенческое приспособление;
2. Физиология;
3. Психология.

Адаптация влияет на систему ОВКВ, поэтому имеется необходимость в самонастраивающихся регуляторах и упреждающем контроле.

22 Источник: [http://www.infrabest.de/images/warum\\_infrarot/waerme\\_normal.gif](http://www.infrabest.de/images/warum_infrarot/waerme_normal.gif)

23 Источник: <http://www.epwarmfloorltd.com/resources/tempdiag%20copy.png>  
opt580x402o0%2C0s580x402.png



Рис. 51. Три компонента адаптации к микроклимату помещения [21].

## 7. СНИЖЕННОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Основная задача при проектировании здания с высокими характеристиками - сокращение общего объема энергопотребления, а не только тепловой энергии. Меры повышения энергоэффективности также должны учитывать потребление электроэнергии. Здесь важнейшее значение имеют использование высокоэффективных приборов и освещения.

Электроэнергия используется для работы вентиляторов, насосов, автоматики и элементов управления ОВКВ, освещения, а также для различных бытовых электроприборов и оборудования.

Рекомендуется использовать электрические приборы с высоким уровнем эффективности или маркировкой о повышенной эффективности.

### 7.1. ЭЛЕКТРОПРИБОРЫ

Рекомендуется использовать энергоэффективные (например, с маркировкой энергоэффективности «А») вентиляторы, насосы, автоматику, элементы управления и другое электрооборудование, которое необходимо для обеспечения эксплуатации здания (например, отопление, ГВБН, вентиляция и др.). Тот же подход необходимо применять к источникам энергии, например, тепловым насосам, солнечным коллекторам, котлам, работающим на древесных пеллетах и т.д.

## 7.2. ОСВЕЩЕНИЕ

Так как дневной свет ничего не стоит, рекомендуется максимально его использовать. Проникновение дневного света в здание зависит от принятия правильных решений и может быть оптимизировано таким образом:

- Окна (тип, расположение и ориентация)
- Остекление
- Светопрозрачные фонари, световые колодцы
- Световые полки

В географических регионах, удаленных от экватора, зимой всегда имеется потребность в искусственном освещении, поскольку естественного света мало. Необходимо освещение необходимо обеспечить с помощью ламп с низким энергопотреблением, например, светодиодными.

## 7.3. БЫТОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИБОРЫ

В целях сокращения энергопотребления и минимизации внутреннего поступления тепла в летний период в доме с очень низким уровнем энергопотребления, необходимы также наиболее эффективные бытовые приборы. Объем энергопотребления бытовых приборов можно снизить за счет использования энергоэффективной технологии в целях сокращения как установленной мощности, так и энергопотребления приборов при эксплуатации. Обычно это означает использование бытовых приборов класса А или лучше. Внимание также необходимо уделить электроприборам, которые часто функционируют в режиме ожидания, что позволит снизить общее потребление электроэнергии в здании.

## 8. ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

С точки зрения устойчивости энергия (тепло и электроэнергия) для функционирования здания по определению должна вырабатываться на месте или поблизости с использованием возобновляемых источников энергии.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), например, биомассы, солнечной тепловой, геотермальной и аэротерми-

ческой (воздуха) представляет собой безопасное, надежное и все более конкурентоспособное решение для всех потребностей в отоплении и охлаждении.

Следует принимать во внимание следующие возобновляемые технологии:

- Солнечные панели и нагреватели;
- Тепловые насосы;
- Биомасса (в том числе микроТЭЦ);
- Использование энергии ветра.

Эти технические решения обладают максимальным долгосрочным потенциалом по сокращению выбросов CO<sub>2</sub>. А также имеется возможность сочетания различных возобновляемых технологий, например, применение энергии биомассы и солнечной тепловой энергии, солнечной тепловой энергии и тепловых насосов и др. В этом отчете рассматриваются только возобновляемые технологии, соответствующие Вариантам 1 и 3 (см. Рис. 44).

