

Российская академия наук. Сибирское отделение
Государственная публичная научно-техническая библиотека

Серия "Экология"

Издается с 1989 г.

Выпуск 53

А.В. Аврорин

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ.
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Аналитический обзор

Новосибирск, 1999

ББК Н71-022.7 + Н6-642

Аврурин А.В. Экологическое домостроение. Строительные материалы: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ. - Новосибирск, 1999. - 72 с. - (Сер. Экология. Вып. 53).

Один из основных количественных критериев выбора строительных материалов для малоэтажного строительства с точки зрения принципов устойчивого развития - это энергия полного жизненного цикла материалов: затраты энергии на добычу, производство, строительство, эксплуатацию, демонтаж и вторичное использование материалов. Этот критерий начал вводиться в практику развитых стран, так как более точно отражает общественные затраты на строительство и эксплуатацию жилых домов. В соответствии с этим критерием и принципами устойчивого развития в обзоре анализируется использование естественных возобновляемых и невозобновляемых материалов, пути сокращения потребления энергии при производстве и транспортировании с целью снижения затрат, сохранения окружающей среды и обеспечения строительства высококачественными строительными материалами.

Анализ в основном проводится на материалах Центра ООН по населенным пунктам (Хабитат) с привлечением факсимильных изданий университетов США и Канады и других отечественных и зарубежных источников.

Данный обзор предназначен для проектировщиков и строителей, для студентов и преподавателей, экологов и специалистов, интересующихся вопросами экологического домостроения.

Ответственный редактор к.ф.-м.н. И.А. Огородников
Рецензент Б.В. Нестеров

Обзор подготовлен к печати к.п.н. О.Л. Лаврик
Н.И. Коноваловой
Т.А. Калюжной

ISBN 5-7623-1243-7

© Государственная публичная
научно-техническая библиотека
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ГПНТБ СО РАН), 1999

Мы как члены мирового сообщества архитекторов и профессионалов в области проектирования и строительства индивидуально или через профессиональные организации, обязуемся:

- сделать проблемы экологической и социальной устойчивости ядром нашей практики и профессиональной ответственности;*
- развивать и постоянно улучшать практику, процедуры, продукты, обучающие курсы, услуги и стандарты, которые ведут к проектам, соответствующим принципам устойчивого развития;*
- убеждать своих сотрудников, работников строительной индустрии, клиентов, студентов и всех людей в крайней необходимости и практической возможности перехода к устойчивым проектам;*
- установить такую политику, правила и практику в управлении и бизнесе, чтобы практика гарантированно устойчивого проектирования стала нормой;*
- довести все существующие и будущие элементы строительного дела - проектирования, производства, строительства, переработки и вторичного использования ресурсов - до стандартов устойчивого проектирования.*

Из "Декларации сотрудничества в интересах устойчивого будущего", принятой Мировым конгрессом архитекторов в Чикаго 18-21 июня 1993 г.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость написания обзора по строительным материалам возникла в связи с тем, что строительная отрасль в нашей стране, как и в целом экономика, претерпевает существенные и быстрые изменения. Строительство жилья занимает настолько большое место как в экономике, так и в социальной политике, что неправильно выбранное направление или даже отдельные ошибки могут определить успех или неудачу развития регионов и страны в этот переходный период и на много лет вперед. Ошибки в массовом строительстве становятся практически неисправимыми,

и мы на протяжении поколений вынуждены будем уживаться с ними, тратя свое здоровье и огромные средства на устранение их последствий.

Особенно велико влияние строительной отрасли на окружающую среду. Построенные в период индустриализации города не только не соответствуют современным представлениям о здоровой окружающей среде, но потребляют природные ресурсы и производят отходы в количествах, которые ведут к наблюдаемой сейчас быстрой деградации среды обитания человека и всего живого на Земле.

Осознание глобального характера воздействия на природу человеческой деятельности, неравномерности экономического развития и ограниченности естественных ресурсов привело международное сообщество к формулировке идеи перехода к устойчивому развитию как цели всех сфер деятельности и каждого в отдельности гражданина Земли [1, 2]. Координация усилий членов ООН по переходу к устойчивому развитию в жилищном секторе осуществляется Центром ООН по населенным пунктам (Хабитат) и его национальными бюро. Центр систематизирует информацию и разрабатывает предложения по развитию строительных отраслей в развивающихся странах, издает отчеты и обзоры по разным вопросам [3], в том числе, и производству строительных материалов. Данный аналитический обзор опирается в основном на эту информацию и затрагивает производство строительных материалов для малоэтажного строительства, соответствующего принципам устойчивого развития.

