

Глава 8

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Основные принципы проектирования и строительства энергоэффективных зданий по пассивной технологии

Конец XX и начало XXI века отмечены разработкой и внедрением новых энергосберегающих технологий в проектировании и строительстве зданий.

Толчком к разработке энергосберегающих технологий послужил энергетический кризис 1974–1975 годов. Многие люди (ученые, производственники, государственные деятели и др.) стали задумываться об экономии энергоресурсов, так как, по оценкам ряда экспертов, запасов основных источников углеводородов (нефти, газа, угля) осталось на 50–80 лет.

Сохранение энергоресурсов в современном мире — одна из самых актуальных задач. По подсчетам специалистов, половина получаемой энергии расходуется на жилые дома и сооружения. Возведение энергоэффективных зданий становится приоритетной задачей. Эксперты утверждают, что строительство энергоэффективных зданий может оказать серьезную помощь в борьбе с наступающими финансовыми (и, возможно, экономическими) кризисами. Последние десятилетия показывают, что данное утверждение все больше имеет право на жизнь: растут цены на электричество и тепло, остро стоит вопрос эксплуатационных затрат на жилье. И этот процесс набирает обороты.

В 1972 году в Манчестере (штат Нью-Гэмпшир, США) было разработано и построено здание кубической формы, что обеспечивало минимальную поверхность наружных стен; при этом площадь его остекления не превышала 10 %, что позволяло уменьшить потери тепла за счет объемно-планировочного решения. По северному фасаду остекление отсутствовало вовсе. Покрытие плоской кровли было выполнено в светлых тонах, что уменьшало ее нагрев и, соответственно, снижало требования к вентиляции в теплое время года. На кровле здания были установлены солнечные коллекторы.

В 1988 году доктор В. Файст (Германия) и профессор Б. Адамсон (Швеция) предложили технологию строительства энергосберегающих зданий, которую называли «пассивным» домостроением (нем. Passivhaus, англ. passive house).

По немецкой классификации энергоэффективный дом — это дом с ничтожно малым энергопотреблением, здание со столь малым расходом тепловой энергии на отопление, что отдельная система отопления становится ненужной: необходимое тепло можно подвести благодаря уже имеющейся системе вентиляции. При этом максимально допустимый годовой удельный расход тепловой энергии на отопление здания, относящийся к жилой площади, должен составлять ≤ 15 кВтч/(м²·год). Обязательным условием для соблюдения качества воздуха в прочих помещениях является контролируемая система вентиляции. При этом следует избегать рециркуляции воздуха. Тем не менее приточный воздух этой обновленной системы вентиляции можно использовать для транспортирования небольшого количества тепла (летом — холода). Все живые организмы, находящиеся в здании, выделяют определенное количество тепловой энергии. Так, спокойно сидящий человек имеет тепловую мощность 120 ватт. В Германии разработана шкала, с помощью которой удобно классифицировать здания по энергоэффективности (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Расход тепловой энергии по типам зданий в Германии

Индивидуальный жилой дом общей площадью 140 м ²	Годовой расход, кВтч/м ³ ·год	Удельный расход тепла, кВтч/м ²
Старое строение	300	136
Типовой дом 1970-х гг.	200	91
Типовой дом 1980-х гг. XX века	150	68
Дом низкого энергопотребления 1990-х гг.	0–70	14–32
Дом ультранизкого энергопотребления	30–15	14–7
Современный «пассивный» дом	<15	<7

Доктором Вольфгангом Файстом и другими учеными-строителями были разработаны критерии для строительства «пассивных» домов:

- удельный расход тепловой энергии на отопление не должен превышать 15 кВтч/(м²·год);
- общее потребление энергии для всех бытовых нужд (отопление, горячая вода и электрическая энергия) не должно превышать 120 кВтч (м²·год).

Помимо этого, в «пассивном» доме должно быть по-летнему комфортно без использования кондиционера; дом должен оказывать минимальное негативное влияние на окружающую среду.

На рис. 8.1 показано поперечное сечение первого «пассивного» дома, построенного в городе Дармштадте (ФРГ). Рисунок отражает основные принципы, ведущие к энергоэффективному строительству зданий:

- уменьшить теплопотери;

- оптимизировать теплопоступления из зданий и альтернативных источников тепловой энергии.

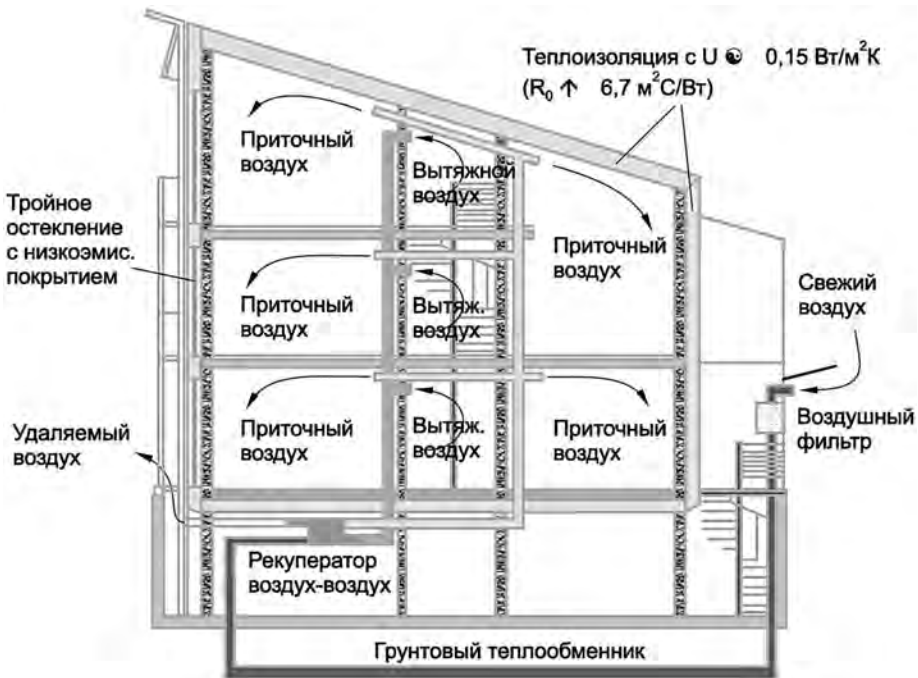


Рис. 8.1. Поперечное сечение «пассивного» дома: массивная теплоизоляция, специальные окна для «пассивного» дома и система вентиляции с рекуперацией тепла

Как известно, расход тепловой энергии зданий в России обычно составляет $400\text{--}600 \text{ кВтч/м}^3 \cdot \text{год}$. За счет чего же, собственно, происходит колоссальная экономия тепловой энергии в «пассивном» доме? Технология «пассивного» дома основана на нескольких «китах», или основополагающих положениях.

Важнейшим мероприятием является снижение теплопотерь за счет тотальной теплоизоляции. Утепление наружных стен — самый дорогостоящий и трудоемкий процесс — обеспечивает снижение тепловых потерь примерно на 12–15 %. Тем не менее технология «пассивного» дома предусматривает эффективную теплоизоляцию всех ограждающих поверхностей — не только стен, но и пола, потолка, чердака, подвала и фундамента. Следует помнить, что потери тепла можно уменьшить как минимум на 10 %.

- Улучшенная *теплоизоляция* стандартных строительных элементов — задача № 1 «пассивного» дома. За последние годы был разработан ряд конструкций наружных стен, пригодных для пассивных зданий (рис. 8.2). Приведем несколько примеров таких конструкций:
 - теплоизоляционная система наружных стен с толщиной эффективной теплоизоляции $> 25 \text{ см}$;

- элементы стен из деревянных щитов с двутавровыми легкими балками с более чем 30-сантиметровым слоем теплоизоляции;
- многослойные стеновые элементы заводской готовности с теплоизоляцией из пенополиуретана;
- элементы из легкого бетона с интегрированной теплоизоляцией и т. д.

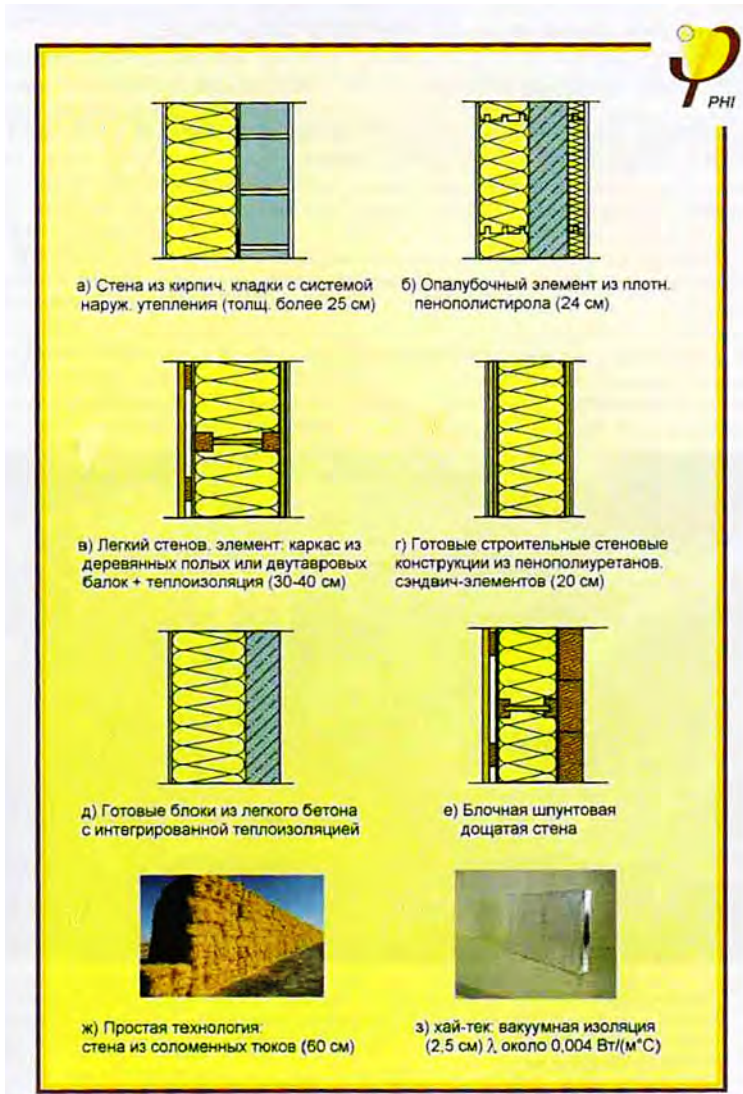


Рис. 8.2. Конструкции наружных стен, пригодные для «пассивных» зданий

В Северной Америке очень популярен метод строительства с использованием тюков из соломы и других природных материалов. Очень привлекательна вакуумная теплоизоляция, с помощью которой можно достичь низкого значения коэффи-

циента теплопередачи уже при толщине от 2,5 см. Разрабатываются и конструкции из пористого бетона в комбинации с теплоизоляцией из минеральной ваты.

- Следующим мероприятием является уменьшение «тепловых мостов» за счет качественного выполнения работ.

«Тепловые мостики»

«Тепловые мосты», или «мостики» (их еще иногда называют «мостиками холода») — это такие участки в ограждающих конструкциях зданий, в которых вследствие геометрических условий, а также в результате совместного применения различных по своим параметрам материалов создаются условия для распространения тепла в двух или трех измерениях. Обобщенно говоря, такие участки являются «слабыми звеньями» в теплоизоляции, и в этих областях происходит утечка большого количества тепла через участок небольшой площади.

Некоторые «тепловые мостики» отличаются неблагоприятными конструктивными деталями: например, если балконная плита термически не отделена от железобетонного перекрытия, то добавочные теплотери этого «холодного ребра» становятся значительными. Другой пример — стыки стен из разных материалов или места стыка окон и стен. На рис. 8.3 показан стык между теплоизоляцией плиты перекрытия над подвалом и теплоизоляцией наружной стены.

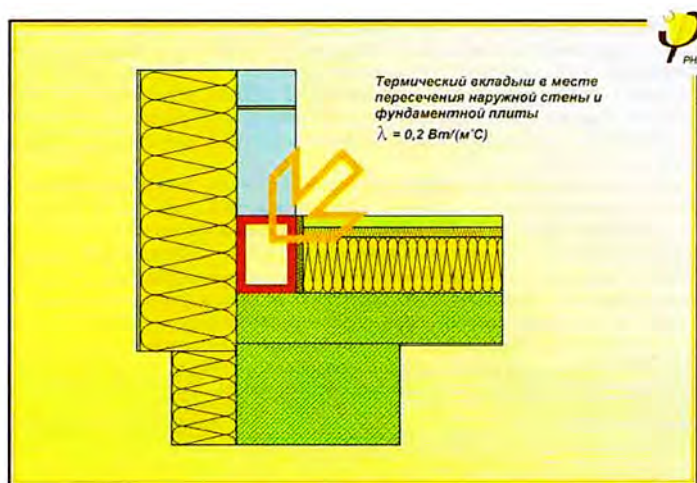


Рис. 8.3. Стык с минимальными теплотерями между теплоизоляцией плиты перекрытия над подвалом и теплоизоляцией наружной стены

Итак, «тепловые мостики» возникают либо там, где стыкуются друг с другом строительные материалы с различной теплопроводностью, либо там, где неизолированные детали входят в изолированные площади, либо там, где стеновые зоны расположены структурно и, как следствие, термически слабее.

Мы уже обращались в этой книге к теме «тепловых мостиков» (см. главу 2). Чтобы не повторяться, предлагаем читателю посмотреть на рис. 2.13, демонстри-

рующей места образования «тепловых мостиков», наиболее часто встречающиеся в жилых домах.

Необходимо отметить, что «тепловые мостики» не только приводят к большим потерям тепла, но и имеют другие негативные последствия:

- резко снижается комфорт внутри здания вследствие разницы температур внутренних поверхностей помещений из-за холодных стыков ограждающих конструкций;
- в местах прохода «тепловых мостиков» на холодной поверхности конструкции происходит конденсация влаги в форме росы, а это приводит к росту плесени, образованию трещин, пропитыванию влагой углов стен;
- комплексное воздействие неблагоприятных факторов ведет к различным повреждениям в конструкции здания.

Чтобы избежать возникновению «тепловых мостиков», необходимо принимать особые меры:

- утеплять стыки, где конструктивные элементы соединяются между собой или проходят друг через друга;
- тщательно изолировать теплоизолирующим материалом взаимопроникающие и выступающие конструктивные элементы (например, балконные плиты и др.);
- дополнительно теплоизолировать несущие конструкции здания.

Как пишет доктор В. Файст, конструирование без «тепловых мостиков» определяется следующим образом: влияние, вызванное «тепловыми мостиками», должно очень мало или равно нулю.

- Третьим мероприятием является *герметизация здания*. Наружные оболочки зданий должны быть воздухонепроницаемыми. Существенная доля тепловых потерь в зданиях приходится на всевозможные щели и отверстия. Причины этих дефектов заключаются в некачественной заделке вентиляционных шахт и дымоходов, негерметичности в подвалах и нижних этажах зданий и т. д. Однако, как отмечают многие исследователи, принцип воздухонепроницаемости вызывал и вызывает ожесточенные споры в среде строителей. Ключевая составляющая этих споров — неправильное представление и даже убеждение, что через неплотности наружной оболочки здания можно гарантировать в квартирах достаточную приточную и вытяжную вентиляцию.

Иногда говорят, что стены и другие ограждающие конструкции здания должны «дышать», т. е. «пропускать воздух». В реальности же главным требованием должна быть не воздухопроницаемость наружных элементов зданий, а их *паропроницаемость*. Это позволит избежать повреждения здания сыростью и обеспечить в нем комфортный климат.

Воздухообмен через негерметичные швы в наружных стенах изменяется в зависимости от напора ветра и температурных колебаний в крайне широких пределах. Зачастую воздушного потока через швы для вентиляции здания недостаточно,

поэтому на вентиляцию через неплотности швов положиться нельзя, а вот попадание в конструкцию атмосферных осадков возможно. И эти участки конструкции начинают сыреть.

Если воздушный поток проходит изнутри наружу, то результаты такого «дыхания стен» еще хуже. Теплый влажный воздух помещения охлаждается, проходя через шов, и, выходя наружу, может уже не содержать прежнего процента влажности, так как в холодном воздухе содержится небольшой процент водяного пара. Лишняя влага станет конденсироваться в шве, т. е. конструкция начнет насквозь пропитываться влагой. Недостатки такой вентиляции — это плохая звукоизоляция и излишне высокие теплопотери.

Негерметичности чаще всего встречаются на стыках и переходах между конструктивными элементами здания — особенно в тех случаях, когда не предпринимается никаких специальных мер по их уплотнению (таких как штукатурные работы, проклеивание, изолирующие ленты и т. д.).

Если основные герметические конструкции выбраны правильно, то всё остальное будет зависеть от воздухонепроницаемости стыков между строительными элементами. По словам доктора В. Файста, опыт показывает, что воздухонепроницаемости легко достичь, но для этого необходимо:

- стараться запроектировать все элементы в простом исполнении;
- выполнить большие замкнутые поверхности с применением надежных и испытанных ранее основных конструкций;
- строго выполнять принципы по устройству стыков;
- минимизировать сквозные проколы оболочки.

Проколы (разрывы) герметичной оболочки зданий причиняют большие неприятности, поэтому по возможности необходимо сокращать количество проколов. Для решения этой проблемы нужно использовать вспомогательные средства: воздухонепроницаемые монтажные коробки для электрики, специальные воздухонепроницаемые манжеты, уплотнения с помощью гипса, пластичного раствора и т. д.

- Четвертым мероприятием является применение для «пассивных» зданий специальных окон. Чтобы получить от технологий «пассивного» дома максимальный эффект, применяют современные двух- или трехкамерные конструкции окон. Внутри стеклопакетов закачиваются газы, имеющие низкую теплопроводность. Стекла в этих окнах обрабатываются особым образом; также применяется специальная конструкция примыкания окон к стенам. Как отмечают многие исследователи, теплопотери через прозрачные поверхности должны быть незначительными, а потери по периметру окон — минимальны.