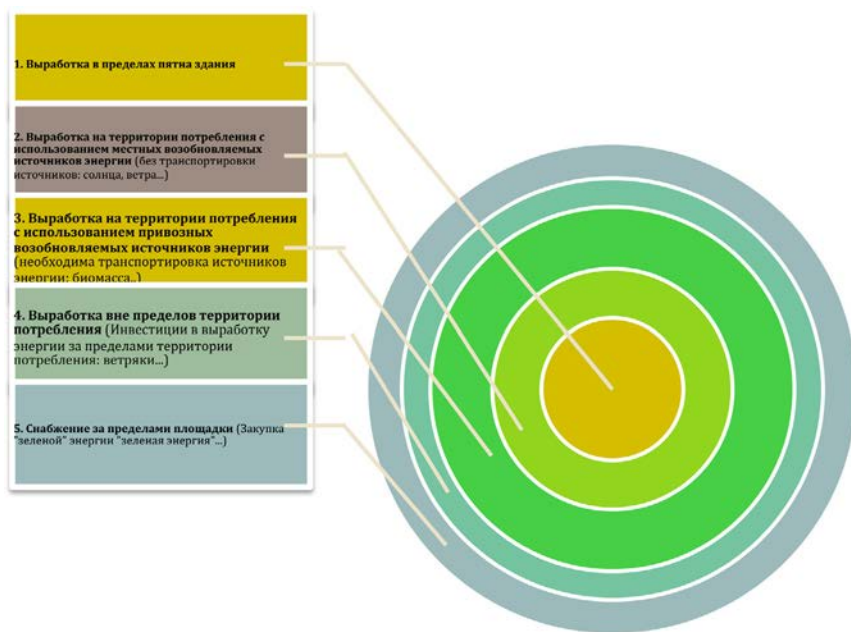


Рис. 52. Варианты возобновляемой энергии

## 8.1. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

Энергия солнца находит широкое применение в виде пассивных и активных технологий в зависимости от того, как получают, преобразуют и передают солнечный свет. Активные солнечные технологии применяют фотоэлектрические панели, солнечные коллекторы, насосы и вентиляторы для преобразования солнечного света в полезную энергию. Пассивные солнечные технологии включают выбор материалов с подходящими термическими свойствами и проектирование расположения здания по отношению к Солнцу.

### 8.1.1. Тепловая солнечная энергия

Активные солнечные технологии для выработки тепла могут обеспечить отопление и подогрев воды, а также потребности в охлаждении, но их с тем же успехом можно использовать в системах централизованного отопления, например, в Дании, где солнечные коллекторы используются с сезонным хранением для централизованного отопления. Тепловая энергия солнца используется в разных видах и в разных диапазонах температур. Технологии получения тепловой энергии солнца обеспечивают выработку тепла, которое можно использовать для любых низкотемпературных типов использования тепла в зданиях, включая отопление и подогрев воды, а также охлаждение с использованием холодильных установок, работающих на тепле.

Сегодня большинство систем, использующих энергию солнца для выработки тепла, основаны на применении системных пакетов, предоставляемых производителями и продавцами систем, которые монтажники комбинируют с различными резервными нагревателями на месте [22,23]. В основном, существует два типа систем для получения тепловой солнечной энергии:

1. Системы для подогрева воды с помощью энергии солнца: используются только для подогрева бытовой воды;
2. Комбинированные системы с использованием солнечной энергии: используются для подогрева бытовой воды и отопления.

В многоквартирных домах можно использовать оба типа солнечных тепловых систем. Доля солнечной энергии в таких системах варьирует от 20 до 60% в зависимости от того, используется ли солнечное тепло только для подогрева бытовой воды или и для подогрева воды, и для отопления.

Другие примеры применения солнечных тепловых систем (>30 м<sup>2</sup>) в Европе продвигает проект "SOLARGE – Более активное применение солнечных тепловых систем в многоквартирных домах, гостиницах, государственных и общественных зданиях в Европе"<sup>24</sup>.



(a)<sup>25</sup>

(b)<sup>26</sup>

Рис. 53. Пример установки солнечных коллекторов с интеграцией в фасад многоквартирного здания: (a) 176 м<sup>2</sup> солнечных тепловых коллекторов для подогрева горячей воды; (b) солнечный коллектор в виде двойного фасада.

Разработка солнечных коллекторов включает следующие темы:

- Спектрально избирательные покрытия для поглотителя и значения поглощения в пределах 95% для солнечного излучения и менее 10% инфракрасного радиационного излучения.
- Внедрение пластмасс (специальных полимеров) в производство коллекторов для снижения затрат.
- Использование сверхпрозрачного стекла с низким содержанием железа в качестве крышки и специального антибликового покрытия для дальнейшего повышения эффективности.
- Аэрогели, высоковакуумная изоляция и прозрачные сотовые материалы для изоляции солнечных накопителей.
- Интеграция в оболочку здания для обеспечения эстетически привлекательной интеграции коллекторов в крышу и фасад здания.
- Гибрид солнечной батареи и солнечного коллектора.
- Важным элементом проектирования солнечных коллекторов является разработка теплового хранилища, которая охватывает следующие вопросы:

24 Источник: <http://www.solarge.org>

25 Источник: <http://www.euroasiaindustry.com/article/largest-facade-solar-collector-surface-in-czech-republic-provides-environmentally-friendly-energy-for-200-people>

26 Источник: <http://abduqadirbayz.blogspot.com/2012/12/renewable-energy-categories.html>

- Аккумуляция скрытой теплоты (неорганические соли, парафины и др.), например, хранилище льда, панели и модули из материала с обратимыми фазами (МОФ);
- Термохимическое хранилище (химические реакции), например, силикагель и вода; цеолит и вода.
- Улучшение процессов зарядки и разрядки аккумулирующей емкости (новые материалы и геометрия теплообменников и т.д.)