Обеспечение строительного комплекса дешевыми, длительного пользования материалами, позволяющими строить высококачественное жилье по доступным ценам, - один из главных приоритетов мирового сообщества. В результате начал расти интерес к хорошо знакомым, но забытым традиционным материалам и технологиям строительства [4 - 7]. Более глубокое изучение вопроса показало, что производство традиционных материалов из местных ресурсов на заводах небольшой мощности, располагаемых в непосредственной близости от места строительства, чаще всего более экономически выгодно и позволяет в несколько раз снизить стоимость материалов. Если вспомнить, что стоимость материалов в развивающихся странах составляет до 70% стоимости дома, то целесообразность такого подхода становится очевидной [8].

Трудность внедрения традиционных материалов заключается часто в недоверии специалистов к их прочности, водостойкости, долговременности, соответствующих действующим стандартам и нормам. Они, как правило, отсутствуют в перечнях разрешенных к применению материалов. Поэтому их использование чаще идет от энтузиастов и не имеет нормативной основы. Сейчас эта ситуация меняется и все большее число традиционных материалов получают официальный статус и становятся объектом исследований и совершенствования. Использование современных знаний позволяет очень недорогими средствами устранить недостатки традиционных материалов, либо существенно упростить и удешевить технологии производства современных индустриальных материалов и

наладить их производство на простых мини-заводах. В США, Индии, Кении и других странах Африки и Азии уже приняты национальные стандарты на грунтовые и соломенные дома, практикуется полная или частичная замена портландцемента более дешевыми связующими (золы, известь, сера), использование в качестве наполнителей бетонов отходов производства (древесные стружки и опилки, рисовая и ржаная соломы, шелуха подсолнечников и других орехов и зерен). Появляются все новые и новые разработки по утилизации отходов различных типов производств, позволяющие не только получить дешевые строительные материалы, но и снизить нагрузку на окружающую среду отходами производств и расход энергии на производство строительных материалов, что уже приближает нас к созданию безотходных производственных циклов, которые являются необходимым элементом устойчивого развития.

Кроме того, при производстве традиционных строительных материалов и строительстве подразумевается большее использование дешевого ручного труда, что ведет к дополнительному снижению стоимости строительства и создает очень важный социальный аспект, позволяя создавать дополнительные рабочие места для малоквалифицированной рабочей силы. Это важно в развивающихся и развитых странах и особенно в России: необходимо обеспечить работой, жильем и средствами существования большое количество освобождающихся рабочих рук на длительное время перестройки экономики.

Предлагаемый аналитический обзор не охватывает всех аспектов материаловедения. Эта обширная область науки и техники быстро развивается во многих направлениях, охватывая различные разделы фундаментальных и прикладных наук. Ежегодно в лабораториях синтезируются десятки тысяч новых материалов и сотни из них попадают в практический оборот. Для продвижения их на рынки сбыта издается многочисленная реклама и инструкции по применению, где достаточно подробно описываются характеристики материалов. Почти вся эта информация распространяется по сети Интернет и доступна пользователям. Несколько сотен описаний материалов дано в Российской архитектурно-строительной энциклопедии [9]. Но в большинстве случаев описания не содержат информации, которая позволяет выбирать материалы и организовывать строительство с точки зрения устойчивого развития. Прежде всего это касается энергопотребления материалов в течение всего их жизненного цикла, что необходимо при проектировании энергетически эффективных домов, где минимум энергопотребления достигается оптимальным выбором материалов в комплексе с другими энергосберегающими мероприятиями.

В обзоре сделан первый шаг, помогающий специалистам ввести в практику проектирования и организации строительной отрасли энергетический подход. Из всего множества материалов выбраны те, для которых удалось выявить данные по энергопотреблению. Причем наибольшее внимание уделено материалам, которые преобладают сейчас в строительстве жилых домов и, очевидно еще долго будут преобладать. Прежде всего это дерево, кирпич, бетон, которые составляют около 80% от общего объема используемых строительных материалов. От их экономии

и сбережения энергии при производстве в первую очередь зависят возможности достижения целей устойчивого развития. Включенные в обзор описания основных и перспективных материалов содержат информацию о конструктивных характеристиках материалов только в той мере, которая необходима для сопоставления их с энергетическими характеристиками при выборе материалов.

Действующий в нашей стране стоимостной анализ не позволяет в полной мере оценить последствия принятых решений в перспективе, так как основан на сегодняшней конъюнктуре цен. Поэтому Центром ООН по населенным пунктам предлагается проводить анализ на основании минимизации затрат энергии на обеспечение полного жизненного цикла материалов, который более устойчив к конъюнктуре рынка, тем более, что энергетика по прогнозам специалистов будет играть все более решающую роль в развитии всех стран. Величина потребляемой энергии уже стала основным ценообразующим фактором и ее стоимость непрерывно растет. Прогноз на сохранение этой тенденции в дальней перспективе гарантирует правильность оценок эффективности проектов по величине потребленной энергии, включая утилизацию изделий после окончания их срока службы. Принцип оценки и минимизации энергопотребления «от колыбели до могилы», который начинает использоваться в наиболее развитых странах [10, 11], уже показал свою эффективность в существенном снижении энергоемкости производства и строительства в расчете на единицу произведенной продукции, которая в несколько раз меньше, чем в нашей стране.