Развитие технологии остеклений ведет к постоянно сокращающимся теплопотерям. С 1984 по 1995 год обычно использовали двойное остекление с $U \approx 3$ Вт ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$) ($R_0 = 0,33$ м²/Вт). Благодаря этому теплопотери стали примерно в два раза меньше, но на внутренней поверхности стекла все же постоянно образовывался конденсат. В результате многочисленных

исследований (и с введением изменений в «Постановление по тепловой защите») остекления, устанавливаемые в «пассивном» доме, обычно имеют три стекла (двухкамерные) с двумя слоями низкоэмиссионного покрытия и с заполнением криптоном или аргоном. Температура на внутренней поверхности остекления примерно равна температуре внутри помещения, и применение отопительного прибора под окном становится ненужным. Оконный блок 1230×1480 мм с двухкамерным низкоэмиссионным стеклопакетом, заполненный газом (аргоном), должен иметь теплопроводность не более 0,8 Вт/м²·°С. Фирма VEKA AG разработала специальную систему ToplinePlus с теплопроводностью рамы и створки 0,74 Вт/м²·°С, одной из первых получив соответствующий сертификат, позволяющий использовать ToplinePlus в проектировании и строительстве «пассивных» зданий. Немецкие исследователи пишут, что оконные системы VEKA — хороший спутник теплого и безопасного дома. Далее они отмечают, что в России большой интерес вызвала система VEKA Sunline — «раздвижная система», позволяющая решать проблемы остекления балконов и лоджий любой конфигурации.

Более подробно об использовании различных типов окон и остекления, а также возможности использовать их в качестве солнечных коллекторов, сказано в работах В. Файста (Германия), Адамсона (Швеция), Г. Бадьина (Россия).

Как уже отмечалось выше, по расчетам специалистов в «пассивных» домах теплотери через ограждающие конструкции не должны превышать 15 кВт с 1 м² отапливаемой площади в год, что в 20 раз ниже, чем в обычных зданиях.

Рекуперация тепла и вентиляция — основа создания современных условий для проживания человека

В энерго- и экологически эффективных зданиях, построенных на принципах «пассивного» дома, используется специальная система вентиляции — precisely-вытяжная с рекуперацией тепла. Процесс забора теплого, но отработанного, воздуха из дома и подача в него свежего, теплого, обогащенного кислородом происходит следующим образом: рядом с домом устанавливается подземный воздухопровод, снабженный рекуператором (теплообменником), куда нагретый «домашний» воздух с помощью специальных вентиляторов забирается из здания и направляется в теплообменник, где передает тепло холодному, свежему, забранному из окружающей природной среды, воздуху. Отработанный «домашний» воздух после отдачи тепла выбрасывается на улицу. Свежий природный воздух нагревается частично за счет отработанного «домашнего» воздуха, ча-

стично — от контакта с землей и частично (если возникает необходимость — главным образом в холодную погоду) — за счет использования маломощных нагревателей или кондиционеров, осуществляющих минимальную регулировку температурных условий.

Согласно немецким источникам, доля возврата тепла в пассивных зданиях составляет 75 % от исходного «домашнего» воздуха. Необходимо отметить, что в «домашнем воздухе» содержится большее количество CO_2 , которое без вентиляции квартиры все время увеличивается. Подавляющее большинство пользователей оценивают качество воздуха при концентрации CO_2 ниже 0,1 % как хорошее. Человек в наших квартирах сам является главным источником CO_2 , поэтому ему требуется около 25–30 м³ свежего воздуха в час. В квартирах на 3–5 чел. нормативное поступление свежего воздуха составляет 90–150 м³/ч.

Благодаря непрерывному движению воздуха обеспечивается постоянное удаление влаги, что также является одним из условий комфортного проживания в квартире. Итак, устройство системы вентиляции в зданиях необходимо выполнять и проектировать тщательным образом. Как отмечают многие проектировщики, скорость потока в вентиляционных каналах при нормальном режиме эксплуатации не должна превышать 3 м/с.

Как показывает опыт строительства и эксплуатации «пассивных» зданий в Германии, большое значение имеет правильное проектирование помещений, из которых удаляется вытяжной и нагнетается приточный воздух. Это позволяет удобно расположить магистрали воздуховодов приточного и вытяжного воздуха. Кроме того, такое размещение позволяет сделать трубопроводы других систем (холодная и горячая вода, канализация) более короткими, что в совокупности уменьшает потери энергии и снижает капитальные затраты.

По словам доктора В. Файста, вентиляционная установка служит преимущественно для воздушной гигиены. Поэтому необходимо обратить внимание на гигиенически безупречный воздуховод.

Автоматизированная система управления техническими устройствами в здании — дополнительная экономия тепловой энергии

Дополнительной экономии тепловой энергии можно добиться за счет использования автоматизированной системы управления всеми техническими устройствами в здании. Применение такой системы позволяет экономить энергию множеством различных способов (к примеру, снижать температуру помещения во время отсутствия людей или в ночное время). С помощью таких систем человек сможет регулировать отопление и освещение здания, даже находясь за его пределами, — посредством интернета или мобильной связи.

Огромный потенциал заложен в использовании качественного, современного оборудования. Сегодня для «пассивных» домов часто применяют «умное» отопительное оборудование. Например, двухконтурный газовый котел ARISTON MicroGenusPlus предусматривает установку системы климат-контроля в помещении. Эта система автоматически регулирует интенсивность отопления в зависимости от температуры на улице. Ее можно запрограммировать как на сутки, так и на каждую неделю.

Большое значение для энергоэффективных зданий имеют экономичность и высокий КПД используемого оборудования. В этом направлении значительный интерес представляют разработанные и применяемые газовые теплогенераторы, созданные с применением конденсационных технологий. Так, теплогенератор ARISTON ASCO имеет более чем 100%-ный номинальный коэффициент полезного действия. Это становится возможным благодаря рекуперации дополнительной энергии (теплоты парообразования).

Оптимальные архитектурно-планировочные решения зданий — резерв экономии тепловой энергии

Крайне редко в литературе уделяют внимание архитектурно-планировочным решениям зданий, учитывающим в том числе рельеф местности, широтный или меридиональный ее тип и ряд других факторов, что является дополнительным резервом экономии тепловой энергии. Так, при архитектурно-планировочном решении здания шириной 19,1 м по сравнению со зданием шириной 16,4 м при одном и том же периметре, в шестисекционном 312-квартирном доме мы получаем прирост общей площади квартир на 2862 м², что соответствует дополнительно 52 квартирам со средней общей площадью 55 м². Прирост общей площади жилого дома составляет 16,5 %, а периметр вертикальных наружных ограждений увеличивается при этом лишь на 5,4 погонных метра, что составляет всего 1,3 %. Соответственно, снижаются теплопотери с единицы площади через вертикальные наружные ограждения, как и себестоимость 1 м² площади квартир. Иногда при проектировании энергоэффективных зданий используются приемы солнечной архитектуры — т. е. с пассивными и активными элементами поглощения и использования энергии. «Пассивный» дом строится и оборудуется так, чтобы максимально поглощать и использовать солнечное излучение на обогрев и получение горячей воды. Интересны исследования института строительной физики, которые показали, что при меридиональных жилых зданиях односторонние квартиры, оборудованные эркерами, более экономичны по сравнению со зданиями широтных типов в случае ориентации фасадов на северо-восточные (северо-западные) сектора горизонта.

Проектным институтом ЗАО «Казанский Гипростройавиапром» разработана универсальная система крупнопанельного домостроения (УСКД). Проектировщики предложили проект дома с возможностью независимой трансформации его поперечных наружных габаритов в любых поперечных осях. Комбинации из встроенных и пристроенных лоджий, возможность монтажа наружных стеновых панелей с их независимым смещением наружу или внутрь здания в любом поперечном шаге позволяют иметь в одной блок-секции квартиры как эконом-класса, так и повышенной комфортности, или любое их сочетание. При привязке этих домов обнаружилась возможность гибко подстраивать под конкретные условия их инсоляцию.

Опыт строительства энергоэффективных зданий по «пассивной» технологии за рубежом

Первые удачные опыты по строительству зданий по «пассивной» технологии были предприняты в Германии, США и в ряде других городов в конце XX века.

Как уже упоминалось во введении, в 1991 году в Дармштадте (Германия) был построен первый «пассивный» дом (рис. 8.4). Автором разработки и реализации проекта был доктор Вольфганг Файст, а руководителями архитектурной части проекта стали профессор Ботт и архитекторы Риддер и Вестермайер. Здание было построено при поддержке Федеральной земли Гессен: с октября 1991 года в нем проживает четыре семьи. Расход на отопление составил меньше 1 л жидкого топлива в год на 1 м² жилой площади.



Рис. 8.4. Первый «пассивный» дом, Дармштадт (Германия)

В 90-х годах прошлого века доктор В. Файст основал «Институт пассивного дома», который стал генератором идей разработки и реализации проектов «пассивных» домов. Необходимо отметить, что большую помощь «Институту пассивного дома» оказывали и оказывает правительство Германии. В эти же годы в Германии создается «рабочая группа по строительству малозатратных пассивных домов», под надзором которой уже в 1997 году в городе Висбадене был построен первый

поселок, состоящий из «пассивных» домов с 22 таунхаусами и другими зданиями (рис. 8.5).



Рис. 8.5. Первый поселок «пассивных» домов, Висбаден (Германия)

Идеи строительства «пассивных домов» быстро распространяются по всей Европе и приобретают популярность. Стандарт «пассивного» дома становится образцом для последующего строительства. Согласно статистическим данным, в Германии к 1999 году было построено 3 тыс. «пассивных зданий», к 2005 году — примерно 5 тысяч, а к 2010 году их было уже свыше 7 тысяч.

В Финляндии, близ Хельсинки, построили «экодеревню»: на площади 1132 гектара были размещены «пассивные» дома, которые признали энергоэффективными. При ее строительстве были применены современные типы утилизации и рекуперации тепла, такие как использование обратной воды системы теплоснабжения для напольного отопления, утилизация тепла удаляемого воздуха, система естественной вентиляции с дефлекторами новой конструкции, применение солнечных коллекторов, автоматическая система жизнеобеспечения, использование эффективной теплоизоляции в ограждающих конструкциях. Замеры показали, что энергопотребление не превышает $15 \text{ кВтч/м}^3 \cdot \text{год}$.

В Дании, Германии, Финляндии и других европейских странах разработаны и приняты целевые госпрограммы по приведению всех объектов регулярной застройки к условно-пассивному уровню (дома ультранизкого потребления до $30 \text{ кВтч/м}^3 \cdot \text{год}$).

Хочется отметить, что уже в 1971 году в Дании был построен дом с нулевым энергопотреблением на нужды теплоснабжения — так называемый «Зеро-Хаус». Профессор Котугипт в своем проекте для этих целей применил солнечные коллекторы и грунтовые тепловые насосы. В Швейцарии пошли дальше и по проекту доктора Ении построили дом с солнечными коллекторами и фотоэлектрическими панелями, которые удовлетворяют потребностям не только в тепле, но и в электрической энергии.

Развитие идей «пассивного» дома продолжается. Одним из ярких примеров этого развития является построенное в 2001 году в городе Вайце пассивное здание, в котором производится больше энергии, чем расходуется. Это здание такое дало старт к бурному развитию идей энерго- и экологически эффективного строительства.

В США также развиваются идеи строительства зданий, отвечающих самым высоким требованиям экологической и энергоэффективности.

Американский исследователь Дэвид Орт разработал концепцию «пассивного» дома. Перечислим основные составляющие этой концепции:

- применение материалов и конструкций с максимальным сопротивлением теплопередачи для сокращения непродуктивных потерь тепла;
- организация приточно-вытяжной вентиляции с применением рекуператоров, использующих тепло выбрасываемого воздуха для обогрева воздуха, поступающего извне;
- использование природных источников энергии (солнца, ветра, термальных подземных источников) для отопления и горячего водоснабжения.

Ярким примером реализации идей «пассивного» дома служит «солнечный дом». Этот дом отличается от других большой площадью остекления окон с южной стороны и наличием солнечных батарей на крыше, аккумулирующих энергию для хозяйственно-бытовых нужд.

В США и Канаде получил развитие проект ZEB (Zero Energy Building) «Здание с нулевым энергопотреблением». ZEB, в отличие от «пассивных» домов, уделяет повышенное внимание использованию альтернативных источников энергии: ветровых генераторов, солнечных батарей на основе фотоэлектрических преобразователей и т. п. С описанием одного из построенных в США в рамках ZEB экспериментального энергетически эффективного здания инженера Майка Стризки вы могли познакомиться во введении.

Подводя краткие итоги, можно сказать, что зарубежное энергетически эффективное строительство на современном этапе развивается пока в русле использования технологии пассивного энергосбережения.

Развитие энергосберегающих технологий и строительство на их основе домов в России

К сожалению, по различным причинам развитие энергосберегающих технологий в строительстве началось в нашей стране со значительным опозданием. Сегодня большинство зданий России сильно отстают от европейских стандартов энергоэффективности. Так, в зданиях старой постройки энергопотребление достигает $600 \text{ кВтч/м}^3 \cdot \text{год}$, в то время как показатели немецких зданий постройки 1970–1980-х годов составляют примерно $300 \text{ кВтч/м}^3 \cdot \text{год}$, не говоря уже о «пассивных» домах, где стандарт энергопотребления должен составлять $\leq 15 \text{ кВтч/м}^3 \cdot \text{год}$.

Но не всё так безнадежно. Последние 10–15 лет в стране происходят в этом направлении обнадеживающие сдвиги. Так, с 1998 по 2015 год были реализованы проекты энергетически эффективных домов в ряде городов и регионов РФ (в Москве, в Санкт-Петербурге, в Московской области и др.). В частности, в 2002 году в микрорайоне Москвы Никулино-2 был построен многоквартирный дом с низким энергопотреблением, где конструкторы применили тепловую насосную установку для горячего водоснабжения, а также использовали при устройстве оболочки здания конструкции с повышенной теплозащитой.

На фоне энергосберегающих зданий особенно ярко обозначились недостатки домов старой постройки и, главное, нерационального расходования тепловой энергии. Постепенно приходит осознание того, что одной из центральных задач современного этапа экономического развития является проведение энергосберегающей политики. В течение последних лет в той части российского законодательства, которая регулирует отношения, возникающие при осуществлении энергосберегающих мероприятий, происходят существенные изменения. Началом этого этапа можно считать принятие в конце ноября 2009 года Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». Затем был принят базовый закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании», который в 2013 году дополнили параграфом, гласящим, что в технических регламентах в обязательном порядке должны содержаться требования повышения энергетической эффективности. Необходимо отметить, что в Федеральном законе № 261-ФЗ, разработанном во исполнение указа Президента РФ № 889 от 4 июня 2008 года, поставлена задача снижения к 2020 году энергоемкости продукта РФ как минимум на 40 % по сравнению с 2007 годом. Затем идут два действующих технических регламента № 384-ФЗ «О безопасности зданий и сооружений» и № 123-ФЗ «О пожарной безопасности». Распоряжением Правительства РФ № 1047 от 21.06.2010 года утвержден перечень нормативных документов, применение которых на обязательной основе обеспечивает соблюдение требований технического регламента. Поименованные в этом списке СП и национальные стандарты обязательны для выполнения. В настоящее время идет разработка около 100 правовых документов в поддержку исполнения закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». Реализована комплексная Программа разработки нормативных документов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий и сооружений.

С 2010 года экспериментальное строительство малоэтажных энергоэффективных домов для расселения из ветхого и аварийного жилья финансирует фонд ЖКХ.

Все эти меры позволили расширить географию и количество строящихся энергоэффективных домов.

В настоящее время в Российской Федерации не существует специальных требований к зданиям с низким потреблением энергии («пассивным домам»). Общие требования к зданиям, в том числе к жилым многоквартирным и многоквартирным

домам, в части использования энергии содержатся в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и других документах.

Фактически отсутствуют документы, которые регулируют те проблемы и сложности, которые встают перед разработчиками проектов «пассивных» домов. Как правило, для проектирования используются международные и европейские документы, применение которых в РФ ограничено. Перед специалистами встает необходимость разработки специальных нормативных документов, которые описывают специфические требования к домам с низким энергопотреблением, в том числе для обеспечения комфортных условий проживания в них.

Российский институт пассивного дома

В России также создан Институт пассивного дома (ИПД), который в тесном сотрудничестве с немецким ИПД, расположенным в Дармштадте, оказывает консультационные услуги при проектировании, строительстве и мониторинге энергоэффективных зданий («пассивных» домов и зданий с низким энергопотреблением), а также занимается проектированием, научными исследованиями, развитием энергоэффективного строительства, организацией выставок, конференций и обучающих семинаров.

Основными целями и задачами российского ИПД являются:

- перевод и распространение технической литературы по проектированию пассивных домов и зданий с низким энергопотреблением;
- ежегодное издание сборников и материалов конференций в рамках выставки MOSBUILD;
- развитие стандарта «пассивного» дома в России и странах СНГ (на первом этапе — реализация зданий с низким энергопотреблением);
- проведение конференций и выставок по теме ПД;
- проведение экскурсионных туров в Германию и другие страны на тему ПД;
- проведение обучающих семинаров, повышение квалификации (10-дневный курс);
- оказание консультаций, проведение расчетов при проектировании энергоэффективных зданий;
- расчет энергопотребления зданий по РНПП 2007 года, составление раздела проекта «Энергоэффективность» энергетического паспорта здания;
- расчет линейных и точечных «тепловых мостов», расчет теплотехнической однородности ограждающих конструкций;
- моделирование влажностного режима ограждающих конструкций;
- контроль качества выполненных работ, проведение измерений;
- разработка технических решений для наружной оболочки и инженерного оснащения, сотрудничество с производителями компонентов ПД.