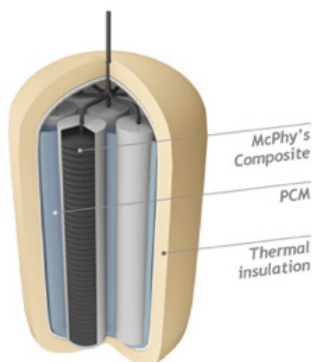


Рис. 546. Пример емкости для аккумуляции тепловой энергии из МОФ: Стационарная адиабатическая емкость МакФи<sup>27</sup>

Аккумуляторные емкости для тепловой энергии из МОФ находятся на стадии разработки и массово не выпускаются.

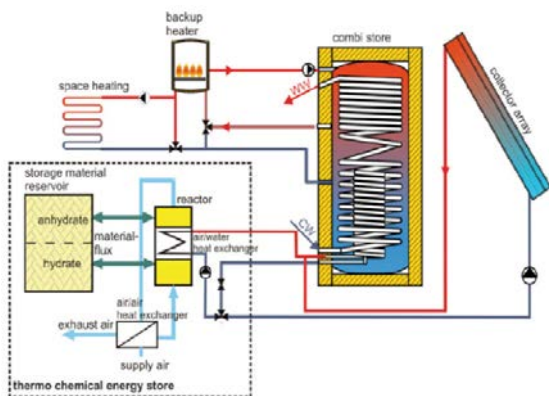
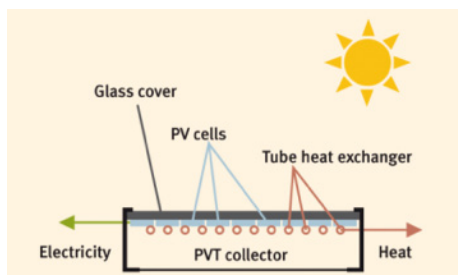


Рис. 557. Схема компактной системы для хранения тепловой энергии с отдельным реактором и краткосрочным комбинированным хранилищем [24].

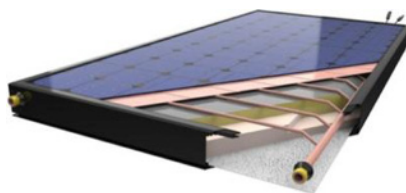


Space heating	Отопление
Backup heater	Резервный нагреватель
Combi store	Комбинированное хранилище
Collector array	Коллекторная система
WW	Теплая вода
CW	Холодная вода
Storage material reservoir	Емкость для хранения материала
Anhydrate	Ангидрид
Hydrate	Гидрат
Material flux	Поток материала
reactor	Реактор
Air/water heat exchanger	Теплообменник воздух/вода
Air/air heat exchanger	Теплообменник воздух/воздух
Exhaust air	Отработанный воздух
Supply air	Поступающий воздух
Thermochemical energy store	Термохимическое хранилище энергии

Гибридные коллекторы вырабатывают и тепло, и электроэнергию. Обычно они обеспечивают максимальную эффективность за счет преобразования солнечного излучения в энергию для здания.



(a)<sup>28</sup>



(b)<sup>29</sup>

Рис. 568. СБ/СК: (а) Схематическое изображение неостекленного гибрида солнечной батареи и солнечного коллектора; (б) остекленного гибрида солнечной батареи и солнечного коллектора

28 <http://www.bine.info/en/topics/energy-systems/cogeneration/publikation/solardaecher-doppelt-nutzen/>

29 <http://zerocarbonsolution.co.uk/wp-content/uploads/2014/05/volther-powervolt-200w.jpg>

Неостекленные гибридные солнечные коллекторы, сочетающие в себе фотоэлектрический модуль и теплообменник для снижения температуры фотоэлектрического модуля, уже представлены на рынке. Они обеспечивают горячее водоснабжение только в комбинации с тепловым насосом.

Остекленные гибриды солнечной батареи и солнечного коллектора, в которых фотоэлектрический модуль абсорбер-сандвич встроены в корпус коллектора и подогревает воду без тепловых насосов, все еще находятся в стадии разработки [24].

### 8.1.2. Солнечные фотоэлектрические панели

Большое разнообразие вариантов применения фотоэлектрических панелей определяет разнообразие различных технологий на рынке: от дешевых технологий с низкой эффективностью до более дорогостоящих высокоэффективных технологий [25]. ФЭ панели – один из вариантов производства электроэнергии почти во всех регионах мира, включая Беларусь.

Затраты на ФЭ системы все еще относительно высоки, хотя их стоимость быстро снижается в результате совершенствования технологий и экономии за счет больших объемов и масштабов производства. Высокие инвестиционные затраты или общие системные затраты являются самым серьезным препятствием к применению сегодня ФЭ панелей [25].