Назревшая необходимость реформирования строительного дела в России заставляет более пристально вглядываться в опыт передовых развитых и развивающихся стран, ранее нас вступивших на путь реформирования, так же как и на собственный опыт и знания, до сих пор не востребованные обществом. Анализ мирового опыта крайне необходим нашей стране, чтобы избежать крупных ошибок в выборе направления развития строительной отрасли и критического его осмысления при переносе на национальную почву. Начавшееся бурное развитие малоэтажного строительства почти повсеместно не соответствует уровню современных требований, а следовательно, ведет к все увеличивающимся напрасным затратам общественных усилий и ресурсов. Усугубляется это еще тем, что органы государственного управления и контроля также еще не разработали для себя критерии оценки проектов и организации строительства с точки зрения устойчивого развития.

Данный обзор является продолжением ранее начатых публикаций по теме развития энергоэффективного, экологического домостроения [12] и ответом на поручение, выработанное в результате парламентских слушаний : «Разработчикам программы «Экодом» с целью обоснования предпочтительности конкретных проектов разработать методику сопоставимых оценок экологических параметров, ресурс- и энергопотребления в жизненном цикле жилья» (п. 4 Рекомендаций парламентских слушаний «Эко-номика устойчивого развития», проведенных 27 октября 1995 года Комитетом Совета Федерации по социальной политике и Экспертным советом по проблемам народонаселения и устойчивого развития).

Развитие строительства односемейных домов усадебного типа из дешевых материалов, соответствующих современным требованиям по энергоэффективности, ресурсосбережению и уровню удобств, дадут не только возможности экономически более независимого развития семьи и семейного бизнеса, но и создадут условия жизни в гармонии с окружающей средой без ее разрушения.

Глава 1. СТРАТЕГИЯ ПЕРЕХОДА К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Условно мир можно разделить на восемь климатических зон, которым соответствуют более трех сотен типов домов, но такое количество больше определяется социокультурными факторами, чем климатическими и ландшафтными особенностями. Даже выбор строительных материалов часто определяется именно этими факторами. Жилые дома далекого прошлого, исключая дворцы, отличаются экономией строительных ресурсов и энергии. Еще в наше время мы можем найти каменные дома, построенные в прошлом тысячелетии, и деревянные дома, построенные одно - два столетия назад, в которых использованы материалы, произведенные преимущественно тяжелым ручным трудом. Поэтому эти дома очень экономичны и одновременно рациональны с точки зрения использования естественных ресурсов и условий жизни. Время оптимизировало архитектуру домов и технологии их строительства из местных, наиболее дешевых, но эффективных материалов.

В XX в. развилась тенденция преимущественного использования в строительстве стали, цемента, алюминия и пластиков, благодаря быстрому опережающему развитию энергетики на основе органических топлив. Относительная дешевизна энергии в развитых странах привела к расточительному ее использованию и распространению энергоемких технологий, а следовательно, к повышенному загрязнению окружающей среды. В период индустриализации экономик и связанной с ней быстрой урбанизацией были распространены индустриальные технологии строительства жилья из крупных типовых элементов с плотной застройкой территорий многоэтажными домами.

Рост требований к качеству жилища и среды обитания, а также мировой энергетический кризис постепенно заставили пересмотреть жилищную политику и перейти к расширению малоэтажного строительства. 64% населения Соединенных Штатов Америки сейчас живет в собственных односемейных домах, большинство из которых имеют автономные системы жизнеобеспечения. Другие развитые страны идут по этому же экономически и экологически более выгодному пути.

Один из острейших кризисов развивающихся стран связан с их быстрой урбанизацией. В строительстве широко используются заимствованные технологии индустриального строительства на основе материалов с высоким уровнем обработки. Стоимость индустриального

жилища, удовлетворяющего самым минимальным потребностям развития семьи, становится недоступной для абсолютного большинства населения. Поэтому быстро развивается перенаселенность, растут трущобы и ухудшается состояние окружающей среды. Непрерывный рост стоимости и дефицит энергии в развивающихся и бедных странах заставляет пересмотреть жилищную и энергетическую политику и перейти к политике энергосбережения.