У ИПД большие планы на будущее. В их числе:

- проведение сертификации пассивных домов, а также зданий с ультранизким и низким энергопотреблением, 16–30 и 31–50 кВт · ч/м² · год;

- разработка и реализация пилотных энергоэффективных зданий в различных климатических зонах РФ;
- измерение воздухопроницаемости по методике Blower Door в реализованных и строящихся проектах;
- издание книг по проектированию и строительству «пассивных» домов, в том числе в переводе с немецкого языка;
- прочее.

Специалисты ИПД разработали актуальную для России классификацию энергоэффективных зданий по энергопотреблению:

- «пассивный» дом:
 - удельный расход тепловой энергии на отопление: ≤ 15 кВтч/м² · год;
 - общий расход первичной энергии: ≤ 120 кВтч/м² · год;
- здание с ультранизким энергопотреблением:
 - удельный расход тепловой энергии на отопление: 15–35 кВтч/м² · год;
 - общий расход первичной энергии: ≤ 180 кВтч/м² · год;
- здание с низким энергопотреблением:
 - удельный расход тепловой энергии на отопление: 36–60 кВтч/м² · год;
 - общий расход первичной энергии: ≤ 220 кВтч/м² · год;
- здание с пониженным энергопотреблением:
 - удельный расход тепловой энергии на отопление: 61–100 кВтч/м² · год;
 - общий расход первичной энергии: ≤ 300 кВтч/м² · год.

В дальнейшем планируется разработать стандарт для жилых энергоэффективных зданий.

Примеры энергоэффективного строительства

На IX конференции по пассивным домам и зданиям с низким энергопотреблением, которая проходила 3–4 апреля 2013 года в Москве, говорилось, что в России пока нет «пассивных» домов в чистом виде (т. е. с расходом тепловой энергии на отопление ≤ 15 кВтч/м² · год), но постепенно к реализации этой задачи мы приближаемся. Там же было отмечено, что сейчас в России уже построены, а также реализуются объекты с использованием базовых компонентов «пассивного дома» в Москве и Московской области, Екатеринбурге, Нижегородской и Ленинградской областях, Чебоксарах и других регионах РФ, и к 2012 году будет построено 28 с использованием принципов «пассивного» дома.

К началу 2011 года компанией ЗАО «Мосстрой-31» по проекту Томаса Кнехта возведен первый сертифицированный «пассивный» дом на основе несъемной опалубки. Расчетный удельный расход тепла на его отопление составил 24 кВтч/м² · год. Начальный опыт эксплуатации этого дома был получен в течение конца 2011 — начала 2012 года. Первые результаты показали, что все ожидания полностью оправдались.

Краткая информация об этом доме:

- общая площадь дома: 246 м²;
- этажность: 2 этажа, без подвала;
- основные материалы:
 - несъемная опалубка;
 - арматура;
 - бетон;
 - пенополистирол «Неопор»;
 - энергоэффективные окна и двери;
- оборудование:
 - тепловой насос NIBE (Швеция);
 - вентиляционная установка с рекуператором ZEHNDER (Германия).

К вопросу об экологичности ряда строительных материалов

Необходимо отметить, что мнения о таком материале, как пенополистирол, противоречивые. Мы, во всяком случае, не считаем этот материал экологичным.

Опубликованная медицинская статистика подчеркивает — участились факты обращения к медикам людей с жалобами на плохое самочувствие (головная боль, раздражение глаз и др.) Исследования Академией медицинских наук полистирола, пенополистирола и подобных материалов показали их чрезвычайную вредность для здоровья людей.

В 2013 году на Рублево-Успенском шоссе в Московской области осуществлялась реализация проекта индивидуального жилого дома с ультранизким энергопотреблением, оснащенного бассейном.

Краткая информация об этом доме:

- энергозависимая площадь дома: 1470 м²;
- количество этажей: 2 плюс подвальный этаж;
- расчетное количество жителей: 6 человек;
- конструкция здания: кирпичная кладка + монолитный железобетон с утеплением XPS толщиной 400 мм;
- вентиляционная установка Menerga с КПД рекуперации более 80 %;
- расчетное значение удельного расхода тепловой энергии на отопление за отопительный период составляет 35 кВт·ч/м²·год (при 22 °С) или 31 кВт·ч/м²·год (при 20 °С) по методике РНРР.

В 2012–2013 гг. осуществлялось строительство энергоэффективного дома в пригороде города Чебоксары.

Краткая информация об этом доме:

- энергозависимая площадь: 176 м²;
- количество этажей: 2;
- расчетное количество жителей: 4 человека;
- конструкция стен здания: кладка из крупноформатных поризованных блоков Wienberger Porotherm 44;
- теплоизоляция из Неопора: стены — 250 мм, перекрытие 2-го этажа — 400 мм, пол 1-го этажа — 300 мм;

- оконный профиль RENAU GENEО, двухкамерный стеклопакет от AGC Glass;
- вентиляционная установка Maico с КПД рекуперации 75 %;
- расчетное значение $n_{50} = 0,6\text{ч}^{-1}$;
- удельный расход тепловой энергии на отопление (по методике РНПП) — $86\text{ кВтч/м}^2 \cdot \text{год}$.

В 2012–2013 гг. в коттеджном поселке «Райт Парк» в пригороде Санкт-Петербурга осуществлялось строительство дома с низким энергопотреблением на основе совмещения концепции «органической архитектуры» Фрэнка Ллойда Райта с жесткими требованиями концепции «пассивного» дома.

Краткая информация об этом доме:

- энергозависимая площадь дома: 221 м^2 ;
- количество этажей: 2;
- расчетное количество жителей: 4 человека;
- конструкция здания: железобетонный каркас, монолитная железобетонная плита;
- конструкция стен здания: кладка полнотелого кирпича;
- теплоизоляция: стен — Неопор 350 мм, перекрытия 2-го этажа — Неопор 400 мм, фундаментной плиты — экструзионный пенополистирол 300 мм;
- окна VIKING;
- расчетное значение удельного расхода тепловой энергии на отопление за отопительный период составляет около $50\text{--}60\text{ кВтч/м}^2$ железобетонный год (по методике РНПП).

Идеология «трех Э»

Проектно-строительной компанией ООО «Монолит Проект Монтаж», специализирующейся на проектировании и строительстве различных зданий и сооружений, в том числе и монолитных конструкций, разработана строительная система «ЭНЭКОДОМ» по строительству энергосберегающего экологического жилья, с соблюдением всех необходимых требований по качеству строительных конструкций. В качестве эффективного утеплителя наружных стен компанией применяется монолитный пеногипсобетон.

Разрабатывая строительную систему «ЭНЭКОДОМ», ее авторы изначально заложили применение в ней основных принципов идеологии «трех Э»:

- энергосбережения;
- экологичности;
- экономичности строительства и эксплуатации жилых домов.

Энергосбережение достигается за счет применения эффективных утеплителей, возможности регулировать толщину ограждающих конструкций, увеличивая таким образом сопротивление теплопередачи R_0 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) ограждающей конструкции и создание монолитной воздушонепроницаемой защитной термооболочки

вокруг всей конструкции здания за счет применения монолитного пеногипсобетона. В качестве эффективного утеплителя компания применяет фиброцементную плитку «Green Board» плотностью 300 кг/м³ ($\lambda = 0,063$) и монолитный пеногипсобетон плотностью 400–500 кг/м³ ($\lambda = 0,095$).

Применяемые материалы экологически чистые, пожаростойкие, имеют низкий коэффициент теплопроводности (не выше 0,11–0,12 кв/м °С, низкую воздухопроницаемость, низкую сорбционность и химически устойчивы к агрессивному влиянию окружающей среды. Помимо достижения повышенной теплоизоляции, строительной системой предусматривается применение современной эффективной системы вентиляции, рекуперации воздуха, воздушного отопления, кондиционирования, фильтрации, увлажнения и осушения воздуха.

При проектировании и строительстве энергоэффективного дома разработчики учитывают и применяют:

- привязку ориентации дома по оси «юг – север», учет отсутствия затенения южной стены, наличие остекленной южной стены и другие факторы, которые позволяют максимально использовать солнечную энергию для аккумуляции тепла;
- эффективную и качественно выполненную теплоизоляцию ограждающих конструкций окон и рам;
- технический контроль над расходом тепла.

Разработчики системы «ЭНЭКОДОМ» утверждают, что если учесть сметную стоимость строительства дома, включая отделочные работы и инженерию, то перечисленные технические приемы по дополнительному улучшению теплоизоляции дома лишь незначительно (на 10–15 %) увеличивают стоимость строительства, но при этом более чем вдвое снижаются затраты на отопление жилья.

Для значительного уменьшения теплопотерь через фундаменты разработчики применили оригинальное решение: при помощи несъемной опалубки «Multimodulo» изготавливали монолитную железобетонную ребристую плиту фундамента, которая, благодаря оригинально изготавливаемым ребрам, обеспечивала вентиляцию и, как следствие, естественный непрерывный воздухообмен с внешней средой. Вентилируемая монолитная плита основания фундамента — интересное решение, которое сочетает в себе преимущества моноблочной и вентилируемой структуры.

Экологичность дома обеспечивается минимизацией применения химических и синтетических препаратов, изделий и материалов.

Экономичность применения строительной системы «ЭНЭКОДОМ» заключается в возможностях экономить (в том числе природные ресурсы), минимизировать затраты на производство и монтаж строительных конструкций, существенно снижать потребляемые ресурсы.

Экономии потребляемых ресурсов компания добивается за счет:

- унификации узлов и деталей;
- совершенствования конструктивных форм отдельных элементов;

- подбора строительных материалов, соответствующих конструкционным и экологическим характеристикам, приемлемым для строительства;
- уменьшения допустимых отходов производства при изготовлении изделий и конструкций;
- оптимизации производства строительных конструкций, строительного-монтажных и отделочных работ;
- монтажа эффективного инженерного оборудования, наладки и управления инженерными сетями и системами электро-, водо-, газо-, теплоснабжения, водоотведения и вентиляции;
- утилизации отходов;
- внедрения информационных автоматизированных систем строительства и управления жилыми домами.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что для развития строительства энергоэффективных зданий ключевую роль играет Институт «пассивного дома» (ИПД).

Экология энергоэффективных зданий, построенных по «пассивной» технологии

В последнее время экологи всех стран и общественность многих государств сильно обеспокоены загрязнением окружающей среды. Весомый вклад в загрязнение атмосферы вносит ЖКХ. Специалисты подсчитали, что около 40 % выбросов CO_2 в атмосферу происходит при сжигании топлива, используемого именно для отопления зданий. Применение энергоэффективных домов, построенных на основных положениях «пассивного» дома, может значительно сократить эту цифру. Ведь в них для обогрева используются в первую очередь альтернативные источники энергии (например, солнечная, ветровая и др.), а для строительства, как правило, выбираются традиционные материалы: дерево, камень, кирпич. Категорически отвергаются вредные для здоровья человека и окружающей среды стройматериалы, такие как асбест и ряд других теплоизоляционных материалов.

На конференции, организованной Институтом пассивного дома, проходившей в Москве в 2012 году, специалисты показали, какой перечень загрязняющих веществ выбрасывается в атмосферу только при сжигании газа (табл. 8.2).

- Диоксид азота (NH_2) оказывает раздражающее действие на дыхательные пути и слизистую оболочку глаза. Наряду с увеличением углекислого газа, происходит уменьшение доли кислорода в атмосфере, который расходуется на сжигание топлива на тепловых станциях.
- Окись серы (SO_2) разрушает хлорофилл растений, может привести к повреждению листьев и хвои.
- Воздействие окиси углерода (CO) на человека и животных состоит в том, что она, соединяясь с гемоглобином крови, очень быстро лишает организм кислорода и приводит к нарушению нервной системы.

- Оксиды азота (NO_2) снижают прозрачность атмосферы и способствуют образованию смога.
- Бензпирен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) — канцероген, способный вызвать онкологические заболевания.

Таблица 8.2

Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух

Продукт сгорания природного газа	Концентрация, мг/м ³	Источник
Диоксид азота	0,2	Котельная, подогреватели газа
Оксид азота	0,4	
Диоксид серы	0,5	
Оксид углерода	5	
Бензпирен	$1 \cdot 10^6$	

Строительство энергоэффективных домов, построенных на основных положениях «пассивного» дома, может значительно сократить количество выбрасываемых в атмосферу вредных веществ.

Один из критериев теплоизоляционных материалов — степень их влияния на окружающую среду. В последнее время налицо тенденция возведения «пассивных» домов из продуктов рециклизации неорганического мусора: бетона, стекла и металла. Так, в Германии созданы специальные заводы по переработке подобных отходов в строительные материалы для энергоэффективных зданий.

При экологической оценке материала на каждом этапе его жизненного цикла должны учитываться количество отходов и возможность выброса в окружающую среду вредных веществ при производстве строительных работ. Акцент при оценке отделочной продукции делается на анализе влияния материала на здоровье человека. В оценку экологических эффектов по жизненному циклу материала должны также включаться следующие этапы: добыча сырья; изготовление материалов, изделий; этап строительства; этап эксплуатации; утилизация или повторное использование.

У нас в стране пока не внедрена система экологической оценки строительных материалов по их жизненному циклу, поэтому по-прежнему актуальны тщательное экологическое исследование и оценка безопасности всех строительных материалов, способных содержать в своем составе вещества, опасные для здоровья. Сведения о наиболее интересных теплоизоляционных материалах приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Наиболее интересные теплоизоляционные материалы

Материал	Теплопроводность λ , (Вт/м·К)	Плотность, кг/м ³	Сопротивление диффузии μ	Класс пожарной безопасности	Толщина, см	Стоимость, €/м ² Для $U = 0,3$ (Вт/м ² ·К)	Расход первичной энергии, кВт·ч/м ³
Льняное волокно	0,040	20–40	1	B2	20	25–30	70–80
Пенька, лубяное волокно	0,045	20–25	1–2	B2	22,5	20–30	Нет данных
Деревянная стружка	0,055	90–110	1	B2	27,5	15–23	50
Древесно-волокнистый теплоизолятор, аморфный	0,045	30–60	1–2	B2	22,5	15–23	600–785
Древесно-волокнистые плиты	0,040–0,060	170–230	5–10	B2	20–30	40–50	600–785
Легкие строительные древесно-стружечные плиты	0,093	360	2–5	B1	45	79–95	35
Силикатно-кальциевые плиты	0,065	300	5–10	A1	См.сноску*	≈25 (50 мм)	Данные отсутствуют
Кокосовое волокно							
1) в виде рулонов	0,050	75	1	B2	22,5–25	44–50	95
2) в виде матов	0,045	125					

Пробка						
1) гранулят		55-60	1-2		2-25	90
2) экспандированная гранулированная пробка	0,040-0,050	80-500	5-10	B2	20-25	35-65
		80-500				40-50
3) пробковые плиты						
Минеральное волокно						
1) стекловата	0,032-0,040	15-80	1	A2	17,5-25	100-700
2) минеральная вата						
Экспандированный (вспененный) перлит						
1) теплоизоляция	0,045-0,050	50-100	2-3			
2) защита от ударного шума	0,060-0,073	130-490	4-5	A2	22,5-30	9-235
Пеностекло	0,040- 0,050	110-160	Практически паронепроницаем	A2	20-22,5	30-975
Целлюлозный теплоизолятор						
А) аморфный	0,040	25-60	1-2	B2	20-22,5	15-20
Б) плиты	0,045	70-100				25-30

* Для внутренней теплоизоляции чаще всего используется толщина изолирующего слоя от 50 до 100 мм.

Вредные для здоровья человека строительные материалы

За последние десятилетия в быт прочно вошли прессованные плиты на синтетических смолах и искусственные покрытия. Это пластиковые стенки, древесно-волоконистые (ДВП) и древесностружечные (ДСП) прессованные плиты, оргалит, выделяющие феноловые и карбамидовые смолы, которые могут привести к серьезным отравлениям. Они выделяют множество других активных органических соединений, вредных для здоровья человека. Экологически грязные строительные материалы и дома — реальный факт для жителей плотно населенных районов крупных городов. Холодные полы из полихлорвиниловых плиток, кроме того, способствуют простуде: эти покрытия летом удерживают жару в помещениях, а зимой — прохладу.

Еще несколько слов о таком материале, как полистирол. Сырье для изготовления полистирола (сырая нефть) является ограниченно доступным, а в процессе его производства выделяются опасные продукты реакции: бензол и стирол. Кроме того, производство этого материала сопряжено с высокими энергетическими затратами. Материалу тем не менее присущи очень хорошие теплоизолирующие свойства, отличная защита от удара, от летнего перегрева. Регуляция влажности отсутствует. В западных странах в последнее время этот материал применяют с большой осторожностью. В России есть как противники, так и защитники этого материала.

В строительстве широко используют деревопластики на основе мочевино-формальдегидной смолы, которая выделяет в воздух токсичный яд — формальдегид. Мочевина применяется при бетонных работах в монолитном домостроении. Прочие полимерные материалы служат причиной неприятного специфического запаха, вызывающего усталость, головную боль, учащение приступов бронхиальной астмы. Моющие обои с полимерной поверхностью экологически тоже не безвредны, но содержание в комнате радона и летучих полимеров они снижают в результате проветривания почти в 10 раз.

Бетонные плиты таят в себе еще одну опасность: в новых домах они активно поглощают влагу из воздуха. Сухость комнатного воздуха вызывает заболевание верхних дыхательных путей, ведет к ломкости волос и шелушению кожи. В сухом воздухе легче происходят разряды статического электричества.

Особенно неприятно то, что стены из бетона и полимербетона радиоактивны. Содержащиеся в этих материалах радий и торий постоянно распадаются с выделением радиоактивного газа радона. Радон выделяют стены, перекрытия, а также водопровод и бытовой газ. Его концентрация в наших жилых помещениях опасна. Самая высокая концентрация радона достигается в кирпичных и каменных домах.