Существует несколько технологий выработки электроэнергии за счет энергии солнца. В большинстве своем на рынке представлены модули из кристаллического кремния (с-Si) (около 80-90%). Модули из кристаллического кремния подразделяются на две основные категории: (1) монокристаллический кремний (sc-Si) и (2) поликристаллический кремний (mc-Si).

В остальном на рынке представлены тонкие пленки. Они делятся на три основные группы:

1. Аморфный (a-Si) и микроморфный кремний (a-Si/ $\mu$ c-Si).
2. Кадмий-теллурид (CdTe).
3. Медь-индий-диселенид (CIS) и Медь-индий-галлий-диселенид (CIGS).

Новые концепции выработки электроэнергии из солнечной будут направлены на создание сверхвысокоэффективных фотоэлементов путем применения передовых материалов и новых концепций и процессов преобразования энергии, например, наноструктур, пространственных солнечных концентраторов и т.д.

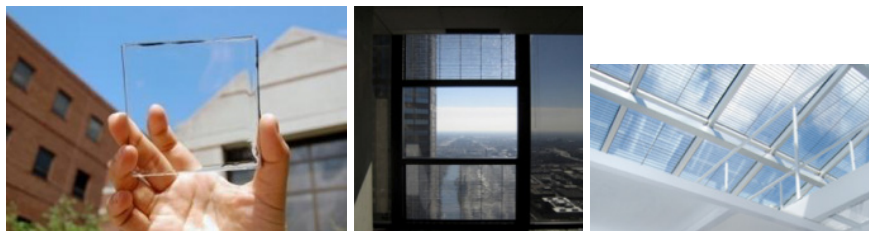
Постоянно улучшаются технические характеристики ( $\text{kВтч}$  на установленную мощность  $\text{kВт}_p$ ) и рентабельность солнечных батарей, модулей и компонентов системы, причем это касается как существующих, так и новых технологий солнечных батарей, например, органические фотоэлектрические панели. В зависимости от годовичного солнечного излучения в Беларуси, в среднем, выработка энергии может варьировать в диапазоне  $800\text{-}950 \text{ кВт}_{\text{чел}}/\text{kВт}_{\text{тр}}$ .

### Встроенные фотоэлектрические панели

Встроенные фотоэлектрические панели в качестве строительного материала и архитектурного элемента теперь отвечают техническим, функциональным и эстетическим требованиям.

### Фотоэлектрические панели в окнах

Фотоэлектрические панели, встроенные в остекление, обеспечивают затенение и вырабатывают электроэнергию. Все типы фотоэлектрических панелей могут встраиваться в стекло и (или) наноситься в качестве пленки на стекло, но только тонкопленочные фотоэлементы будут прозрачными. Другой вариант - это встраивание фотоэлементов в систему затенения от солнца.



(a)

(b)<sup>30</sup>

Рис. 57. Фотоэлементы, встроенные в остекление: (a) Прозрачный люминесцентный концентратор солнечной энергии [26]; (b) Солнечные окна.

30 <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-pv-windows-bipv-building-integrated-photovoltaics-technology-by-pythagoras-solar/>

## 8.2. КОМБИНИРОВАННЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сочетание постоянно имеющихся в наличии возобновляемых источников энергии внутри системы особенно полезно в том случае, когда существует более постоянная потребность в тепле, а общая эффективность системы серьезно зависит от способа комбинирования различных источников [27].

Учитывая огромное внимание к этой теме и происходящий в настоящее время переход от использования ископаемого топлива к возобновляемой энергии, рынок возобновляемых энергетических технологий растет, и развиваются новые направления энергетических технологий.