Мировое сообщество, обеспокоенное сложившейся ситуацией в связи с резким падением уровня жизни и достижением предельного уровня восстановительных свойств среды, пришло к необходимости следовать некоторым общим принципам, сформулированным в 1992 г. в Рио-де-Жанейро [1]. Эти принципы основаны на трех фундаментальных законах, которые управляют природой [13]:

- отходы равны пище. В природе продукты разложения находятся в постоянно действующем замкнутом цикле, чтобы обеспечить пищей другие системы с минимумом затрат энергии и материалов. Каждый же американец производит в два раза больше, чем его вес, домашних, промышленных и других вредных отходов, а также еще полтонны в неделю газовых отходов, включая углекислый газ, которые не возвращаются в пищу для него или для других живых существ.

- природа использует только энергию солнца. Это единственный источник поступления энергии извне в нашу замкнутую систему. Поэтому необратимый расход энергии в нашей индустрии не должен превышать уровень приходящей энергии.

- природа сохраняется и устойчива за счет биоразнообразия и не терпит массового унифицированного производства.

Развитие этих принципов привело к формулировке задач для жилищного сектора в основополагающих документах конференции: "Декларация по окружающей среде и развитию", "Повестка дня на XXI век" [2] и "Декларация об обеспечении всех достойным жилищем" [14]. Анализ этих документов и материалов многих конференций, включая конференцию Хабибат в Стамбуле (1996) [15], показывает, что только на пути оптимальных проектирования и организации всего строительного комплекса в соответствии с принципами устойчивого развития и использования энергосберегающих технологий появляется возможность преодолеть жилищный кризис и добиться долговременного прогресса в жилищной сфере.

Для того, чтобы следовать этим принципам, мы должны принять новые критерии оценок и выбора технологий, материалов, образа жизни, а также новую систему цен в рыночной экономике, которая должна соответствовать природоохранной системе ценностей и не позволять продавать товары по более низкой цене тем, кто при их производстве разрушает окружающую среду, извлекает ресурсы, не восстанавливая природу, не отдает взятые у природы кредиты настоящим и будущим поколениям.

Общество, позволяя продавать товары по заниженной цене, вынуждено часть средств брать из государственных бюджетов, то есть у налогоплательщиков, для поддержания хоть в каком-то порядке окружающей среды, тем самым поощряя разрушителей и создавая

невозможность конкурировать на рынке тем, кто в процессе производства тратит часть средств на восстановление окружающей среды. Таким образом было практически разорено мелкое фермерское хозяйство, которое по природе своей было восстановительным, создавая среду обитания и поддерживая плодородие земли в основном за счет естественных возобновляемых ресурсов. Причем такое хозяйство имело тысячелетнюю историю и было очень эффективным. Но сельскохозяйственная индустрия нашего века, основанная на механизированном и химизированном земледелии, истощая и загрязняя землю и используя дешевые энергоресурсы, добытые природоразрушающим образом, безусловно победила в конкурентной борьбе и продолжают вытеснять с лица Земли жалкие остатки таких природовосстановительных хозяйств [16].

Новые принципы развития универсальны, и отсталость не может быть причиной отказа от действий по переходу к устойчивости, так как она чаще всего ответственна за наиболее неприятные последствия загрязнений и наиболее расточительное использование ресурсов. Развитие отсталых регионов в основном за счет импорта высоких технологий, материалов и оборудования и экспорта сырья не только приводит к неравенству в распределении благ и обнищанию основной массы населения, но и, как правило, к повышению загрязнения окружающей среды из-за отсутствия развитой системы утилизации отходов и увеличения числа техногенных катастроф. В то же время устойчивость локального и регионального развития может быть достигнута только при достаточной степени диверсификации региональных экономик, дающих возможность реализации творческого потенциала большинства населения. В противном случае неизбежен отток наиболее активной части общества в более развитые регионы и связанное с этим неизбежное падение экономики, уровня жизни и деградация окружающей среды.

Казалось бы для отсталых регионов нет выхода из этой ситуации, но при тщательном рассмотрении в условиях сложившегося свободного мирового рынка товаров и услуг всегда можно найти такие технологии, которые дают возможность производить высококачественную продукцию без применения индустриальных технологий крупного массового производства и без загрязнения окружающей среды. В строительстве - это древние технологии изготовления строительных материалов и строительство из местных ресурсов. Небольшие добавки современных вяжущих материалов и улучшение технологий дают возможность строить дома более высокого качества по сравнению с индустриальными. Использование в таких домах современных автономных систем жизнеобеспечения, с переработкой и утилизацией отходов на приусадебном участке, исключающей загрязнение окружающей среды, наиболее прогрессивный и дешевый способ решения проблем повышения уровня жизни и обеспечения жильем, соответствующий принципам устойчивого развития.