Перечень вредных веществ, выделяющихся из строительных материалов, приведен (по данным НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сыгина РАМН) в табл. 8.4.

Таблица 8.4

**Перечень вредных веществ,
выделяющихся из строительных материалов**

Вещества	Класс опасности	Строительные материалы — источники поступления в воздух помещений опасных веществ
Ацетон	4	Лаки, краски, клеи, шпатлевки, мастики, смазки для бетонных форм, пластификаторы для бетона
Бензол	2	Мастики, клеи, герлен, линолеумы, цемент и бетон с добавлением отходов, смазка для бетонных форм
Бутанол	4	Мастика, клен, смазки, линолеумы, лаки, краски
Бутилацетат	4	Лаки, краски, мастики, шпатлевки, смазки для бетонных форм
Винилхлорид	1	Линолеумы, плитки, пленки и другие материалы на его основе
Кобальт	1	Красители и строительные материалы с добавлением промышленных отходов
Ксилолы	3	Линолеумы, клеи, герлен, шпатлевки, мастики, лаки, краски, смазки
Никель	2	Цемент, бетон, шпатлевка и другие материалы с добавлением промышленных отходов
Пропилбензол	1	Клей АДМК, линолеум ЛТЗ-33, мастика ВСК, мастика 51-Г-18, шпатлевка «Стойдеталь»
Стирол	2	Теплоизоляционные материалы, отделочные материалы на основе полистирола
Толуол	3	Лаки, краски, клеи, шпатлевки, мастики, линолеумы на синтетической основе и другие отделочные материалы
Фенол	2	ДСП, ФРП, герлен, линолеумы на синтетической основе, мастики, шпатлевка
Формальдегид	2	ДСП, ПВП, ФРП, мастики, герлен, пластификаторы, шпатлевка, смазки для бетонных форм и др.
Хром	1	Цемент, бетон, шпатлевки и др. материалы с добавлением промышленных отходов
Этилацетат	4	Лаки, краски, клеи, мастики и другие материалы
Этилбензол	3	Шпатлевки, мастики, линолеумы на синтетической основе, краски, клеи, смазки для форм, пластификаторы, цемент, бетон с отходами

Об опасности этих веществ можно судить по их балльной оценке — классу опасности для здоровья людей. Контакт человека с феноло-, мочевино-, формальдегидными, эпоксидными, полиэфирными смолами, полиамидами, каучуками и клеями различного состава может быть причиной аллергических болезней.

Шунгит и его целебные свойства

Обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге можно реализовать путем внедрения магнезиально-шунгитовых строительных материалов, которые решают вопрос защиты от природных ионизирующих излучений и радиоактивного газа радона. Такие строительные материалы, обладающие рядом полезных свойств, были разработаны и запатентованы санкт-петербургской фирмой «Альфа-Пол». Опыт применения шунгитовых строительных материалов — столовая в офисе «Альфа-Пол» — отделана шунгитом. Если заболела голова, нужно всего лишь на 15 минут зайти в эту комнату и получить облегчение: это удобно и практично.

Целебные свойства шунгита стали широко известны со времен Указа Петра I об основании знаменитого курорта «Марциальные воды». Активное изучение шунгита началось более 40 лет назад Карельским институтом геологии Российской Академии наук и другими организациями. В природном шунгите открыты фуллерены третьей после алмаза и графита формы углерода в виде симметричных полых шаров из 60–70 углеродных атомов.

В Военно-медицинской академии Санкт-Петербурга проводились испытания шунгитовой палаты (комнаты, экранированной шунгитом) и решались вопросы защиты от природных ионизирующих излучений. Магнезиально-шунгитовая комната — это помещение, в отделке которого (потолка, стен и пола) были использованы современные магнезиально-шунгитовые экранирующие смеси с целью профилактики заболеваний, усиления эффекта от оздоровительных процедур и одновременно защиты от электромагнитных излучений, электромагнитных полей технических средств, магнитных бурь.

Преимущества экранирующих магнезиально-шунгитовых смесей следующие:

- в зависимости от толщины слоя, эффективность экранирования материала составляет до десятков децибелл;
- смесь экранирует электрические поля и электромагнитные излучения в широком диапазоне частот;
- поглощение электромагнитных излучения;
- нет накопления статического электричества;
- обеспечение естественной магнитной обстановки в домах и офисах: помещения, отделанные магнезиально-шунгитовым покрытием, обладают оздоравливающим эффектом.

В состав экранирующих магнезиально-шунгитовых смесей входят природные компоненты: наполнитель — шунгит, в качестве вяжущего средства используются магнезит и затворитель — водный раствор природного минерала бишофита. Шунгитовые породы — уникальные по составу, свойствам и структуре природные композиты, состоящие из аморфного углерода с примесью неорганических веществ. Шунгит — универсальный сорбент в фильтрах для очистки воды. В Карелии есть единственное в мире разведанное месторождение шунгитовых пород, его промышленные запасы составляют 30 млн тонн. Сочетание электропро-

водящего наполнителя шунгита с электропроводящим магниальным вяжущим и соевым раствором — бишофитом — позволило получить новый класс экранирующих строительных материалов.

Экранирующие магниально-шунгитовые штукатурки и напольные покрытия могут быть рекомендованы для защиты населения от воздействия электромагнитных излучений антенн передающих радиотехнических объектов. С помощью магниально-шунгитовых экранирующих материалов можно создавать экранирующие поверхности больших размеров. Экраны из магниально-шунгитовых материалов пожароустойчивы, надежны и долговечны.

Экологические аспекты сжигания различных видов топлив

Как уже говорилось, для отопления обычного дома постройки XX века требуется $300\text{--}600 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ энергии в год — в зависимости от того, где находится дом: на юге, на севере, в какой стране. А для отопления «пассивного» дома потребуется всего $\leq 15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год, т. е. в десятки раз меньше. И это не предел.

Эту цифру можно сократить, но тепловая энергия нужна и для других домашних нужд (таких как горячая вода и т. д.), а также при производстве строительных материалов. Есть ли выход из такой ситуации?

Обратимся к сравнительным данным по различным видам топлива (табл. 8.5).

Таблица 8.5

Сравнительные данные по различным видам топлива

Топливо	Влажность %	Зольность %	Выбросы		Рабочая теплота сгорания, МДж/м ³	Стоимость* тепла, руб./ГКал
			СО ₂ , кг/ГДж	S, %		
Природный газ	—	—	57	0,1	39,5	140
Мазут	0,3	0,04	78	2,2	42,5	450
Сланец	12,0	45,00	68	9,7	18,0	400
Каменный уголь	10,0	25,00	60	1,8	21,3	620
Кусковой торф	45,0	3,00	24	0,2	14,4	360
Фрезерный торф	46,0	3,70	18	0,2	10,0	340
Дрова	20,0	2,00	14	0,1	7,5	250
Отходы древесины	50,0	2,00	20	0,3	7,0	200
Энергопеллеты окускованного торфа	30,0	2,00	26	0,1	19,8	380

* В ценах 2004 года (с учетом КПД сгорания топлив).

С точки зрения экологии необходимо остановиться на торфе. Как правило, торфяное топливо используется для получения горючего газа, т. е. подвергается газификации.

Газификация

Газификация — процесс превращения органической части торфяного топлива в горючий газ посредством взаимодействия при высокой температуре с кислородом воздуха, водяным паром, углекислотой или их смесями.

Экономичность и безотходность торфяного топлива определяются единым добывающе-перерабатывающим комплексом с утилизацией некачественного продукта и отходов производства в тепло- и электроэнергию путем превращения его в сырье для газогенерации. Комплекс с замкнутой системой водо- и теплоснабжения позволяет исключить сброс загрязненных сточных вод в водоприемники, а часть производимого тепла и электроэнергии — направить на произведенные нужды и тем самым повысить экологичность и экономичность производимой на основе торфа продукции (удобрений, биотоплива, сорбентов и т. д.). К торфу мы позднее еще вернемся, а сейчас только отметим, что в Северо-Западном экономическом районе запасы торфа следующие:

- Ленинградская область — 2188,7 млн т.;
- Новгородская область — 1505,1 млн т.;
- Псковская область — 2026,9 млн т.

Экономические аспекты строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий

В настоящее время стоимость постройки квадратного метра энергоэффективного дома на 8–10 % больше средних показателей для обычного здания. Однако дополнительные затраты на строительство окупаются в течении 7–10 лет. Основные расходы в доме приходятся на обогрев (отопление), вентиляцию, кондиционирование, горячую воду, освещение, бытовую технику и электронные приборы (телевизоры, компьютеры и т. д.). Эти расходы на использование энергии могут быть резко сокращены или сведены до минимума — при сохранении комфортных условий для проживания человека.

Все необходимые правила расчетов потерь тепла через ограждающие конструкции можно найти в СП «Строительная теплотехника». Согласно им, разница между потерями тепла до и после реконструкции здания или зданий обычных и зданий, построенных по технологии «пассивного дома» (при прочих равных параметрах), отнесенные к общим потерям, называется *потенциалом сбережения*. Зная его и стоимость энергии, можно определить, выгодна или нет реконструкция того или иного дома, выгодно или невыгодно строитель-

ство энергоэффективного дома по «пассивной» технологии. При этом следует иметь в виду, что стоимость энергии будет неуклонно повышаться — впрочем, вы это и сами знаете, так как вам ежемесячно приносят квитанции по оплате всевозможных услуг.

Расчеты тепловых потерь можно проводить с помощью специализированных программ. Вводя данные о своем доме, вы быстро получаете ответ о потерях тепла, о мощности отопительной системы, о стоимости энергии. Изменяя вводимые параметры (планировку, тепловое сопротивление стен, пола, потолка, размеры, тепловое сопротивление окон и др.), можно подобрать оптимальный вариант конструкции дома.

Расход энергии на отопление зависит от характеристик дома: размеров, теплозащиты, качества оборудования, количества проживающих людей. Энергетическая эффективность дома тем выше, чем меньше отношение площади к объему обогреваемого пространства. Недаром в XVIII веке крестьянские дома делились на две части: летнюю и зимнюю половины дома (обычно зимняя половина дома была значительно меньше летней и лучшей утеплена). Журнал «ЭСКО» №7 за 2008 год приводит такой интересный пример:

Традиционный дом, при толщине стены в 1,5 кирпича или из бруса, обложенного кирпичом, тратит на отопление 5 тонн дизельного топлива в год (дом 160 м²), на сумму 70 тыс. рублей (при цене дизельного топлива 14 рублей за литр), а в «пассивном доме» стоимость отопления электричеством составляет 10 тыс. рублей. Как мы видим из приведенных данных, экономия будет составлять 60 тыс. рублей в год, но цены на топливо будут расти быстрее, чем тарифы на электроэнергию, и реальная экономия составит за 20 лет уже 60 тыс. долларов.

Решение проблемы энергосберегающего малоэтажного строительства невозможно только за счет применения традиционных технологий и мероприятий по увеличению теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций здания. Внедрение нового оборудования для активного энергосбережения — актуальная проблема, решение которой связано с созданием систем вентиляции, технологией вторичных энергоресурсов, систем тепло- и хладоснабжения, утилизации сбросных тепловых вентиляционных выбросов. Такие системы используют тепло грунта и других нетрадиционных источников энергии.

Немалую роль в экономии тепловой энергии могут сыграть внедренные в ваш дом системы учета и контроля потребления энергоресурсов и управления микроклиматом.

При строительстве дома необходимо учесть расположение и размеры окон на его южной части. На южной стороне дома следует располагать помещения, где люди приводят больше всего времени в течение дня (гостиные, столовые, детские), а на северной — подсобные помещения, ванные комнаты, кухни и т. д. Дом с северной стороны полезно защищать от ветров плотными посадками деревьев или подсобными, складскими помещениями.

Уникальность «пассивного дома» в том, что его можно построить в «чистом» поле без использования сетей газа и теплоцентралей. Нужны только вода и электроэнергия в обычном размере: 10 кВт на дом или квартиру. Этого вполне достаточно для приготовления пищи, отопления, кондиционирования, вентиляции, горячей и холодной воды.

При возможном отключении электроэнергии «пассивный дом» остывает на 1 °С в сутки при температуре наружного воздуха –15 °С. Во многом этому способствуют аккумуляторы тепла, роль которых выполняют массивные несущие стены, железобетонные плиты пола первого этажа и межэтажные перекрытия. Можно еще повысить энергобезопасность «пассивного дома», дополняя инженерное оборудование различными источниками энергии: каминами, печами, тепловыми насосами, солнечными коллекторами для подогрева воды, солнечными батареями, ветроэлектростанциями и т. д. Такие мероприятия по повышению энергобезопасности могут сделать «пассивный дом» полностью энергонезависимым (с децентрализованным энергоснабжением, водоснабжением и очисткой бытовых стоков). Колодцы, скважины для воды и индивидуальные очистные сооружения сегодня выполняются многими фирмами и являются делом обыденным.

Таким образом, мы стоим перед фактом возможной постройки полностью энергонезависимого дома нового поколения, надежным в эксплуатации, долговечностью более 150 лет, внутриклиматическая среда в котором является «лабораторией здоровья» для человека.

Работы по «пассивным зданиям» ведутся и в других стенах СНГ. Например, исследованиями, проведенными ГПР НИПТИС, установлено, что для условий Республики Беларусь солнечной энергии, поступающей через энергоэффективные окна, при технически достижимых значениях сопротивления теплопередачи стен и 80%-ной эффективности воздушных теплоутилизаторов, вполне достаточно для воздушного отопления жилых зданий или, по крайней мере, значительного сокращения продолжительности отопительного сезона (для систем с централизованным теплоснабжением). Расчетный срок окупаемости капиталовложений в строительство первого 5-этажного 4-подъездного «пассивного» жилого дома с энергопотреблением не более 30 кВт · ч/м² в год для условий Минска составляет 6–7 лет.

По ряду мероприятий по энергосбережению — таких как модернизация энергетического комплекса, переход на альтернативные источники энергии, — проблема тепла занимает одно из ведущих мест. Применяя качественную теплоизоляцию, можно сократить теплопотери вдвое (а следовательно, и затраты энергии на эксплуатацию зданий) и снизить выбросы CO₂ в атмосферу в десятки раз. В Европейском сообществе подсчитали, что помощью качественной теплоизоляции можно предотвратить выбросы CO₂ в размере около 400 млн тонн ежегодно только в их организации, а это больше, чем предусмотрено Киотским протоколом.

В России до недавнего времени энергоэффективные дома воспринимались как нечто фантастическое, и только в последнее время налицо признаки грядущих перемен.

Когда журналисты задали директору Института пассивного дома Елохову Александру Евгеньевичу вопрос: «С какими сложностями технологий “пассивных домов” столкнулись в России?», он ответил:

Самая большая проблема — это слабая информированность общества. Отсутствует понимание необходимости применять технологии для снижения энергопотребления в зданиях: теплоизоляцию нужного контура, эффективные окна, системы вентиляции с рекуперацией тепла, а также альтернативные источники энергии — солнечные коллекторы, тепловые насосы и т. д., которые позволяют дополнительно повысить энергоэффективность. У многих проектировщиков не хватает информации. Поэтому мы планируем совместно с компанией «Сен-Гобен Изовер» и другими проводить обучающие семинары для проектировщиков по тем решениям, которые мы адаптируем к российским условиям. Это позволит начать их применение в России.

Уже есть первые результаты. Так, в 2012 году было построено и введено в эксплуатацию несколько десятков энергоэффективных домов с применением ряда положений технологий «пассивного дома».

Как уже не раз отмечалось, «пассивный», или энергоэффективный, дом — это дом с малым энергопотреблением (около 10 % от обычного энергопотребления). В идеале он должен быть независимой энергосистемой, вообще не требующей расходов на поддержание комфортной температуры. Отопление «пассивного дома» должно происходить благодаря теплу, выделяемому живущими в нем людьми, бытовыми приборами и альтернативными источниками энергии. А его горячее водоснабжение осуществляется от установок возобновляемой энергии — например, тепловых насосов, солнечных коллекторов или других возобновляемых источников энергии. Так за счет чего же, собственно, происходит экономия энергии в «пассивном доме»?

В первую очередь такой дом имеет совершенную (можно сказать, тотальную) теплоизоляцию ограждающих конструкций (стены, пол, потолок, окна, двери), выполненных из экологически безвредных материалов. Значительное сокращение расхода тепла появляется только при слое теплоизоляции от 15 см: желательно использовать теплоизолирующие панели толщиной 25–40 см. Это позволяет одновременно не выпускать тепло из дома и не впускать холод внутрь. Так же производится устранение «мостиков холода» в ограждающих конструкциях.

В результате в «пассивных домах» теплотери через ограждающие поверхности не превышают $15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ отапливаемой площади в год. Это практически в 20 раз ниже, чем в обычных домах (постройки конца XX века). Каковы же источники тепла и энергии самого дома и окружающей его территории? Источников тепла в жилом доме немало: это кухонная плита, работающие бытовые электроприборы, лампы освещения. Выделяют тепло люди и животные. Например, спокойно сидящий человек имеет тепловую мощность 120 ватт. Суммарно эти тепловыделения достигают немалых величин, сопоставимых с мощностью систем отопления. Энергоэффективные «пассивные дома» оборудованы рекуператорами (теплообменниками). В рекуператоре старый, теплый, но «отработанный» воздух

помещения через специальную систему вентиляции отдает тепло свежему, а затем выбрасывается на улицу. Свежий воздух, получив тепловую энергию от «старого, отработанного», вводится в дом. Ну, а при снижении среднесуточной температуры до +8 °С включается альтернативная система отопления.