### 8.2.1. Солнечная тепловая энергия и биомасса

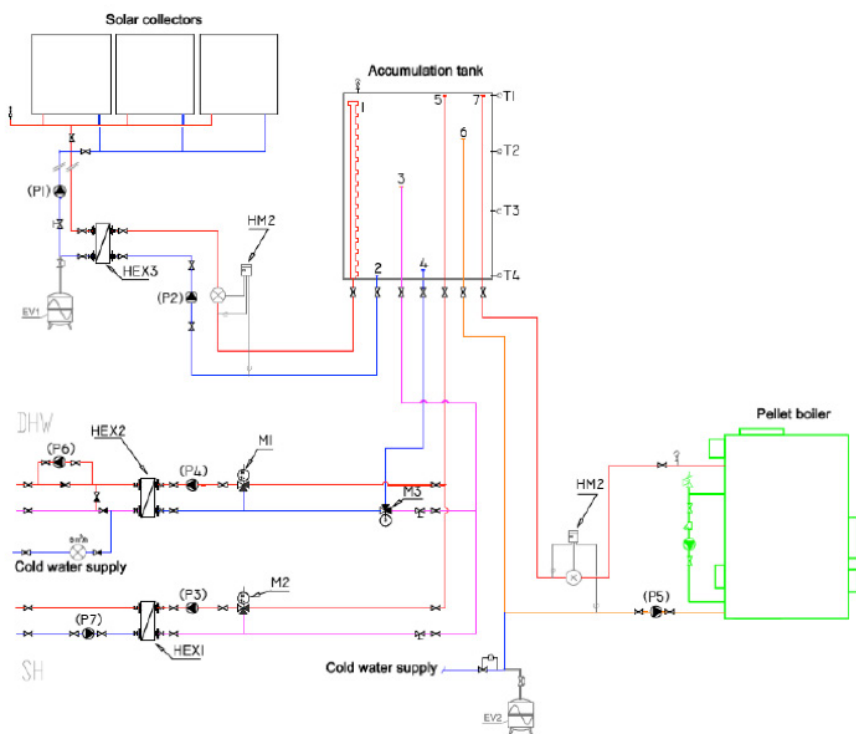


Рис. 58. Система отопления многоквартирного жилого дома с использованием солнечной энергии и котла на пеллетах [28].

Биомасса - один из наиболее изобильных и хорошо используемых источников возобновляемой энергии в мире, а солнечная энергия бесплатная. Такая комбинация возобновляема на 100%. Котел, работающий на биомассе, можно с легкостью использовать для покрытия пиковых нагрузок, и он будет работать, когда тепла от солнечной тепловой системы будет недостаточно.

В случае высокой сезонности в потребности в тепле из-за сезонных колебаний температур, а также, учитывая, что котлы на биомассе работают наиболее эффективно на нормальной мощности, рекомендуется устанавливать каскадные системы из двух или более котлов.

Solar collector	Солнечный коллектор
Accumulation tank	Накопительная емкость
Pellet boiler	Котел, работающий на пеллетах
Cold water supply	Поступление холодной воды

### 8.2.2. Солнечная термальнная энергия и тепловой насос

Учитывая, что удовлетворение 100% потребности в тепле за счет использования установок для выработки тепловой энергии из энергии солнца, нецелесообразно, тепловые насосы в зданиях с высокими энергетическими характеристиками могут быть очень хорошим вариантом.

На рынке имеется несколько типов систем. У каждой из них есть свои преимущества и недостатки.

На нижеследующих рисунках 51-54 имеются следующие обозначения:

BOREHOLE	СКВАЖИНА
HEAT PUMP	ТЕПЛОВОЙ НАСОС
HEATING SYSTEM	СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ
STORAGE	ХРАНИЛИЩЕ
HW	ГОРЯЧАЯ ВОДА
CW	ХОЛОДНАЯ ВОДА
SOLAR COLLECTOR	СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР

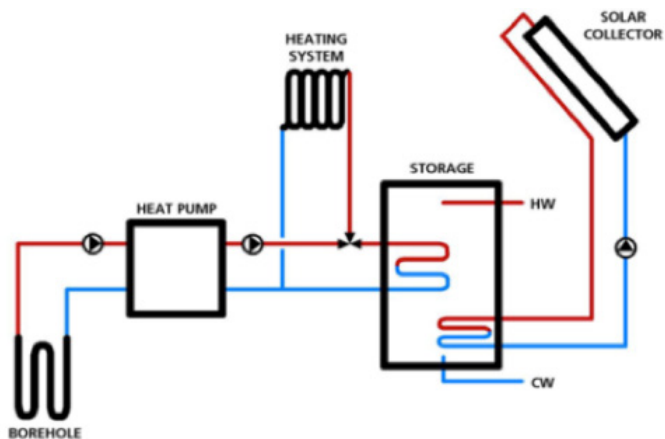


Рис. 59. Гидравлическая схема «Система тип 1 «Один рядом с другим» [29].

*Описание системы:*

Компоненты системы располагаются рядом, один за другим и не взаимодействуют напрямую; тепловой насос и солнечный коллектор работают по отдельности. Использование солнечной энергии исключительно для подогрева воды. Основное преимущество системы (помимо того, что вода частично подогревается за счет энергии солнца, сокращая объем тепла, который должен выработать тепловой насос) - это снижение средней необходимой температуры тепла, вырабатываемого тепловым насосом, на входе [29].

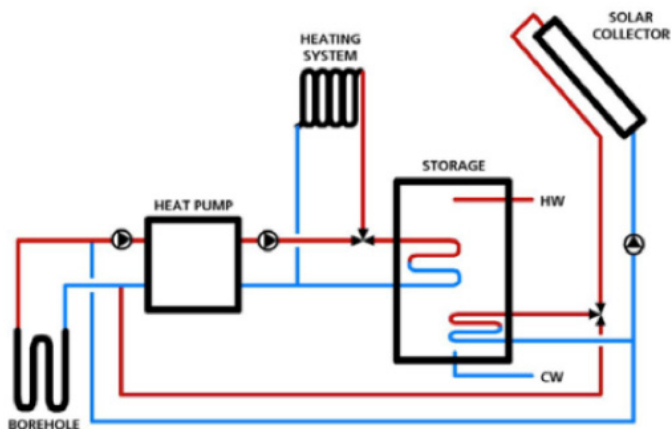


Рис. 60. Гидравлическая схема «Система тип 2 «Активная регенерация» [29].