Соединение устойчивых технологий строительства и эксплуатации домов с биоинтенсивными технологиями возделывания прилегающего участка земли открывает путь к созданию локально замкнутых жизненных

циклов - ячеек устойчивости, обеспечивающих современные удобства и здоровый образ жизни. Практика создания таких ячеек устойчивости распространяется достаточно медленно и в основном усилиями энтузиастов из развитых стран. Но их создание не требует вложения больших капитальных средств и доступно на любом уровне развития. Широкое распространение практики создания устойчивых ячеек создаст необходимые условия для перехода к устойчивому развитию человеческого сообщества в целом.

Ставя цели устойчивого развития и обеспечения всех достойным человеком жилищем, мы начинаем возвращаться к опыту древнеримских полисов, которые развивались в балансе с природой на основе свободного творчества их жителей, уходя от отрицательного опыта эпохи индустриализации, создавшей во многих городах неприемлемые условия для сохранения здоровья и воспитания здорового будущего поколения. Уходит эпоха, когда поселения создавались и планировались на основе генпланов по желаниям одного или нескольких руководителей в целях решения экономических или узких производственных задач. Мы все больше понимаем, что города и все другие типы человеческих поселений должны развиваться на основе творческого потенциала их жителей [17, 18]. Чем больше возможности творческой реализации людей во всех сферах жизни, тем устойчивее развитие. Это можно было бы сравнить с биоразнообразием в природе, сбалансированное развитие которой возможно только при сохранении его естественного уровня. Требования устойчивого развития отрицают преобладание типового строительства и планировки поселений. Необходимо перейти к удовлетворению большего разнообразия потребностей и вкусов их населения.

Перед проектировщиками также стоит дилемма: либо мы используем долговременные материалы и проектируем долговременные жилища, либо мы используем дешевые, не требующие больших затрат по их вторичной переработке или использованию материалы и проектируем жилища с коротким сроком службы. Очевидно, еще длительное время при сохранении острого дефицита жилья сохраняются оба этих направления проектирования и строительства, но как показывает тысячелетняя практика, в решении стратегических задач устойчивое развитие основывается на выполнении знаменитой триады Витрувия: крепко, удобно, красиво. Естественно, за прошедшие столетия эти понятия дополнились новым содержанием. Если раньше крепко - это защита от внешних природных воздействий и разрушающего оружия врагов, то сейчас это в большей степени долговечность жилища. К тому же необходимо и новое качество, которое в древние времена выполнялось само собой, а сейчас требует четкого осознания - минимум: минимум использования естественных ресурсов, энергии, минимум воздействия на окружающую среду. Хотелось бы в идеале добавить созидательный принцип будущего: улучшение окружающей среды в отличие от разрушительного воздействия в настоящем.

Понятие "красиво" больше относится к миру ощущений, чем к миру точного знания, и сильно подвержено влияниям времени, экономики, моды,

имеет циклический характер. Вспомним эпоху возрождения, последующего модернизма и возвращение к римской монументальности в периоды острых государственных противоречий и тирании. Но на эстетику зданий в настоящее время все больше влияет принцип экономии и использования солнечной энергии в пассивном и активном вариантах, когда все большая поверхность ограждающих конструкций является активными приемниками солнечной энергии.

Удобно тоже наполняется новым смыслом: создание наиболее благоприятных условий для развития семьи и творчества всем в равной степени, независимо от пола и возраста, на базе новейших технических достижений, но не в ущерб здоровью.

Новые требования становятся экономически устойчивыми, если следование им экономически выгодно как для потребителя, так и для производителя. Конечно, выгодней не заботиться о судьбе отходов строительства и быта, если их размещение ничего не стоит или дотируется государством. Если бы в стоимость их размещения входила для всех истинная стоимость восстановления окружающей среды и поддержания ее на жизнеспособном уровне в каждом месте на всей Земле, то безусловно выгодней стали бы дома, соответствующие принципам устойчивости, так как истинная стоимость энергии и ресурсов существенно занижена. Именно поэтому стоимость энергии и ресурсов будет расти с ростом озабоченности состоянием среды обитания и минимизация энерго- и ресурсопотребления будет давать экономическую выгоду тем проектам, которые обоснуют наибольшую степень энерго- и ресурсосбережения.

Простым повышением цен на использование естественных ресурсов эта проблема не решается, так как снижает конкурентность продукции, что фактически не приемлемо для слаборазвитых стран и регионов, так как резко обостряет жилищный кризис. Полное решение может быть достигнуто только при переходе всех государств на природовосстановительную экономику во всех сферах деятельности, то есть к принципам управления и производства, которые они уже провозгласили в 1992 г. в Рио-де-Жанейро. Наиболее развитые государства начали движение в сторону устойчивости. Постепенно растет плата за пользование природными ресурсами. В стоимость производства продукции включается стоимость природовосстановительных мероприятий, которая часто достигает 30%. Это еще не решение проблемы, на что указывает продолжающееся общее ухудшение состояния окружающей среды, но в некоторых местах достигнуты впечатляющие успехи, которые подкрепляются нарастающей тенденцией реконструкции небольших и достаточно крупных городов в направлении создания «экогородов». Авторы доклада по этой теме на Всемирной конференции по развитию населенных пунктов (Хабитат) в Стамбуле в 1996 г. «Проект экологического города» [19] отмечают беспрецедентное число инициатив по улучшению качества жизни со времени проведения конференции в Рио.