Другой стороной (не исключено, что главной) строительства энергоэффективных и «пассивных» домов является то, что они экологически благоприятны для человека и для окружающей среды. Известно (и здесь это не раз отмечалось), что около 40 % выбросов CO₂ в атмосферу образуется при сжигании топлива, используемого для отопления зданий. Применение «пассивных домов» может значительно сократить эту цифру. Сами дома очень комфортны и экологически благоприятны для человека и являются сегодня самыми удобными и современными типами зданий. В них автоматически поддерживаются оптимальная температура, влажность и чистота воздуха, которые делают нашу жизнь комфортной. Значение таких объектов, поддерживающих высокое качество жизни, трудно переоценить. Установлено, что комфортная среда в «пассивных домах» способствует продлению жизни человека, а микроклимат такого здания благотворительно влияет на аллергиков. Сама концепция «пассивного дома» основана в первую очередь на дружественном отношении к окружающей среде, на сотрудничестве с ней.

Недавно в России появилось подразделение датской компании RockWool — производителя теплоизоляции. Генеральный директор этой фирмы Франк Трокей в одном из своих интервью заявил:

Если оценивать в глобальном смысле, то наша продукция снижает уровень выбросов CO₂ в атмосферу. На датский опыт в области «дружественных» связей теплоизоляции и защиты окружающей среды стоит обратить самое пристальное внимание. Как отмечают многие исследователи, теплоизоляция — один из немногих промышленных продуктов, которые позитивно влияют на окружающую среду. По прогнозам ряда специалистов, доля энергоэффективных зданий, построенных по технологии «пассивного дома», в ближайшее время в Северной Европе достигнет 80 %.

Необходимо отметить, что в России есть замечательный природный материал, который как нельзя лучше подходит для строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий, — торф.

Торф является уникальным природным образованием и одним из важнейших природных богатств России. Российская Федерация располагает богатыми торфяными ресурсами и по запасам торфа занимает первое место в мире. В России, по оценкам различных специалистов, сосредоточено более 47 % мировых запасов торфа (около 225 млрд т), месторождения которого занимают огромные площади на Севере, Северо-Западе, в Западной Сибири и на Дальнем Востоке. Ежегодный прирост запасов торфа на месторождениях, не затронутых разработкой, превышает 60 млн. т. (при условной его влажности 40 %). Для сравнения: в настоящее время в год добывается около 3 млн т тор-

фа, т. е. в 20 раз меньше, чем прирастает. Одним из главных достоинств торфа является то, что при его использовании в качестве топлива он в определенных условиях (двухступенчатое сжигание композиционного торфа) имеет практически нулевой выброс. По данным исследователя Е. В. Крайнина, при сжигании привозных углей в атмосферу поступает в 8700 раз больше ртути, в 60 раз — урана, в 40 раз — кадмия, в 12 раз — мышьяка, чем в результате естественного круговорота.

В работе исследователя В. И. Косова «Торф: ресурсы, технологии, геоэкология» впервые оценены с позиции экологического риска технологии добычи торфа. Автор показал, что в настоящее время крайне востребованы наукоемкие супергеротехнологии добычи и использования торфяных ископаемых.

В связи с экономией таких массово экспортируемых источников энергии, как газ и нефть, актуальным является переход на широкое использование местных природных ресурсов, одним из которых является торф.

Рост экологической напряженности в промышленно развитых северных регионах настоятельно требует поиска таких топлив, которые снижали бы нагрузки на атмосферу и высвобождали квоты за загрязнения и, кроме того, сохраняли бы здоровье проживающего на этой территории населения. Дальнейшие перспективы развития энергоэффективного, «пассивного», «нулевого» дома, очевидно, будут связаны с более широким использованием возобновляемых источников энергии. Уже сегодня одним из направлений реализации энергосберегающей политики многих европейских стран является развитие технологий использования нетрадиционных источников энергии. В ближайшие годы планируется в два раза увеличить использование альтернативных источников энергии. В настоящее время энергоэффективные дома становятся все более распространенными и приобретают все большую популярность. Фирмам, занимающимся строительством энергоэффективных домов, практически всегда предоставляются государственные субсидии и льготы.

Как уже отмечалось выше, в России с 2010 года экспериментальное строительство малоэтажных энергоэффективных домов по программе «Расселение из ветхого и аварийного жилья» финансирует фонд ЖКХ. Происходят изменения и в массовом сознании людей: при возведении жилищ всегда учитывается не только стоимость квадратного метра, но и расходы топлива планируемых зданий.

Еще о концепции «пассивного дома»

Концепция «пассивного дома» представляет собой комплексный подход к экономичному, экологически чистому и энергосберегающему строительству зданий различного назначения (от частных коттеджей до общественных зданий).

В Европе была разработана следующая классификация зданий на основе их уровня энергопотребления:

- *Старое здание* (дома, построенные до 1970-х годов) — предполагает потребление около $300 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ энергии для того, чтобы отопить дом.

- *Новое здание* (строительство осуществлялось в период 1970–2000-х годов) — потребление энергии составляет не более $150 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.
- *Дом низкого потребления энергии* (с 2002 года в Европе не разрешено строительство домов более низкого стандарта) — не более $60 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.
- *Пассивный дом* — не более $15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.
- *Дом нулевой энергии* (здание, архитектурно имеющее тот же стандарт, что и пассивный дом, но инженерно оснащенное таким образом, чтобы потреблять исключительно только ту энергию, которую само и вырабатывает) — $0 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.
- *Дом плюс энергия* — здание, которое с помощью установленного на нем энергосберегающего оборудования (солнечных батарей, коллекторов, тепловых насосов, рекуператоров, грунтовых теплообменников и т. п.) вырабатывало бы больше энергии, чем само потребляло.

Итак, «пассивный дом», или же энергоэффективный дом, экодом, — это сооружение, которое отличается отсутствием необходимости отопления или малым энергопотреблением (в среднем это около 10 % от удельной энергии на единицу объема, потребляемой большинством современных зданий). При этом стандарты «пассивного дома» не универсальны: во многих странах существуют собственные требования к стандарту «пассивного дома». Так что в общем случае под «пассивным домом» понимается такой дом, в котором тепло генерируется «пассивно», т. е. через использование только внутренних источников тепла, солнечной энергии, попадающей через окна, и путем нагрева свежего воздуха, который поступает через приточную установку вентиляции.

Основные критерии пассивного дома

Строительство «пассивного дома» предусматривает обязательное выполнение неких требований. Базовый критерий пассивного дома — это создание непрерывной оболочки здания с повышенной теплоизоляцией и коэффициентом теплопроводности $< 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Необходимо соответствие здания следующим стандартам:

- Конструкция пассивного дома предусматривает, как правило, использование экологически корректных материалов, в основном традиционных (дерево, камень, кирпич). Часто используемыми являются продукты рециклизации неорганического мусора: бетона, стекла и металла.
- Предотвращение «мостиков холода», т. е. мест утечки тепла через плохо изолированные стены, крыши, старые окна и т. п. Именно существование таких «мостиков холода» обуславливает необходимость отопления в наших домах.
- Компактность сооружения.
- Пассивное использование солнечной энергии благодаря ориентации здания на юг и отсутствию затененности.

- Специальные высококачественные окна и оконные профили с коэффициентом теплопроводности $< 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ и энергопроницаемостью около 50 %.
- Норма воздухообмена согласно тесту на разницу давлений — $n_{50} < 0,6/\text{ч}$. Для обмена воздухом с окружающей средой используются и некоторые технологии, позволяющие снизить лишние потери тепла. В зависимости от времени года и соответствующей температуры вне дома, организуется либо предварительное нагревание воздуха, либо предварительное его охлаждение. Как правило, это достигается с помощью специального подземного воздухопровода, который в своей работе использует температуру земли. Применяется и рекуперация тепла из отработанного воздуха (процент сохранения тепла $> 75 \%$).
- Высокоэффективные установки экономии электричества для использования в хозяйственных целях.
- Подогрев воды при помощи солнечных коллекторов или теплового насоса.
- Такой незначительный на первый взгляд параметр, как цвет, играет очень важную роль в «пассивном доме». Как известно, от цвета материала зависит его теплообмен, поэтому для «пассивных домов» характерен белый цвет стен и крыши. В последнее время используется также зеркальное покрытие внешних стен, что еще более снижает воздействие внешних факторов на климат внутри дома.

Дополнительное отопление и охлаждение «пассивного дома»

Большие «пассивные дома», а также здания школ и промышленных комплексов часто требуют наличия дополнительного отопления. Здесь имеется в виду не отопление, например, газовым или твердотопливным котлом. Речь идет об альтернативных источниках отопления (например, при помощи тепловых насосов, солнечных батарей), а также отоплении при помощи воздуха (подразумеваемом электрический подогрев воздуха, поставляемого при помощи контролируемой вентиляционной системы). Эти затраты энергии учитываются при проекторочных расчетах «пассивных домов» с тем, чтобы не выходить за пределы установленных нормативами показателей.

Один из самых важных элементов в концепции «пассивного дома» — подвод свежего воздуха в помещения. Эта концепция «отопления свежим воздухом» является единственно возможной в здании с высокой теплоизоляцией, каким и предстает «пассивный дом». При этом тепловая нагрузка должна быть менее $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$, что позволяет использовать свежий воздух для отопления.

Какими же преимуществами отличается технология «пассивного дома»?

- Во-первых, *экономичность*: не нужно тратить на установку сетей центрального отопления и газа, а затраты электрической энергии на отопле-

ние пассивных домов в 7–12 раз меньше, чем в кирпичных домах традиционной постройки.

- Во-вторых, *энергобезопасностью*, что связано с отсутствием в пассивных домах сетей газа и теплоцентралей: нужны только вода и электроэнергия в размере 10 кВт на дом или квартиру.
- В-третьих, *энергонезависимостью*: «пассивные дома» обладают массивными несущими стенами, плитами пола первого этажа и межэтажными перекрытиями, что способствует хорошей аккумуляции тепла и децентрализации энергоснабжения.
- В-четвертых, *экологичностью*: в зданиях, построенных по этой технологии, применяются современные строительные материалы и конструкции, а также новейшее инженерное оборудование. В «пассивных домах» циркулирует чистый и теплый свежий воздух, стены и полы постоянно остаются теплыми.

Распространение технологии «пассивный дом»

Даже без какой-либо рекламы и агитации, постройка «пассивных домов» происходит достаточно активными темпами, что связано, прежде всего, с сокращением расходов на отопление в 7–10 раз. Такой показатель лег в основу быстрой окупаемости «пассивного дома», первоначальные затраты на который были несколько выше, чем на обычный дом. Около 300 зданий было реализовано к концу 1999 года в Германии; к концу 2000 года их было уже 1000, а в 2006 году их число составляло 6000. Кроме того, были построены и «пассивные дома» второго поколения, отличающиеся чрезвычайно низким потреблением энергии.

Энергоэффективный подход к возведению зданий

Здания с максимальным использованием выделяемой внутри них тепловой энергии и максимальной защитой от потерь тепла через наружные поверхности и вентиляцию называют *энергосберегающими*, или *энергоэкономическими*. В них стремятся использовать технологии отопления, вентиляции, освещения, водоснабжения, канализации с минимальными затратами энергии на функционирование таких жилищ. Для этого применяют возобновимые источники энергии (солнечную, ветровую и т. п.). Наряду с этим, обращают внимание и на сокращение потери тепла, повышение сопротивления теплопередачи наружу здания, что в комплексе с учетом местных климатических условий позволяет обеспечить хорошие условия регулирования теплообмена в здании и снизить энергозатраты.

Здания, конструктивно совмещенные с установками для утилизации возобновляемой энергии, называют *энергоактивными*. В них происходит максимальное совмещение несущих и технологических функций конструкций зданий и устано-

вок. Это позволяет не только сократить расход отторгаемой земли, строительных материалов, но и снизить длину коммуникаций.

Основные принципы проектирования энергетически эффективного дома — это максимальное использование выделяемой внутри него тепловой энергии и максимальная защита от потерь тепла через наружные поверхности и вентиляцию, применение альтернативных источников энергии.

Следует отметить, что для обогрева дома, который считается дешевым в эксплуатации, может понадобиться либо 70, либо всего лишь 15 кВт/(м²·год). Дома, отвечающие первому, более высокому, уровню расхода энергии, называются *энергоберегающими*, или *энергоэффективными*. Их разновидностью являются «пассивные дома», уровень потребления энергии которых не превышает 15 кВт/(м²·год).

В условиях климата с низкими отрицательными температурами, присущего большей части нашей страны, следует уделять внимание тому, насколько здание подвержено отдаче тепла. Значительно снизить теплопотери удастся с помощью объемно-планировочных решений.

Как уже отмечалось в *главе 1*, отношение площади ограждающих конструкций к объему строения (так называемый *коэффициент подверженности*, S / V) влияет на энергетическую эффективность здания. Чем меньше отношение площади ограждающих конструкций к объему, тем менее подвержено здание влияниям климата (см. рис. 1.4 в главе 1).

Если сравнивать два дома, форма одного из которых — полусфера, а другого — параллелепипед, то получится, что купольный дом потребует меньше затрат на обогрев (из-за снижения потерь на рассеяние тепла) — как минимум на 20 % (см. раздел «Энергетическая эффективность купольного дома» главы 1).

Точно так же соотношения между периметром здания P и его площадью S говорят в пользу ширококорпусного дома, где поверхность ограждения меньше на 20 % (см. рис. 1.5 в главе 1).

Ширококорпусные дома (ШКД) представляют собой одну из последних отечественных разработок (см. также главу 1). Принципиальное их отличие от домов типовых серий, строившихся до сих пор, состоит в увеличении ширины корпуса дома до 18–20 м (теоретически до 23,6 м) с соблюдением всех норм естественной освещенности, инсоляции, воздухообмена. С учетом того, что ШКД почти в 1,5 раза шире обычных домов, отношение полезной жилой площади к площади наружных стен у них увеличено, за счет чего тепловые потери снижаются на 20–40 %.

Значительная потеря тепла в зимний период происходит через оконное остекление. Проследив изменение количества теплопотерь в зависимости от варианта остекления и сравнив их характеристики, можно сделать вывод, что снижения энергозатрат можно добиться грамотным выбором остекления.

Энергопотребление зданий, как уже было сказано, можно снизить и за счет ориентации здания, что актуально для нашего климата, особенно в зимний период. Вопрос ориентации основного фасада здания подробно рассмотрен в разделе «Ориентация» главы 1.

Все перечисленные здесь факторы позволяют обеспечить хорошие условия регулирования теплообмена в здании, снизить энергозатраты и улучшить микроклимат помещений. Однако использования инноваций в области энергосбережения при создании энергоэффективного дома недостаточно: всегда присутствует человеческий фактор, негативно влияющий на конечный результат. Как следствие, возникают причины нерационального расходования тепловой энергии.

Одна из таких причин — низкое качество и неплотности сопряжений, окон, дверей, ограждающих конструкций.

При оценке теплопроводности теплоизоляционных материалов не учитывается наличие инфильтрации, когда в зимний период холодный воздух проникает в помещения, просачиваясь через стены, стыки и неплотности окон. Проходя через толщину стены, он вызывает снижение температуры ограждения на его поверхности, а, проникая в комнату, охлаждает воздух внутри и вызывает дополнительные потери теплоты. Такая инфильтрация воздуха приводит к увеличению тепловых потерь через ограждения почти в 2 раза.

Другим слабым местом является сопряжение окон с наружными стенами. Здесь при косом дожде вода часто попадает в тело панелей, ухудшая их теплозащитные свойства и разрушая строительную конструкцию. Возможно попадание влаги в утеплитель и из-за некачественного выполнения стыков панелей, соединения мембран. Нередко вода через эти места проникает и в жилые помещения. В результате термическое сопротивление стен в таких зданиях в 4–5 раз ниже нормативного.

Ухудшение теплозащитных свойств в холодную пору года ведет к образованию на внутренней поверхности конденсата и даже черной плесени, промерзанию панелей. Затраты на отопление этих зданий значительно увеличиваются.

С такими проблемами (в частности, с появлением конденсата на внутренних поверхностях стен в местах стыков панелей) приходится сталкиваться как в зданиях постройки прошлых лет, так и в современной постройке. Это говорит о том, что стыковые соединения не удовлетворяют современным требованиям энергоэффективности ни с конструктивной точки зрения, ни (в первую очередь) с точки зрения качества выполнения работ.

Несовершенство нерегулируемых систем естественной вентиляции также является причиной нерационального использования энергии. В зимний и, в общем случае, в любой другой период, в течение которого производится отопление помещений, энергия затрачивается в том числе на подогрев вентилируемого воздуха. Затраты на вентиляцию современных зданий при составлении энергетических паспортов оцениваются в 40–50 % всех затрат на отопление. При этом требуемый уровень воздухообмена необходим как в «холодных» домах, так и в «теплых». Отсюда следует, что как бы мы ни утепляли здание, расходы тепла на вентиляцию без использования специальных инженерных методов уменьшаться не будут; чем теплее у здания будет «шуба», тем большими в относительном выражении будут затраты на вентиляцию.

Тепловизионный (с использованием инфракрасной съемки) контроль качества строительно-монтажных работ позволит навести порядок на строительных площадках, повысит ответственность строителей за выполнение «скрытых работ», даст информацию разработчикам и производителям строительных конструкций по совершенствованию конструкции и инженерного оборудования.

Таким образом, становится понятным, что рациональным и экономически целесообразным способом повышения энергоэффективности является только сочетание различных конструктивных и инженерных мероприятий: например, увеличение теплозащитных свойств ограждающих конструкций при одновременном использовании современных инженерных энергосберегающих методов и технологий.

Концепция энергоэффективного индустриального «чистого» скоростного возведения полносборных зданий из высокотехнологичных систем

Методология проектирования энергоэффективного высотного здания должна основываться на системном анализе здания как единой энергетической системы. Представление энергоэффективного здания лишь как суммы независимых инновационных решений нарушает принципы системности и приводит к потере энергетической эффективности проекта.