### Описание системы:

Активное использование солнечной энергии для регенерации грунтового источника тепла. Активная регенерация вызывает дегидратацию / осушение грунта вокруг буровой скважины. Этот факт представляет собой (по-видимому, незначительный) недостаток с точки зрения естественной регенерации. Еще одна проблема, связанная с активной регенерацией, - это отток накопленной энергии с грунтовыми водами. Этот процесс может серьезно ослабить преимущество активной регенерации буровой скважины и зависит от местных условий. Система позволяет увеличить поступление солнечной энергии и предотвратить простои солнечного коллектора по причине сильного солнечного излучения и низкой потребности в тепле в летний период [29].

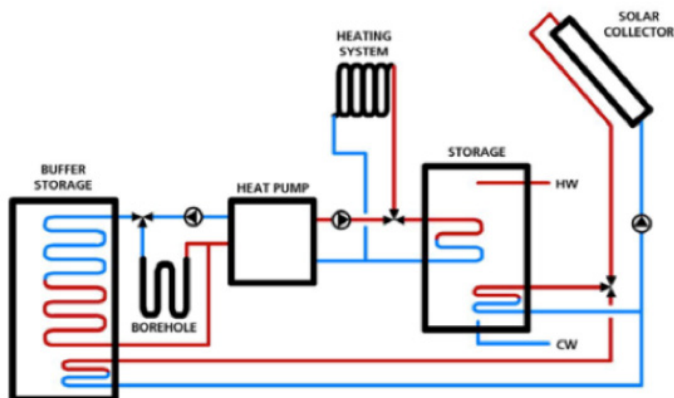


Рис. 61. Гидравлическая схема «Система тип 3 «Большое буферное хранилище» [29].

### Описание системы:

Буферное хранилище имеет большой объем (например, 800 л) и служит в качестве источника тепла для теплового насоса, а в случае недостатка/отсутствия энергии в буферной емкости тепловой насос использует теплообменник скважины. Вследствие наличия множества гидравлических компонентов (в том числе, двух резервуаров для хранения) системе требуется больше места, она дороже и сложна в управлении. В данном случае не предусматривается активной поддержки в регенерации грунтового источника тепла. Система

позволяет более высокие входные температуры для испарителя теплового насоса и поступление большего количества солнечной энергии [29].

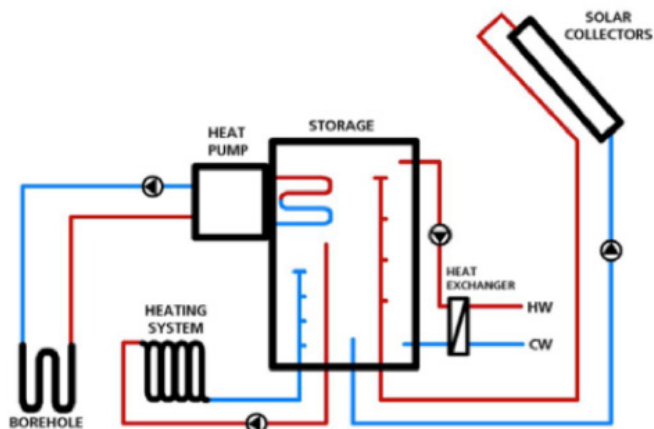


Рис. 54. Упрощенная гидравлическая схема  
«Система тип 4 - «Максимальная интеграция» [29].

#### Описание системы:

Сердцем системы является (запатентованный) многоуровневый резервуар для хранения. Конденсатор теплового насоса помещается прямо в резервуаре. Солнечные коллекторы (часто большей площади, чем обычно) играют ведущую роль в функционировании этой системы; тепловой насос играет второстепенную роль. Здесь не предусматривается активная поддержка регенерации грунтового источника тепла или дополнительный обогрев источника тепла за счет энергии солнца. Сочетание солнечной энергии и теплового насоса похоже на систему №1 - элементы расположены рядом, но интегрированы в основной буферный резервуар (метод комбинированной солнечной системы). Очень компактная и не занимающая много места система с одним регулирующим устройством на всю систему. Подогрев воды для бытовых нужд организован с помощью внешнего теплообменника [29].



### 8.3. МИКРО- И МИНИ-ТЭЦ

Микро- и мини-ТЭЦ - это отопительные системы на уровне жилого района, вырабатывающие электроэнергию в автономном режиме или параллельно сети электрификации. Обычно электрическая мощность  $P_{el}$  не превышает 5 кВт. Сегодня мини-ТЭЦ выпускаются серийно. Основной источник энергии для установки - это высококачественная биомасса (древесные источники), биогаз или биомасло. В установках используются уже известные технологии, например, двигатель Стирлинга, паросиловые циклы, цикл Ренкина на органическом рабочем теле (ORC), двигатели внутреннего сгорания (ДВС) и малые газотурбинные установки. Основной продукт, вырабатываемый ТЭЦ, это тепло, а электроэнергия является побочным продуктом.