Россия, подписав основополагающие документы в Рио, выпустила уже внутренние документы, обязывающие всех действовать в соответствии с принципами устойчивого развития [20]. Следовательно, в практику

проектирования и строительства они тоже должны вводиться, а критерии отбора и оценки качества проектов и материалов должны задаваться этими принципами. Безусловно они носят самый общий характер, но дают возможность перехода к определенным техническим критериям оценки через процедуры оптимизации: минимизации ущерба окружающей среде, минимизации используемых ресурсов, энергии и отходов при соблюдении нормативов, определяющих качество и безопасность жилища. Такой подход возможен, если мы имеем достаточно большой набор ресурсо- и энергосберегающих технологий, а также выбор природных ресурсов. Это разнообразие необходимо, так как для каждого случая природных, экономических, социальных и индивидуальных условий оптимальными будут разные материалы и технологии. Конкретно, необходимость энергетического анализа и энергосбережения задается законом Российской Федерации «Об энергосбережении», введенном в силу с 3 апреля 1996 года (N 28-ФЗ).

Мировая и национальные стратегии основываются на том, что воздействие локальных источников загрязнений на окружающую среду во многих случаях имеет глобальный характер, проявляющийся в изменениях климата, исчезновении видов в живой природе и в непосредственном воздействии на здоровье человека. Уменьшить загрязнения простыми запретительными мерами не удастся, так как это может остановить развитие и отобрать надежду на лучшую жизнь у большинства населения Земли. Единственный выход: поиск безотходных, незагрязняющих технологий, не требующих высокого уровня квалификации при использовании, но обеспечивающих оптимально необходимый уровень качества. Этот набор противоречивых на первый взгляд требований может быть удовлетворен только с тщательным анализом предыдущего опыта и с использованием новейших знаний в области материаловедения [21 - 23].

Переход к такому направлению развития строительного комплекса в развитых странах тоже является предметом тщательного рассмотрения не только в виду необходимости решения жилищных проблем для бедной части населения, но и как общее направление жилищной политики. Связано это с растущей и становящейся доминирующей опасностью загрязнения окружающей среды особо опасными для всего живого химическими и биохимическими веществами в процессах синтеза, производства и размещения отходов продуктов высоких технологий. Если человечество знает как бороться с традиционными загрязнениями, возникшими в эпоху индустриализации и угрожающими окружающей среде в результате непомерного количественного роста, то стратегии борьбы с качественно новыми, незначительными по объему, но значительно более опасными загрязнениями мировым сообществом практически не выработано, кроме некоторых запретительных мер в развитых странах. Так как 90% высокотехнологичных производств сосредоточены в развитых странах и продукты их производства распространяются по всему миру, то развитые страны более всего ответственны за наступающую угрозу и подвержены более всего сами воздействию наиболее токсичных веществ, и они должны в первую очередь искать выход из этой кризисной ситуации и нести ответственность за дальнейшую судьбу человечества.

На основании сформулированных принципов многими странами, в том числе и Россией, были разработаны национальные программы развития жилищного комплекса, определяющие конкретные шаги с учетом национальных особенностей и состоянием экономики. Программы развития жилищного комплекса России “Жилище” и “Свой дом” [24, 25] составлены с учетом этих принципов, хотя требуются еще значительные усилия, чтобы сформулировать в деталях строительные нормы и правила, которые полностью бы соответствовали принципам устойчивого развития. Первым шагом к такой работе в области малоэтажного, доступного большинству по ценам домостроения можно рассматривать начало поддержки Центром ООН по населенным пунктам (Хабитат) проекта “Развитие энергоэффективного, экологического домостроения в Сибири”, который выполнялся в течение последних шести лет акционерным обществом ЭКОДОМ в инициативном порядке при поддержке Новосибирской администрации и Минстроя России. Принципы устойчивого развития были положены в основу проекта, на основании которых были предприняты усилия по разработке новых технологий производства строительных материалов и разработаны проекты односемейных энергоэффективных домов. Проекты домов были отмечены первыми премиями на всероссийском и региональном конкурсах под эгидой “Свой дом” [26].