Особенность энергоэффективного здания — это его система энергоснабжения с использованием топливных элементов, а также система энергосберегающих мероприятий, обеспечивающих снижение затрат энергии и повышение качества микроклимата.

Использование энергосберегающих мероприятий потребует более высоких инвестиций в строительство, но при этом обеспечит существенное снижение эксплуатационных расходов, уменьшение вредного воздействия на окружающую среду и повышение качества микроклимата. По первоначальным оценкам авторов, эксплуатационные расходы в таком здании на 15–20 % ниже, чем в подобных зданиях, построенных без использования энергосберегающих мероприятий. Период окупаемости энергосберегающих мероприятий оценивается в 6–10 лет.

В табл. 8.6 приведены климатические характеристики Нью-Йорка как города, наиболее массово использующего энергоэффективное высотное строительство, а также (для сравнения) климатические характеристики Санкт-Петербурга и Ростова-на-Дону.

Приведем основные энергоэффективные мероприятия, наиболее часто используемые при строительстве энергоэффективных экологически чистых зданий:

- собственная электростанция на топливных элементах для электроснабжения — побочный продукт химической реакции (горячая вода) используется для теплоснабжения и горячего водоснабжения;
- использование фотоэлектричества для электроснабжения;

- абсорбционные чиллеры/нагреватели с прямым использованием природного газа (direct-fired absorption chiller/heaters);
- применение главным образом естественного освещения;
- окна с повышенными тепло- и солнцезащитными характеристиками;
- ограждающие конструкции с сопротивлением теплопередаче $3,52 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и более;
- автоматическое управление освещением с датчиками, регистрирующими наличие людей в подсобных помещениях и на лестничных клетках;
- осветительные приборы с малым энергопотреблением и световые указатели на светодиодах;
- насосы и вентиляторы с регулируемым электроприводом.

Таблица 8.6

Климатические характеристики Нью-Йорка, Санкт-Петербурга и Ростова-на-Дону

Параметр	Город		
	Нью-Йорк	Санкт-Петербург	Ростов-на-Дону
Географические координаты	40° с. ш., 73° з. д.	55° с. ш., 37° в. д.	47° с. ш., 39° в. д.
Среднегодовая температура наружного воздуха, °С	10,7	3,8	8,7
Средняя температура наиболее холодного месяца, °С	-1,8	-10,2	-5,7
Средняя температура наиболее жаркого месяца, °С	22,8	18,1	22,9
Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца, °С	27,1	23,7	29,1

Кроме энергосбережения, большое внимание должно уделяться повышению качества микроклимата за счет увеличения воздухообмена и применения нетоксичных материалов. Проектировщики при этом должны использовать системный подход, рассматривая здание как единую систему.

Для выбора оптимальных характеристик наружных ограждающих конструкций и параметров системы климатизации целесообразно прибегать к математическому моделированию, например, при помощи программного пакета DOE-2.1, разработанного Американским министерством энергетики (Department of Energy, DOE). Программный пакет DOE-2.1 позволяет моделировать почасовое потребление энергии зданием с учетом условий наружного климата и сравнивать различные способы достижения энергоэффективности.

Первоначальный замысел должен предусматривать выбор формы здания, позволяющей оптимальным образом использовать теплопоступление с солнечной

радиацией и снижение теплопотерь — например, круглые в сечении здания, однако в связи с ограниченными размерами и формой участка, отведенного под строительство, от этого замысла иногда приходится отказываться.

Система энергоснабжения здания

Наиболее интересным элементом энергоэффективного здания является его система энергоснабжения. Здание в идеале должно использовать три вида энергии:

- электрическую энергию от городской электросети;
- природный газ для тепло- и холодоснабжения здания, а также для получения электрической энергии, тепла и воды в специальных электрохимических генераторах — топливных элементах;
- солнечную радиацию для получения электрической энергии в фотоэлектрических панелях (солнечных батареях), которыми облицовывают верхние этажи здания.

Производство энергии на месте позволяет снизить потери при транспортировке.

Получение электрической энергии, тепла и воды в топливных элементах

Топливный элемент (электрохимический генератор) — устройство, вырабатывающее электроэнергию из водорода и кислорода в результате электрохимической реакции (без процесса горения). В отличие от обычных батарей, топливные элементы не аккумулируют электрическую энергию, а преобразуют в электрическую энергию часть энергии топлива, поступающего от внешнего источника. В процессе работы химический состав топливного элемента не изменяется, т. е. топливный элемент не нуждается в перезарядке.

Для производства электрической энергии может использоваться не только чистый водород, но и другое водородосодержащее сырье, — например: природный газ, аммиак, метанол или бензин. В качестве источника кислорода служит обычный воздух.

При использовании чистого водорода в качестве топлива продуктами реакции, помимо электрической энергии, являются тепло и вода (или водяной пар) — т. е. в атмосферу не выбрасываются газы, вызывающие загрязнение воздушной среды или парниковый эффект. Если в качестве топлива используется водородосодержащее сырье, например природный газ, побочным продуктом реакции будут и другие газы, — например, оксиды углерода и азота, однако их количество значительно ниже, чем при сжигании такого же количества природного газа. Процесс химического преобразования топлива с целью получения водорода называется *реформингом*, а соответствующее устройство — *реформером*.

Для получения электрической энергии в предполагаемом энергоэффективном здании могут быть установлены два топливных элемента РС25 мощностью 200 кВт каждый. Период окупаемости установки оценивается менее чем 10 лет

(зависит от стоимости природного газа). Основные технические характеристики топливного элемента РС25 приведены в табл. 8.7.

Таблица 8.7

**Основные технические характеристики
топливного элемента РС25**

Характеристика	Значение
Установочная мощность	200 кВт
Вырабатываемая электрическая энергия	480/227 В, 60 Гц, 3 фазы или 400/230 В, 50 Гц, 3 фазы
Потребление топлива	Природный газ — 57,4 м ³ /ч Газ из метатенка — 90 м ³ /ч при 60%-ном содержании СН ₄
Выделяемые загрязнения	СО — < 2 ppm NO _x — < 1 ppm SO _x — незначительно
Вырабатываемая тепловая энергия	264 кВт·ч при температуре 60 °С или 132 кВт·ч при температуре 60 °С и 132 кВт·ч при температуре 120 °С
Уровень шума	60 дБ (А) (допускается установка внутри здания)
Габаритные размеры	3×3×5,5 м
Масса	18,1 т

**Получение электрической энергии
в фотоэлектрических панелях**

Встроенные в здание фотоэлектрические панели, а также тонкопленочные фотоэлектрические элементы, наклеенные на фасадные стекла, позволяют снизить потребности здания в электроэнергии. Кроме того, панели, интегрированные в ограждающие конструкции, увеличивают теплозащитные характеристики ограждений.

**Система климатизации энергоэффективного «чистого»
строительства зданий**

Механическая система вентиляции обеспечивает помещения наружным воздухом. Воздухозаборные устройства располагаются на высоте нижних и последних этажей здания. Система вентиляции предусматривает переменный расход приточного воздуха (VAV) в размере 3,66 м³/(ч·м²). По требованию арендаторов можно обеспечить дополнительную вентиляцию 0,9 м³/(ч·м²).

Газовый состав наружного воздуха, поступающего в здание, контролируется при помощи газоанализаторов, установленных в приточных устройствах. Через заданные промежутки времени в наружном воздухе оценивается концентрация углекислого газа (CO_2) и угарного газа (CO).

Подача воздуха в помещения осуществляется через воздухораспределители, установленные в полу, и с прокладкой воздуховодов под фальшполом обслуживаемого помещения. Там же, под фальшполом модулей полносборных зданий, прокладываются электрические коммуникации.

Помещения со сходными требованиями к параметрам микроклимата и освещенности объединяют в группы, что позволяет точнее и эффективнее регулировать эти параметры, а также уменьшить суммарную длину системы воздуховодов. На каждом этаже уровень вентиляции может устанавливаться индивидуально.

Курительные комнаты посредством индивидуальных вентиляционных каналов соединяются с отдельной вытяжной вентиляционной шахтой, расположенной в центральной части здания.

При «чистом» строительстве в здании используются нетоксичные материалы, применение которых позволяет улучшить качество внутреннего воздуха. Мебель, ковровые покрытия и оборудование также оказывают влияние на качество воздуха.

Для управления всем оборудованием климатизации предлагается использовать компьютерную систему DDC, Direct Digital Control.

Получение холодной и горячей воды для охлаждения и отопления здания

Получение холодной и горячей воды для охлаждения и отопления здания обеспечивается абсорбционными чиллерами/нагревателями с прямым использованием природного газа (direct-fired natural-gas absorption chiller/heaters). В отличие от компрессорных установок кондиционирования воздуха, работающих на электрической энергии, в таких установках в качестве источника энергии используется относительно дешевый природный газ. Кроме снижения затрат на тепло- и холодоснабжение, использование природного газа позволяет снизить загрязнение воздушной среды, поскольку в установках этого типа не применяются озоноразрушающие соединения, — эти установки автор позволит себе назвать «экологически эффективными».

Несколько таких установки располагаются обычно на верхнем этаже. Каждая установка состоит из абсорбера, генератора, насоса и рекуперативного теплообменника. Установки обычно имеют разную мощность, что позволяет использовать их в различных комбинациях для наилучшего удовлетворения потребностей здания. Установка оборудования теплоснабжения непосредственно в здании позволяет снизить потери, связанные с транспортировкой энергии. Период окупаемости этих установок составляет 3 года.

Строительство полносборных зданий из модулей на основе каркаса из металлоконструкций

Когда в начале 1990-х годов отечественные компании массово «открыли» для себя монолитное домостроение и кинулись закупать разборную опалубку, мобильные бетонные заводы, растворные узлы и другое оборудование, для развитых зарубежных стран оно было уже «вчерашним днем». А «днем сегодняшним» было тогда и остается до сих пор строительство полносборных зданий из модулей на основе каркаса из металлоконструкций с учетом того, что удельная прочность стали в 10 раз выше, чем у бетона и каменной или кирпичной кладки, а общая получаемая масса сооружения снижается почти на треть — при том, что 80 % стальных строительных элементов производится из переработанного металла.

Использование металлоконструкций позволяет не только существенно увеличить этажность жилых и офисных зданий, но и ускорить строительство, а у архитекторов и дизайнеров появляется свобода творчества при планировке.

Сегодня сталь является одним из самых популярных и самых перспективных строительных материалов. Многочисленные технологические решения по применению стали и стальных конструкций постоянно совершенствуются, при этом 100 % стальных изделий пригодны для дальнейшего использования.

Быстровозводимые модульные полносборные здания (БМПЗ) — это новая концепция модульного полносборного скоростного возведения зданий, а также зданий производственного назначения из объемно-пространственных высокотехнологичных модулей.

Характерной чертой развития строительства к 2016 году стало использование необычных и нетрадиционных альтернативных строительных объектов — например, модульных комплексов скоростного возведения капитальных зданий.

Вековой спор о том, что лучше — железобетон или металлокаркас — привел к попыткам объединения их конструктивных особенностей. Первые сооружения на основе легкого металлокаркаса, омоноличенного бетоном, появились и в России.

Металлические конструкции широко применяются при строительстве торговых центров, общественных зданий и спортивных сооружений, в меньшей степени — офисных и очень редко — в жилье. И это объяснимо — стоимость каркаса во многом зависит от шага несущих конструкций. В Москве построено только несколько жилых зданий в металлокаркасе.

Производство и монтаж металлокаркаса — это высокотехнологичный процесс с большой степенью заводской готовности конструкций. Благодаря этому каркас можно изготовить и смонтировать на стройплощадке с высокой точностью и в короткие сроки. При этом монтаж ограждающих панелей или стен можно доверить даже малоквалифицированному персоналу.

При использовании металлокаркаса удастся сэкономить и за счет сокращения сроков строительства здания. Ведь все строительные проекты сейчас реализуются с привлечением заемных или кредитных средств, поэтому сокращение цикла строительства даже на 1–2 месяца сулит значительную экономию.

Автор предполагает усовершенствовать процесс изготовления полносборных зданий, разделив их на модули, снабдив их в заводских условиях энергоэффективными инженерными сетями и отделкой, обеспечив скоростной монтаж средствами автоматизации и роботизации. Это позволит значительно сократить время на сборку здания на открытом воздухе. При этом модули полносборного здания и детали настолько точно будут изготовлены ($\pm 0,2$ мм), что процесса их подгонки не потребуются. Последними возводятся внешние сэндвич-панели со встроенными солнечными батареями и стеклянные панели. По расчетам автора, такие металлические полносборные здания из модулей способны выдерживать землетрясения силой до 9 баллов по шкале Рихтера.

Автор выдвигает гипотезу возможного объединения эффективности модульного строительства с возможностями и требованиями капитального возведения полносборных зданий.

Концепция состоит в применении унифицированных модульных конструкций повышенного заводского изготовления минимальных типоразмеров, поточного монтажа полносборных зданий и комплектных поставок модулей и автоматизированного, роботизированного монтажа элементов здания при отсутствии на площадке «мокрых» процессов. Монтаж повышенной заводской готовности полносборного здания предполагается осуществлять в максимально короткие сроки при максимально высоком уровне технологичности — к этому автор предлагает применить понятие «чистого» строительства, так как монтаж здания предполагается вести на заранее подготовленном фундаменте при наличии выполненного благоустройства и подведенных инженерных сетей.

Критерий эффективности разрабатываемой системы полносборного скоростного строительства:

$$Z_c = Z_n + Z_{tr} + Z_m \rightarrow \min,$$

где Z_c — комплексный показатель затрат, Z_n — затраты времени и средств производства, Z_{tr} — затраты транспортирования, Z_m — затраты монтажа сборных модулей.

Информационно-технологическая модель системы индустриального полносборного строительства модульных зданий может быть представлена в виде функционалов:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n Q(Z_c) \rightarrow \min, & \quad Z_n = f_1(l_k, b_k, m_k, K_T, \Pi), Z_m = f_3(l_k, b_k, m_k, Q, T) \\ \sum_{i=1}^n T(Z_c) \rightarrow \min, & \quad Z_{tr} = f_2(l_k, b_k, m_k, K_T, L, n) \end{aligned} \right\} (8.1)$$

где l_k, b_k, m_k — длина, ширина, масса модулей; K_T — количество типоразмеров конструктивных модулей; L — расстояние от завода до объекта; n — количество модулей; Π — производительность технологической линии; $Q(Z)$ — трудоемкость работ; $T(Z)$ — продолжительность возведения полносборного здания.

Экотехнологии строительства с учетом критериев энергоэффективного здания

Проектирование с использованием принципов экостроительства происходит при постоянном взаимодействии специалистов, отвечающих за архитектурные, конструктивные решения, «зеленые» технологии, начиная с момента зарождения концепции. Это обусловлено интеграцией составляющих для получения наибольшего эффекта от принятых мероприятий. Таким образом, комплексное использование основных положений на практике требует одновременного анализа множества факторов. Интегральный характер устойчивого строительства ставит перед специалистами задачу, решение которой индивидуально в каждом конкретном случае, обеспечивает устойчивое развитие и часто является инновационным.

Концепция устойчивого развития общества, зародившаяся в конце XX века, стала основой для создания строительных решений и проектов нового, XXI столетия, выходящих за рамки привычной архитектуры и направленных на поддержку принятой стратегии. В результате, в обиход вошло такое понятие, как *устойчивое строительство*.

Устойчивое строительство подразумевает бережное отношение к окружающей среде и здоровью человека, начиная с момента производства строительных материалов до окончания жизненного цикла здания и утилизации его конструкций, соблюдение этических норм, положительное эстетическое воздействие, инновационность и экономическую эффективность.

В отношении воздействия на окружающую среду устойчивое строительство включает в себя следующие требования (рис. 8.6):

- сокращение выбросов CO_2 и тепловых выделений в атмосферу;
- использование возобновляемых источников энергии;
- сбережение энергетических и природных ресурсов;
- использование экологичных и возобновляемых строительных материалов;
- сокращение негативного воздействия земляных работ;
- создание благоприятного для человека микроклимата помещений;
- возможность утилизации конструкций или переработки для последующего использования.

В зданиях, проектируемых по принципам устойчивого строительства, стремятся получить максимально возможный положительный эффект от мероприятий, направленных на выполнение указанных требований. Для этого применяют

комплекс объемно-планировочных, конструктивных, технологических решений, а также современное инженерное оборудование.



Рис. 8.6. Экологические требования устойчивого строительства

Сокращения потерь тепла можно достичь за счет повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания. Для этого применяют высокоэффективные утеплители, конструкционные материалы с малыми коэффициентами теплопроводности, окна с покрытием, сохраняющим тепловую энергию, камеры которых заполнены инертными газами.

Одной из причин увеличения тепловых потерь является низкое качество и неплотность сопряжений окон, дверей, ограждающих конструкций. Поэтому герметичная заделка всех стыков и щелей, поможет исключить утечки теплоты.

Утилизация тепла для подогрева наружного приточного холодного воздуха осуществляется с помощью специальных теплообменников, устанавливаемых в окна или рядом с ними, а также рекуператоров механической приточно-вытяжной вентиляции. Как следствие, теплый воздух не поступает в окружающую среду. Принцип действия этого вида вентиляции изображен на рис. 8.7.

Сегодня существует несколько способов сбора и концентрации альтернативной (возобновляемой) энергии. Самый простой и не требующий ее дополнительных затрат — это архитектурные решения, позволяющие использовать здание в качестве «тепловой ловушки». Например, учитывая расположение солнца над горизон-

том и по сторонам света (рис. 8.8), мы ориентируем большие открытые пространства на южную сторону и получаем возможность прогреть помещение в светлое время суток с помощью солнечной радиации. Расположив внутри помещения элементы из массивных материалов, способных удерживать тепло, и темные поверхности, аккумулируем полученную энергию. Аналогичный эффект возможен при устройстве снаружи здания светопрозрачной теплицы, зимнего сада или атриума.