Микро-ТЭЦ это сравнительно дорогая технология, а потому имеет отличный потенциал для технической оптимизации и почти не выпускается серийно.

### 9. ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА

Для любых строительных проектов противопожарная защита имеет особую важность, а разделением пожарных отсеков нельзя пренебрегать в угоду каким-либо элементам Пассивного дома. Обычно больше всего вопросов вызывает прокладка вентиляционных воздуховодов, которые могут проходить сквозь несколько пожарных отсеков и которые необходимо проектировать так, чтобы предотвратить распространение пламени и дыма [8].



Рис. 62. Противопожарные клапаны являются необходимым элементом вентиляционного воздуховода, где есть разделение между разными пожарными отсеками [8].

В настоящее время на рынке представлены различные продукты, которые могут использоваться для разделения пожарных отсеков, например, противопожарные заслонки, которые закрываются автоматически либо при повышении температуры (до 72°C), либо по сигналу внешних детекторов дыма. Необходимо обеспечить доступ к противопожарным клапанам, чтобы дать возможность проводить периодическую визуальную проверку и техническое обслуживание, так что их расположение следует тщательно обдумать [8].

Также можно использовать клапаны для холодного дыма, чтобы предотвратить пересекающиеся потоки дыма, если центральная вентиляционная установка будет отключена. Они особенно важны в многоквартирных жилых домах с централизованной системой вентиляции [8].

## 10. ВЫВОДЫ

Высокоэффективное здание в северном (умеренном) климате должно обладать следующими характеристиками и (или) следовать следующим принципам:

1. Высокие стандарты качества технического проекта и на этапе строительства.
2. Очень хорошая изоляция и герметичная оболочка здания. Оболочка здания должна служить не только для тепловой изоляции, она становится многофункциональным элементом, защищающим от действия внешней среды, и при этом используются бесплатные источники энергии, например, ветер, солнце, земля и т.д.
3. Компактная геометрия здания.
4. Высококачественные окна с эффективным затенением от солнца, преимущественно окна, выходящие на юг / оптимальный баланс между естественным и искусственным освещением.
5. Оптимальное (пассивное и активное) использование энергии солнца.
6. Отсутствие тепловых мостиков.
7. Высокоэффективная система вентиляции с утилизацией тепла.
8. Низкотемпературная и сбалансированная система отопления (если это применимо).

9. Эффективные электроприборы и оборудование.
10. Использование возобновляемой энергии для энергоснабжения здания на месте или поблизости.

## **10.1. ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ**

Многоквартирные дома отличаются от всех других типов зданий (например, домов усадебного типа, офисов, школ и т.д.), поскольку только эти дома служат жильем для человека.

Что это значит в контексте проектирования высокоэффективного здания?

- В отличие от школ или офисных зданий, которые могут оставаться свободными длительное время, скорее всего, такие здания заняты 24 часа в сутки, семь дней в неделю. Таким образом, постоянно требуется поддерживать высокий температурный комфорт и хорошее качество воздуха в помещениях.
- Каждый жилец хочет полностью контролировать температуру в своей квартире, поскольку представления о комфорте разнятся от человека к человеку. Этим дом отличается от офиса, школы или торгового центра, где чаще встречается свободная планировка, и где одна и та же температура характерна для всего комплекса. То есть в многоквартирных домах требуется больше элементов управления температурой в помещении на 1 кв.м по сравнению с другими типами зданий.
- Обработанная площадь будет намного меньше по сравнению со всеми другими типами зданий, обычно в диапазоне от 65 м<sup>2</sup> до 125 м<sup>2</sup>. Принимая во внимание более низкие потолки и меньше неиспользуемого / общего / пустого пространства, отапливаемый объем также будет составлять лишь небольшую часть такого объема в промышленных или общественных зданиях. Этот факт может оказать влияние, например, на такие аспекты проектирования как размеры вентиляционного оборудования (оно будет гораздо меньше при использовании в небольших квартирах по сравнению с крупным офисным зданием).
- Если рассуждать практически, меньшая площадь пола означает, что здесь может не поместиться объемное оборудование, такое как большой резервуар для солнечного накопителя, или склад

древесных пеллет для резервного отопления. Однако горячее водоснабжение и отопление можно обеспечить за счет централизованной системы, освобождая при этом ценное пространство. Также необходимо помнить, что в жилых домах обычно не используются радиаторы, чтобы максимально увеличить полезную площадь и убрать ненужные вещи из-под окна.