Государственный комитет по строительству (ранее Министерство) России проводит политику по информированию населения и организаций строительного комплекса о новых подходах и достижениях на совещаниях, конференциях и выставках новейших технологий и оборудования. И все же пока еще отсутствует четко скоординированная политика по переходу к устойчивому развитию и не сформулированы четкие критерии соответствия новым принципам. Введенные с 1996 г. новые нормативы по утеплению ограждающих конструкций еще не стали повсеместно практикующимися нормами и этих нормативных изменений явно не достаточно. Крайне необходимо законодательство, поощряющее минимизацию использования энергии и других естественных ресурсов.

Любое оптимальное планирование предполагает возможность выбора : чем больше и разнообразнее он, тем ближе к идеальному оптимуму может быть решение. Существенное расширение возможностей дает выход на широкий международный рынок, но учет других социально-экономических факторов (дальность транспортировки, необходимость в создании собственных рабочих мест, диверсификации национальных экономик и др.) сужает этот выбор и чаще всего отдает предпочтение национальным технологиям. Строительство - это, по сути, базовая отрасль экономики, и в целях экономической и политической безопасности она должна быть в основе своей и в достаточной мере независимой от иностранных государств, в то же время, открыта для использования и освоения наиболее передового мирового опыта. Особенно это касается России, где развита крупнейшая в мире строительная индустрия, основным недостатком которой является отсутствие выбора, соответствующего современным потребностям общества.

Мировой опыт последних десятилетий говорит о том, что оптимальным является сочетание высоко индустриализованных строительных технологий на крупных предприятиях и мини-технологий, позволяющих производить основные материалы на месте строительства с использованием местных ресурсов и ручного труда.

В России, наряду с реформированием экономики, начато реформирование строительной отрасли с учетом мирового опыта. Прежде всего это отражено в подготовке постановлений правительства и изменении нормативов, дающих больший выбор для проектировщиков и строителей [27], а также появлении на нашем рынке новых строительных материалов и оборудования. Но это пока не остановило использование проектов и технологий, которые не соответствуют современным экологическим, эстетическим и экономическим критериям. Чтобы получить существенный сдвиг необходимы изучение и критическое осмысление мирового опыта, подготовка и переподготовка большей части специалистов, стимулирование технологий и проектов, соответствующих критериям устойчивого развития.

Глава 2. ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Жилищный сектор потребляет до 40% производимой энергии и отвечает за 40% отходов, размещаемых в окружающей среде, что превышает в большинстве случаев естественный восстановительный потенциал природы. Строительная индустрия производит сама и потребляет самые разнообразные материалы химической, металлургической, легкой отраслей промышленности. Соответственно этому разнообразию разнообразен и спектр воздействий строительной отрасли на окружающую среду: физических, химических, эстетических и др., включая все основные типы воздействий токсических на человека, экологических - на живой мир, глобальных - на климат планеты.

Промышленные центры и населенные пункты занимают, как правило, изначально наиболее благоприятные для развития всех видов жизни на земле места, создавая в них невозможные условия существования для большинства видов, в том числе и для себя. Особенно это проявляется в Сибири, где количество благоприятных для жизни территорий и восстановительные возможности среды относительно невелики. Поэтому влияние локальных загрязнений в промышленных центрах значительно сильнее на всю территорию, чем можно было бы предположить по соотношению занятых и свободных территорий. Неадекватно маленькая плотность населения при экстенсивной индустриализации Сибири также сказывается отрицательно, так как сил и средств на восстановление окружающей среды не хватает, и при очень слабом естественном восстановительном потенциале накапливаются отрицательные результаты антропогенных воздействий, которые начинают приобретать глобальный характер. Такое освоение территорий без адекватных восстановительных мероприятий сродни "подсечному земледелию" при первоначальном земледельческом освоении Сибири и в результате которого еще в прошлом веке были уничтожены черноземы. Теперь это угрожает уже природе в целом.

Загрязнение в результате производства и использования строительных материалов происходит на локальном, региональном и глобальном уровнях. В результате сжигания угля, широко используемого в энергетике и при производстве строительных материалов (обжиг), загрязнения возникают в виде газов, дымовых частиц и твердых отходов (шлаков). Основные газообразные загрязнители: CO_2 , CO , SO_2 , NO_x , - воздействуют

на окружающую среду на всех уровнях. Даже если на локальном и региональном уровне их вклад не приводит к превышению предельно допустимых концентраций, они дают вклад в глобальные процессы выпадения кислотных дождей и потепления климата (парниковый эффект), причем выделение CO_2 - неизбежное следствие сжигания всех видов органических топлив и его излишки являются причиной потепления климата. Последствия глобального потепления настолько серьезны, что уже многими международными соглашениями предусмотрено уменьшение промышленных выбросов в атмосферу. Это касается и производства строительных материалов. Основные газы, которые вносят вклад в потепление атмосферы, - это CO_2 (углекислый газ, 50%), CH_4 (метан, 19%), фреоны (CFC, 17%), озон (O_3 , 8%), оксид азота (NO , 4%) [25]. Для того, чтобы получить 1 ГДж тепловой энергии сжиганием угля, в атмосферу выбрасывается 92 кг CO_2 , природного газа - 55, нефтепродуктов - 84 кг. При получении 1 ГДж электрической энергии в атмосферу выбрасывается 231 кг CO_2 [28]. Выработка электрической энергии в наибольшей степени влияет на глобальные изменения климата.