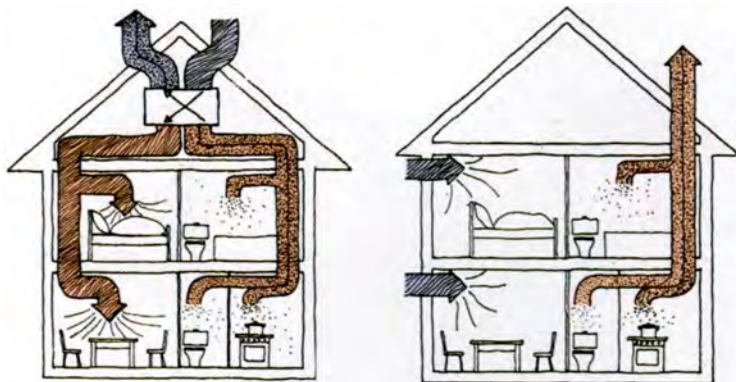


Рис. 8.7. Принцип работы вентиляции с рекуперацией

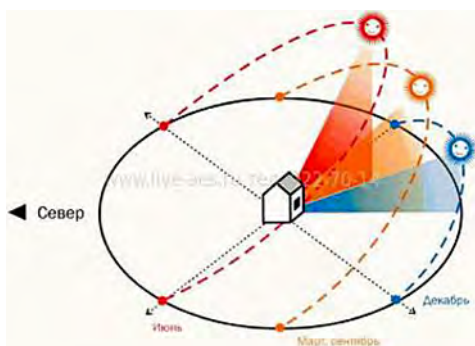


Рис. 8.8. Схема расположения солнца над горизонтом и по сторонам света

Применение современного инженерного оборудования открывает большие возможности в области получения «зеленой» энергии. С помощью тепловых насосов тепло от внутренних источников (бытовые приборы, люди, теплая вода после употребления и т. п.) утилизируется и впоследствии используется для обогрева здания. Так же для отопления и горячего водоснабжения используют солнечные коллекторы, которые устанавливают на крышах или открытых поверхностях, ориентируя их на солнечную сторону. Принцип их действия заключается в том, что жидкость, не замерзающая зимой, циркулирует по системе, нагреваясь в коллекторах и отдавая тепло в баках-теплообменниках. На рис. 8.9 изображен вариант горячего водоснабжения, применяемый в одном из немецких экопоселков «Карлсхоэ».

Его особенность в том, что тепло со всех коллекторов поступает в единый аккумуляторный бак. Такой способ дает возможность дольше сохранять полученную тепловую энергию.

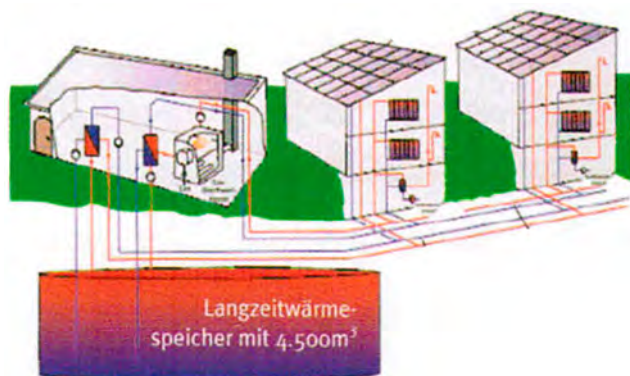


Рис. 8.9. Схема горячего водоснабжения и отопления в экопоселке «Карлсхоэ»

Все упомянутые способы помогают сократить энергетические затраты во время эксплуатации здания. Однако сбережение энергетических и природных ресурсов необходимо и на стадии строительства здания, а также изготовления строительных материалов. В связи с этим, для несущих и ограждающих конструкций здания и его отделки следует использовать материалы местного производства, тогда на их доставку будет израсходовано меньшее количество топлива. Также предпочтение следует отдавать строительным материалам, на изготовление которых затрачивается меньше энергии, что достигается за счет усовершенствования технологий производства и корректировки состава. Кроме того, разные виды материалов изначально требуют разное количество топлива для их изготовления.

Говоря об утилизации и переработки конструкций после окончания жизненного цикла здания, следует помнить, что грамотный выбор строительных материалов на этапе проектирования поможет решить этот вопрос с минимальным отрицательным воздействием на окружающую среду. Утилизацию и переработку проходят все виды строительных материалов, однако на них затрачивается разное количество энергии, выделяется разное количество вредных веществ для окружающей среды и, наконец, не все из них возможно полностью утилизировать.

Проектирование с использованием принципов устойчивого строительства происходит при постоянном взаимодействии специалистов, отвечающих за архитектурные, конструктивные решения, «зеленые» технологии, начиная с момента зарождения концепции. Это обусловлено интеграцией составляющих для получения наибольшего эффекта от принятых мероприятий.

Цель процесса — найти оптимальное сочетание решений, которое позволит создать здание с максимально возможным соответствием экостандартам, учитывая природно-климатические условия местности, функциональное назначение

здания, архитектурные предпочтения разработчиков и требования нормативных документов.

Следует заметить, что стремясь достичь наилучшего результата по каждому из требований, но при этом не рассматривая их в совокупности, можно столкнуться с рядом противоречий.

Например, для сокращения теплопотерь, необходима наиболее компактная форма и минимальный процент остекления. В то же время, чтобы обеспечить благоприятный микроклимат, следует стремиться к большим световым проемам, так как естественное освещение положительно сказывается на психоэмоциональном состоянии человека.

Разрешить противоречия подобного рода возможно, если обратиться к решению каждого вопроса, как части общего, т. е. найти оптимальное сочетание конкретно в каждом случае.

Основные принципы устойчивого строительства заложены в международные системы экологических сертификаций. На сегодняшний день в России начато внедрение трех лидирующих международных стандартов, по которым определяют экологическую эффективность зданий: BREEAM, LEED и DGNB (см. также разд. *«Проектирование домов в соответствии с «зелеными стандартами»» главы 1*).

Разработкой и внедрением собственных российских стандартов занимается некоммерческое партнерство «Центр экологической сертификации — Зеленые стандарты». С 1 марта 2013 года вступил в силу ГОСТ Р 54964-2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости», разработанный коллективом НП «Зеленые стандарты». Стандарт применяется на этапах проектирования, строительства, реконструкции и эксплуатации объектов недвижимости, а также при проведении добровольной сертификации объектов недвижимости и их проектной документации.

Эталоном стандарта является здание, в котором по всем требованиям устойчивого строительства достигнута максимальная величина показателей. На практике осуществить это сложно. Однако следует стремиться сократить отрицательное воздействие на окружающую среду, насколько это возможно в конкретном случае. Не только полное исключение негативного влияния, но и его снижение значимо для устойчивого развития общества.

На сегодняшний день в мире разработано и построено уже немало зданий, которые получили высокую оценку при экологической сертификации. Далеко не все из них выполнены из природных материалов, тем не менее, они заслуженно отнесены к разряду экологичных: Bank of America (Нью-Йорк), The Hearst Tower (Нью-Йорк), Burj Al-Taqa (Дубай), деревянный многоэтажный дом Forte (Австралия) и др.

Эти проекты подтверждают, что при всем многообразии условий эксплуатации и функциональных назначений, возможно создать здание, приближенное к эталону. Главное — найти оптимальное сочетание решений, которое позволит обеспечить максимально возможное соответствием принципам устойчивого строительства и экостандартам.

Таким образом, комплексное использование основных положений «зеленых» стандартов на практике требует одновременного анализа множества факторов.

Энергоэффективное высотное здание

При строительстве высотных зданий возникает множество специфических проблем, связанных с конструктивными решениями, противопожарной защитой, обеспечением безопасности, а также психологическим дискомфортом, возникающим у людей, длительное время находящихся на большой высоте.

При проектировании высотных зданий также возникает проблема выбора материала конструкций здания. В США в качестве основного конструкционного материала обычно используется сталь, а в Европе — железобетон. По мнению академика В. И. Травуша, заместителя директора ЦНИИЭП им. Мезинцева, железобетонные конструкции по сравнению со стальными обладают тремя важными преимуществами: большей устойчивостью, обусловленной их большим весом, в них быстрее затухают колебания, они более огнестойки. Именно высокие требования к огнестойкости ограничивают в Европе строительство высотных зданий с металлическими конструкциями, поскольку в случае их использования необходимо проводить дополнительные противопожарные мероприятия.

После строительства высотных зданий изменяется аэродинамика городской застройки и возникают сильные воздушные вихревые потоки, поэтому при проектировании высотных зданий требуются исследования их аэродинамики с учетом прилегающей городской застройки. Большое значение приобретают требования к сопротивлению воздухопроницанию конструкций, связанные с разностью давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждений, существенно возрастающей с увеличением высоты. Традиционные окна не обеспечивают требуемое сопротивление воздухопроницанию, поэтому для высотных зданий необходимы специальные конструкции световых проемов.

Внутри высотных зданий также могут возникать сильные воздушные потоки (эффект аэродинамической трубы). Для их уменьшения должны применяться специальные решения: шлюзование входов в здание, шлюзование лестничных секций, высокая герметизация межэтажных перекрытий, герметизация мусоропроводов.

Большую проблему представляет обеспечение безопасности, достаточно вспомнить события в Нью-Йорке. Сейчас специалисты говорят об определенных конструктивных недоработках зданий Всемирного торгового центра, в частности, о недостаточной огнестойкости стального каркаса зданий. Однако обеспечение безопасности — это не только защита от воздушных атак. Например, механическую систему вентиляции высотных зданий необходимо оборудовать датчиками вредных веществ, которые можно распылить у воздухозаборных устройств, а также системой, автоматически отключающей в этом случае механическую вентиляцию.

Уникальным примером решения проблем, возникающих при строительстве высотных зданий, является самое высокое в Европе здание Commerzbank, построенное во Франкфурте-на-Майне в Германии. Строительство этого здания было завершено в мае 1997 года, его высота составляет 259 метров, высота с антенной — 300 м. Будучи самым высоким в Европе, здание Commerzbank занимает 24-е место в мире по высоте — ни одно другое европейское здание не входит в список пятидесяти самых высоких небоскребов мира. Однако сам по себе этот факт вряд ли привлек бы к нему внимание специалистов.

Здание, разработанное британским архитектором сэром Норманом Фостером (Sir Norman Foster) и его студией Foster and Partners (Лондон), представляет собой радикальный пересмотр всей концепции строительства высотных зданий.

Большинство высотных зданий построено по традиционной американской модели: полностью кондиционируемые помещения, практически полное отсутствие естественного освещения, центральная организация построения здания и идентичные этажи. Новое здание «Commerzbank» существенно отличается от этой схемы: в нем используется главным образом естественное освещение и естественная вентиляция, имеется атриум, проходящий от уровня земли до самого верхнего этажа, и из каждого офиса или части здания открывается вид на город. Спирально по всему зданию расположены зимние сады высотой в четыре этажа — они улучшают микроклимат и создают совершенно иную рабочую обстановку.

На разработку концепции здания оказала влияние политическая и социальная атмосфера, сложившаяся после объединения Германии. Гармония с окружающей средой и энергетическая эффективность стали основными факторами при проектировании здания Commerzbank. Реализация этих концепций позволила Норману Фостеру назвать свое детище «первым в мире экологичным высотным зданием». Как пишет Колин Дейвз (Colin Davies) в предисловии к книге Commerzbank Frankfurt: Prototype for an Ecological High-Rise:

...революционный дизайн здания от «Foster and Partners» «...дает начало новой стадии в развитии экологичной, энергосберегающей и снижающей загрязнение архитектуры... Это здание создано как для сотрудников, так и для посетителей. Оно включает в себе не только экономичную форму и эффективную планировку, но и качество пространства, физический и психологический комфорт, свет, воздух и вид на город, работу и отдых, а также ритм рабочего дня».

Немецкая «Партия зеленых» поддержала экологичность нового здания «Commerzbank». Поскольку «Commerzbank» при строительстве старался сохранить и защитить естественную окружающую среду при помощи инновационных конструктивных решений, городские власти дали разрешение на расширение проектной площади. На дополнительной земельной площади с восточной стороны высотного здания удалось расположить шестиэтажное здание, в котором разместились дополнительные офисные помещения, а также парковку. В результате банку «Commerzbank» удалось сосредоточить большинство своих офисов на выделен-

ном ему участке земли и не приобретать дополнительных площадей в дорогом районе Франкфурта-на-Майне.

Архитектурно-планировочная концепция

Горизонтальная проекция башни представляет собой треугольник со скругленными вершинами и немного выпуклыми сторонами. Центральная часть здания, в которой обычно располагаются лифтовые шахты, занята огромным треугольным центральным атриумом, проходящим по всей высоте здания. Атриум является каналом естественной вентиляции для смежных офисных помещений здания (рис. 8.10). Норман Фостер называет центральный атриум «стеблем», а офисные этажи, расположенные вокруг атриума с трех сторон, — «лепестками».

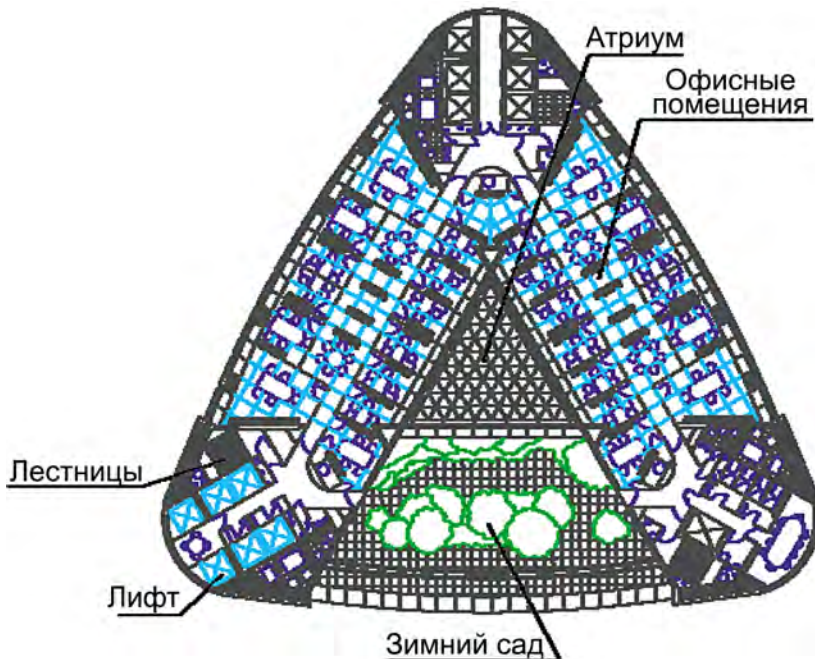


Рис. 8.10. Треугольный замысел здания включает в себе центральный атриум, который является частью системы естественной вентиляции

Каждый этаж имеет три крыла, два из которых выделены под офисные помещения, а третье является частью одного из четырехэтажных зимних садов. Четырехэтажные сады — «зеленые легкие» здания — размещенные по спирали вокруг треугольной формы здания, обеспечивают для каждого яруса вид на растительность и устраняют большие объемы неразделенного офисного пространства.

Норман Фостер рассматривал растения как нечто большее, чем просто декорацию. Эти великолепные сады являются фундаментальным элементом в его

концепции. Девять зимних садов по спирали окаймляют все здание: три расположены с восточной стороны, три — с южной и еще три — с западной стороны. В ботаническом аспекте растения отражают географическую направленность:

- с восточной стороны — азиатская растительность;
- с южной стороны — средиземноморская растительность;
- с западной стороны — североамериканская растительность.

Открытые пространства садов высотой в четыре этажа обеспечивают внутренние офисные помещения достаточным количеством дневного света. Кроме того, сады могут быть использованы сотрудниками для общения и отдыха — они создают ощущение пространства, а также являются частью сложной системы естественной вентиляции (рис. 8.11).

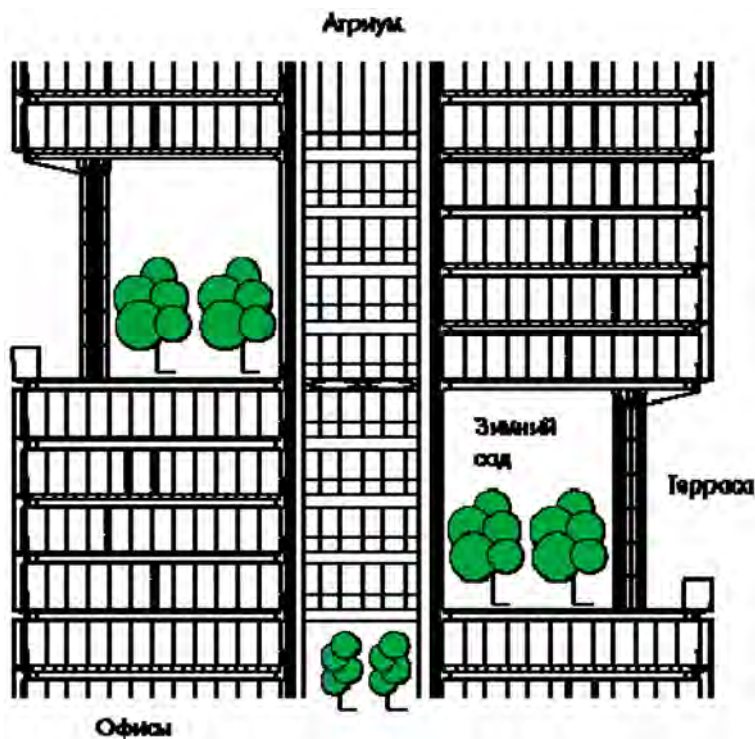


Рис. 8.11. Поперечное сечение здания с зимними садами

Лифты, лестничные марши и служебные помещения расположены в трех углах. Такое расположение позволяет сгруппировать офисы и зимние сады. Решетчатые балки, прикрепленные к колоннам, размещенным в трех углах здания, несут на себе каждый этаж и зимний сад. Такое решение позволило отказаться от колонн внутри здания и обеспечило конструкции дополнительную жесткость.