- В квартирах живут обычные люди, не специалисты, и они обычно слабо знакомы с концепцией здания с низким энергопотреблением или здания с высокими энергетическими характеристиками. Последствия такой ситуации могут проявиться в первые несколько лет после заселения и будут касаться, например, технического обслуживания вентиляционного оборудования с утилизацией тепла или потребности периодической замены фильтров. Такая потенциальная проблема решается, например, посредством использования централизованной системы вентиляции, в которой фильтры будет менять компания, занимающаяся эксплуатацией здания.
- Уровни заселенности, скорее всего, будут гораздо ниже, чем в офисах, школах. Например, значение по умолчанию, используемое в пассивном доме, - 35 м<sup>2</sup> на одного человека. Это, скорее всего, сократит потенциальные внутренние поступления тепла просто за счет тепла, вырабатываемого людьми. Однако такое снижение необходимо уравновесить более высоким внутренним поступлением тепла в среднем на 1 кв. м от работы бытовых приборов и повседневной деятельности, например, приготовления пищи или стирки. При таком равновесии внутреннее поступление тепла в жилых домах будет немного меньше, чем в школах, и значительно меньше, чем в офисных помещениях.
- В жилых домах не будет такого предпочтения или потребности в остеклении от пола до потолка, как в офисном помещении или торговом центре, а поэтому снижается потенциальный риск перегрева по причине нежелательного поступления солнечного тепла. Дополнительное преимущество в данном случае - снижение потерь тепла через остекление [8].

## ССЫЛКИ

1. Max J. Egenhofer and David Michael Mark (2002), Geographic information science: second international conference, GIScience 2002, Boulder, CO, USA, September 25-28, 2002 : proceedings, Springer, p. 110.
2. Important design aspects of a very low energy building. NorthPass – Promotion of the Very low-energy house Concept to the North European Building Market, 2011.
3. IEA energy efficiency indicators database, 2014.
4. Cuce E., Cuce P. M., Wood J. C., Riffat B. S. Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 34(2014)273–299 pp.
5. Active for more comfort: Passive House. Information for property developers, contractors and clients. 2014. Passive House Institute (PHI). [www.passivehouse.com](http://www.passivehouse.com)
6. Passivhaus primer: Designer’s guide. A guide for the design team and local authorities. Passivhaus BRE Bucknalls Lane Watford Hertfordshire WD25 9XX, UK.
7. EU project INTENSE, Handbook “Building physics”, 2011.
8. Design Guidelines – Non-Domestic Passive House Projects. SEAI Renewable Energy Information Office and MosArt Architecture.
9. Paul Nutcher. Enhancing Energy Performance with Balcony Thermal Breaks. The Construction Specifier, Official Magazine of CSI. 2014.
10. Very Low-Energy House Concepts in North European Countries. NorthPass – Promotion of the Very Low-Energy House Concept to the North European Building Market. 2012.
11. M. Limb, «Technical note AIVC 36- Air Infiltration and Ventilation Glossary,» International Energy Agency energy conservation in buildings and community systems programme, 1992.
12. Passivhaus primer: Designer’s guide. A guide for the design team and local authorities. Passivhaus BRE. UK.
13. Ventilation in Multifamily Buildings. Buildings Technologies Program. U.S. Department of Energy, 2011.
14. IDES-EDU course lectures and materials, 2013.
15. Guide to low temperature Heating. Purmo United Kingdom, 2012.
16. The Pro Radiator Programme. R&D department of Rettig ICC, 2008.
17. D. van Dijk. Standardized calculation methods in relation to the EPBD. TNO Energy and Comfort Systems, 2013.

18. Volume 28 of Research Group Cost Efficient Passive Houses: Heat Transfer and distribution losses in Passive Houses. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2004
19. Robert McDowall. Fundamentals of HVAC systems. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 2007.
20. CIBSE Guide F. Energy Efficiency in Buildings, 2012.
21. ASHRAE RP 884, Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, 2001.
22. Technology Roadmap: Solar Heating and Cooling, IEA, 2012.
23. Solar Heating and Cooling Technology Roadmap, European Solar Thermal Technology Panel (ESTTP) of the RHC-Platform, 2014.
24. Strategic Research Priorities for Solar Thermal Technology. European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling, 2012.
25. Roadmap Solar photovoltaic energy. IEA, 2010.
26. Yimu Zhao, Garrett A. Meek, Benjamin G. Levine, Richard R. Lunt. Light Harvesting: Near-Infrared Harvesting Transparent Luminescent Solar Concentrators (Advanced Optical Materials 7/2014). Advanced Optical Materials, 2014.
27. The Cross-cutting Technology Roadmap. European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling, 2013.
28. Zandeckis A., Rochas C., Rosa M., Blumberga D., Silins K., Timma L. Solar, pellet combisystem for apartment buildings. Institute of Energy Systems and Environment, RTU. 2011.
29. H. M. Henning, M. Miara. Systems using solar thermal energy in combination with heat pumps. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2008.

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

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

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

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