53-этажное здание поднимается ввысь вместе с уже существующим зданием «Commerzbank». При этом Норману Фостеру удалось достичь сочетаемости ста-

рого и нового зданий посредством перестройки и обновления периметра граничащих зданий.

Главный вход в новое здание расположен с северной стороны, с площади Кайзерплац (Kaizerplatz). Попасть в здание можно по гигантской лестнице, покрытой стеклянной крышей. На первом этаже расположены отделения банков, магазины, рестораны и кафетерии, а также залы для проведения выставок и концертов.

Ступенчатая верхушка здания производит сильное впечатление даже на большом расстоянии. Силуэт здания создает четкий символ современного банковского района Франкфурта-на-Майне.

Ограждающие конструкции здания и солнцезащитные устройства

Для снижения затрат энергии на климатизацию здания, а также для организации естественной вентиляции, светопрозрачные ограждения офисов здания сделаны двухслойными — практически уникальный прием в современном высотном строительстве. Внешняя оболочка (первый слой) имеет щелевые отверстия, через которые наружный воздух проникает в полости между слоями (рис. 8.12). Окна, в том числе и те, которые расположены на верхних этажах, могут быть открыты, что обеспечивает естественную вентиляцию непосредственно до уровня 50-го этажа. Окна, выходящие в атриум, также могут быть открыты.

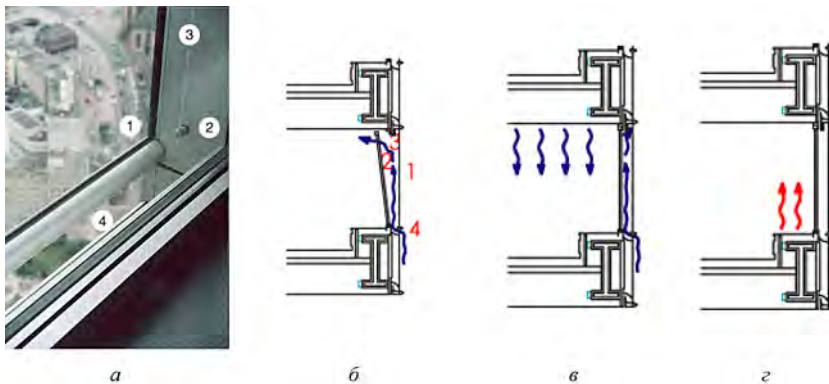


Рис. 8.12. Схема конструкции наружных светопрозрачных ограждений:

a — общий вид: 1 — первый слой с щелевыми отверстиями, 2 — второй слой (оконный стеклопакет), 3 — солнцезащитные устройства (регулируемые жалюзи), 4 — отверстия вентилируемой прослойки; *б* — летний период, хорошая погода (окна открыты); *в* — летний период, плохая погода (окна закрыты); *г* — зимний период (наружный слой герметизирован)

Снижение затрат энергии на отопление здания достигается использованием теплозащитного остекления с коэффициентом теплопередачи приблизительно 1,4–1,6 Вт/(м²·°С). Кроме того, первый слой играет роль защитной оболочки, уменьшающей конвективный тепловой поток, направленный наружу. Зимой в ночное

время пространство между внешней и внутренней оболочками фасада герметизируется, образуя статичную воздушную прослойку, обладающую хорошими теплоизоляционными свойствами. Снижению затрат энергии на отопление способствуют и зимние сады, обеспечивающие дополнительные теплопоступления за счет аккумулялирования тепла солнечной радиации.

Снижение затрат энергии на охлаждение здания достигается путем использования герметичных двойных стеклопакетов, заполненных инертным газом и отражающих инфракрасное излучение. Такие стеклопакеты установлены в зимних садах, а также в несущих стенах по периметру офисных помещений. При этом солнцезащитные устройства устанавливаются между стеклопакетом и внешней светопрозрачной оболочкой здания.

При поступлении в здание солнечной радиации происходит ее первоначальное ослабление посредством внешней светопрозрачной оболочки. Дальнейшее резкое уменьшение солнечной радиации осуществляется при помощи солнцезащитных устройств.

Аэродинамика и система естественной вентиляции здания

Высотное здание разделяется по вертикали на четыре 12-этажных модуля, называемых «деревьями». Каждый модуль имеет три 4-этажных зимних сада, соединенных вертикально посредством центрального атриума. Сады и атриум связаны для повышения эффективности естественной вентиляции. Каждый модуль контролируется собственной независимой установкой климатизации. Через каждые 12 этажей на границах модулей атриум разделен горизонтально для выравнивания давления и защиты от распространения дыма. Сады, атриум и офисные помещения по периметру имеют открываемые окна. Вентиляция офисов в первую очередь осуществляется естественным образом, но в здании также имеются установки механической вентиляции и охлаждаемые перекрытия с замоноличенными трубопроводами.

При разработке проекта вентиляции использовались методы компьютерного моделирования и аэродинамические исследования.

Компания RPI (Roger Preston International) провела подробный климатический анализ, выполнила моделирование теплового режима здания и оценку комфортности микроклимата здания. Влияние ветрового напора на здание и воздушные потоки в атриуме исследовались в аэродинамической трубе, а результаты исследований использовались в ходе дальнейшего компьютерного моделирования.

Примерно в течение двух третей года сотрудники банка могут регулировать уровень естественной вентиляции самостоятельно путем индивидуального открытия окон. Только при сложных погодных условиях система автоматического управления оборудованием климатизации задействует систему механической вентиляции. Благодаря такой схеме организации вентиляции энергопотребление в высотном здании «Commerzbank» на 30 % ниже, чем в традиционных высотных зданиях таких же размеров.

Естественная вентиляция здания «Commerzbank» осуществляется под действием гравитационных сил и ветрового напора. Выбор ориентации здания относительно преобладающего направления ветра позволил обеспечить достаточную естественную вентиляцию.

Вентиляция внутренних зон здания может осуществляться при помощи механической системы, обеспечивающей минимальную кратность воздухообмена для обеспечения комфортных параметров микроклимата. Регулирование температуры помещений осуществляется отопительными установками, расположенными по периметру здания, и охлаждаемыми перекрытиями с замоноличенными трубопроводами. Внутренний (выходящий в атриум) фасад оборудован наклонно-поворотными окнами со встроенными выходными демпферами (маленькими поворотными окнами) и имеет одинарное остекление. Наружный двойной фасад состоит из одинарного и многослойного остекления, обеспечивающего солнцезащиту. Наружный воздух попадает в верхнюю часть каждого помещения сквозь вентилируемые полости в фасаде и выходит через жалюзи рядом с поворотными окнами.

При прямом солнечном облучении и безветренных днях (приблизительно 3 % всех дней года) естественная вентиляция, возникающая в результате гравитационного напора, может быть четко измерена, поскольку температура увеличивается на каждом этаже на 1,5–3 °С (при прямом солнечном излучении) или на 1 °С на каждом этаже при днях с переменной облачностью. Естественная вентиляция, возникающая под действием гравитационного напора, может быть неэффективна при переменной облачности только в том случае, если наружная температура значительно превышает температуру помещений.

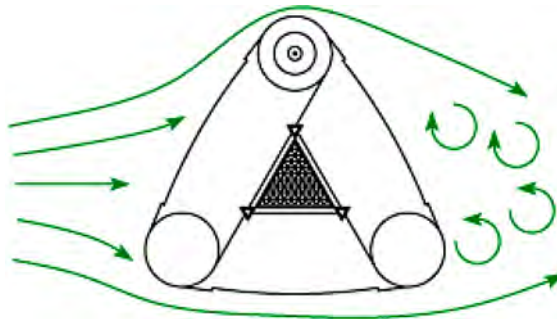


Рис. 8.13. Схема воздушных потоков вокруг здания

На рис. 8.13 показаны воздушные потоки, возникающие под действием ветрового напора. Из рисунка следует, что только треть здания обращена к наветренной стороне, а две трети здания — к подветренной. Аэродинамические исследования, проведенные при средней скорости ветра во Франкфурте-на-Майне (приблизительно равной 4 м/с), а также для известных геометрических размеров здания, показали, что воздушные потоки, возникающие под действием ветрового напора, будут

способствовать естественной вентиляции здания в течение всего года при открытии соответствующих элементов окон.

В зимний период естественная вентиляция всех офисных помещений, расположенных по периметру здания, обеспечивает комфортные параметры микроклимата в помещениях, однако здесь необходимо обратить внимание на то, что механическая вентиляция позволяет обеспечивать комфортные параметры микроклимата при одновременной экономии энергии за счет утилизации тепла удаляемого воздуха. Естественная вентиляция внутренних (смежных с зимним садом) офисных помещений эффективнее, чем вентиляция офисов, расположенных по периметру здания, поскольку внутренние офисные помещения расположены рядом с зимними садами. Зимние сады действуют как термальные буферные зоны, в которых прямая или рассеянная солнечная радиация помогает обогревать все помещение. В переходный период, когда наружная температура колеблется в пределах от 5 до 15 °С, механическая вентиляция не является необходимой из-за приемлемой температуры наружного воздуха.

Открытие окон наклонно-поворотного типа имеет смысл, когда сила ветра умеренная. Такое открытие окон создает кратность воздухообмена в помещении 4–6 1/ч. При высокой скорости ветра и температуре ниже 15 °С окна необходимо держать закрытыми и следует использовать механическую систему вентиляции и дополнительный обогрев, а также, при необходимости, и увлажнение. Каждый находящийся в комнате может включить механическую вентиляцию и систему обогрева, а также открыть на определенное время окна для поступления свежего воздуха, вернувшись, таким образом, к системе естественной вентиляции.

Анализ расчетных значений наружных и внутренних температур в летний и переходный периоды при естественной вентиляции показывает, что в летнее время при безветренной погоде необходимо осуществлять дополнительную вентиляцию и охлаждение здания, поскольку в противном случае температура в комнатах будет превышать комфортную. В этот период времени окна зимних садов полностью открываются, забирая теплый наружный воздух при температурах около 32 °С. В зимних садах наружный воздух охлаждается приблизительно на 0,5–1 °С. Охлажденный естественным образом воздух движется через атриум и затем перемещается к следующему зимнему саду, где выходит из здания.

В ночное время в преддверии жаркого летнего дня теплоемкие части здания охлаждаются посредством прохладного наружного воздуха, в то время как охлаждаемые перекрытия с замоноличенными трубопроводами поглощают и высвобождают тепловую энергию. Оборудование приблизительно 50 % площадей помещений охлаждаемыми перекрытиями обеспечивает достаточную теплоемкость для создания прохладных температур в помещениях на следующий день в диапазоне от 21 °С (8:00 утра) до 28,5 °С (18:00 вечера) без использования воздушно-го кондиционирования.

Здание Commerzbank дополнительно оборудовано системами механической вентиляции для обеспечения требуемых параметров микроклимата. Уровень ме-

ханической вентиляции и охлаждения может быть задан любым присутствующим в здании.

В результате наблюдений, проводимых в этом здании в течение года, было установлено, что частота использования естественной вентиляции в дневное время достигла 70%. Только в 9 % времени года наружная дневная температура повышалась настолько, что действительно было необходимо применять воздушное кондиционирование. В 21 % времени года целесообразно дополнительно использовать механическую вентиляцию для экономии энергии посредством утилизации тепла удаляемого воздуха. Тем не менее естественная вентиляция возможна и в этот период.

Исследования различных способов ночного охлаждения здания дали следующее процентное распределение, построенное по совокупному объему часов эксплуатации:

- использование механической вентиляции и дополнительно охлажденного воздуха — около 15 %;
- использование механической вентиляции и наружного воздуха — 12 %;
- охлаждение путем естественной вентиляции — около 73 %.

Система климатизации

Система климатизации здания включает в себя систему механической вентиляции с утилизацией тепла удаляемого воздуха, охлаждаемые теплоемкие перекрытия с замоноличенными трубопроводами, конвекторы для обогрева помещений офисов и обогреваемые металлические конструкции светопроемов ограждений атриума.

Охлаждаемые теплоемкие перекрытия с замоноличенными трубопроводами служат для естественного охлаждения здания вместо традиционной системы кондиционирования с присущими ей недостатками.

Обогрев помещений осуществляется стандартными конвекторами. Сотрудники банка имеют возможность индивидуально контролировать температуру в офисе внутри определенного диапазона.

Все функции здания направлены на удовлетворение потребностей сотрудников и в то же время предполагают высокую эффективность использования энергии. Это достигается при управлении инженерным оборудованием «интеллектуальной» системой, которая обеспечивает оптимальный режим работы систем вентиляции, отопления и охлаждения, а также позволяет сотрудникам индивидуально регулировать параметры микроклимата непосредственно в рабочей зоне.

Использование естественного освещения

Команда разработчиков проекта придала большое значение максимально возможному использованию дневного света. Использование естественного освещения

значительно снижает эксплуатационные затраты и, кроме того, улучшает психологический комфорт находящихся в здании людей.

Каждое офисное помещение в здании Commerzbank расположено в соответствии с требованиями Германского строительного стандарта, который требует, чтобы все сотрудники размещались не далее чем 7,5 м от окон. Прозрачность здания и стеклянные перегородки между офисными помещениями и коридорами позволяют достичь высокого уровня освещенности дневным светом на всех рабочих местах.

На каждом уровне одна из треугольных секций здания является открытой и составляет часть зимнего сада. Такая конструкция позволяет каждому офису либо иметь вид на город, либо иметь вид на атриум и сад.

Зимние сады позволяют свету проникать к внутренним стенам каждого крыла. Эти сады обеспечивают «природный вид» для сотрудников офисов и вместе с атриумом участвуют в организации естественной системы вентиляции для всего здания.

Особенности конструкции

Здание представляет собой равносторонний треугольник со скругленными углами шириной 60 м. Его форму составляют три секции, сочлененные с центральным атриумом.

Немецкие строители предложили конструкторское решение, предполагавшее использование железобетона в качестве основного конструкционного материала. Железобетонная конструкция дешевле на несколько миллионов долларов по сравнению со стальной, однако такое решение привело бы к необходимости размещения колонн внутри зимних садов и за счет этого к ухудшению естественной освещенности всего здания. Здание Commerzbank стало первым в Германии высотным зданием, в котором сталь использовалась в качестве основного конструкционного материала.

Применение стали вместо железобетона в конструкции высотного здания потребовало специальных противопожарных мероприятий, осуществленных немецкой компанией BPK Brandschutz Planung Klingsch GmbH. В числе прочих мероприятий — применение спринклерной системы, обеспечивающей подачу воды даже при отключении энергии. Конструктивно эта система выполнена в виде емкостей, в которых помимо воды закачан под давлением газ. В случае пожара емкость разгерметизируется, и вода под давлением разбрызгивается без дополнительного побуждения.

Для ограничения усадки существующего старого 30-этажного здания «Commerzbank», расположенного в нескольких метрах от нового, строители производили забивку свай и заливку монолитного фундаментного основания для каждого угла в отдельности.

Забивка свай осуществлялась на глубину 40 м до незатронутой подстилающей коренной породы (здания во Франкфурте обычно имеют фундамент на глуби-

не 30-метрового глинистого пласта). Сплошной фундамент был создан на глубине 7,5 м, его толщина составляет 2,5–4,5 м. Сто одиннадцать свай диаметром 1,5–1,8 м и длиной до 48,5 м собраны по группам под каждой из колонн высотного здания.

Наружное освещение

Молодой немецкий дизайнер Томас Эмде (Thomas Emde) добавил окончательные штрихи к зданию, спроектированному Норманом Фостером. Схема наружного освещения, предложенная Томасом Эмде, была выбрана по итогам конкурса.

Проект этой схемы наружного освещения был разработан в студии «Blendwork», в которой работали четыре профессионала: дизайнер Томас Эмде, менеджер проектов и историк-искусствовед Питер Фишер (Peter Fischer), дизайнер светового оформления Гюнтер Хекер (Gunther Hecker) и менеджер по световому дизайну Ральф Тьювен (Ralf Teuwen).

Благодаря световому оформлению от Томаса Эмде особые черты первого в мире экологичного высотного здания видны ночью так же отчетливо, как и днем. При взгляде издали девять 4-этажных зимних садов, опоясывающих здание по спирали, создают впечатление прозрачности здания. Именно такую прозрачность и хотел подчеркнуть Томас Эмде при разработке схемы наружного освещения. Для этого он разместил источники рассеянного света в садах, что позволяет им ночью светиться теплым желтым светом. Он также подсветил верхние фасады здания, чтобы подчеркнуть вертикальность здания. В результате панорама ночного Франкфурта сильно изменилась.

В студии Blendwork также было создано «Цветовое Руно» (The Color Fleece – огромная картина в вестибюле здания. При размерах в 210 м² это произведение является одним из самых больших в мире. То, что видит наблюдатель, зависит от его местоположения, времени суток и уровня естественной освещенности. В монографии, описывающей процесс создания этого произведения, Эмде написал о здании «Commerzbank»:

В отличие от других высотных зданий (во Франкфурте), здание Нормана Фостера создает новое двойное движение. С одной стороны, здание практически уходит в бесконечную высоту, заметно поднимаясь ввысь от земли и отрываясь от нее. В то же время само здание несет ввысь и девять садов.

Здание поднимает вместе с собой целые деревья, отрывая растения от земли, со своим пониманием близости к природе и корней в почве. Это отражает двойственность здания, поскольку оно, как и деревья, которые всегда стремятся расти ввысь, ближе к свету, тоже стремится ввысь.

В данном случае здание «Commerzbank» изменяет простой закон прикрепленности к земле. Здание отрицает необходимость нахождения растений на земле, поднимая их на высоту и приближая к свету.