Глобальный цикл превращений углерода включает процессы фотосинтетического превращения атмосферного CO_2 в кислород и углеводороды с последующим разложением органических соединений, вновь приводящим к образованию диоксида углерода. Концентрацию CO_2 в атмосфере начали определять в конце XIX в. В то время она составляла 290 млн^{-1} , что, вероятно, близко по значению, наблюдавшемуся до начала индустриализации. С тех пор концентрация CO_2 постоянно возрастает, примерно, на 1 млн^{-1} в год. В конце 70-х гг. концентрация составляла уже 340 млн^{-1} . Следовательно, около половины всего, образующегося в результате сжигания топлива, остается в атмосфере. При увеличении содержания CO_2 ожидается повышение средней температуры Земли, хотя зависимость между этими параметрами весьма сложная. Модельные расчеты показывают, что удвоение содержания CO_2 произойдет к 2040 г., что приведет к повышению температуры на 2 - 3 °C с более значительным повышением температуры в приполярных областях. Это может вызвать сложные, а возможно, катастрофические климатические процессы.

Частицы (аэрозоли) загрязняющих веществ, выбрасываемые в атмосферу в процессе хозяйственной деятельности, оказывают отрицательное воздействие на здоровье людей, прозрачность атмосферы, состояние водных бассейнов и климат Земли. Степень воздействия определяется химическим составом, концентрацией и размерами частиц, которые образуются в результате измельчения твердых и жидких материалов, либо конденсации пересыщенных паров в атмосфере.

Повышенное содержание аэрозолей в атмосфере вызывает глобальные климатические изменения, в частности, снижение интенсивности солнечного излучения, достигающего поверхности Земли. В зависимости от интенсивностей рассеяния и поглощения аэрозолями в атмосфере и от альбедо поверхности Земли температура может повышаться или понижаться.

Строительная индустрия вносит существенный вклад в производство аэрозолей на всех стадиях производственных процессов: пыление при

добыче, транспортировке и дроблении исходных материалов, с открытых строительных площадок и отвалов, выбросы аэрозолей в процессе производства цемента и других строительных материалов. В США 98% уноса пыли относится: к грунтовым дорогам - 74%, строительным работам - 6,3%, сельскохозяйственной обработке и ветровой эрозии почвы - 10,9%, дорогам с твердым покрытием - 1,9% [29].

Аэрозоли загрязняют поверхности строительных материалов и приводят к потере необходимого качества либо разрушению материалов. Общий годовой экономический ущерб в 1972 г., связанный с разрушением красок для наружных работ и с учетом трудовых затрат на их восстановление, которое в 3 раза превышает стоимость самих красок, оценивается в 540 миллиардов долларов США. Ущерб, наносимый коррозией металлических конструкций - 1,45 миллиарда [29].

При сжигании топлива, в котором присутствуют остаточные количества органических и неорганических сульфидов, сера превращается в SO_2 и SO_3 , которые выделяются в атмосферу. Сжигание угля дает около 70% от общего количества SO_2 , поступающего в атмосферу во всем мире. Обычно содержание серы в угле от 1 до 4% [29]. Оксиды серы оказывают разрушающее действие на строительные материалы и конструкции. Во многих случаях разрушительному воздействию подвергаются сооружения, имеющие большую художественную и историческую ценность. Быстрее протекают процессы коррозии металлов.

Оксиды серы и азота снижают прочность полимерных материалов. Особенно чувствительным к их воздействию оказался бутилкаучук. Еще более чувствительны полимеры (особенно каучук) к озону, воздействие которого часто приводит к разрыву углеродных цепей, в результате чего теряется прочность и эластичность - материал становится более хрупким.

Образование оксидов азота в процессах сжигания связано с окислением атмосферного азота или, в меньшей степени, с окислением органических соединений азота, содержащихся в топливе. Относительное изменение количества образующихся оксидов азота зависит от соотношения воздух/топливо в процессе горения. В общем количестве оксидов азота NO_2 составляет от 0,5 до 10% в зависимости от условий сжигания. NO_2 является одним из основных реагентов при образовании фотохимического смога в атмосфере и способствует разрушению озонового слоя.

Промышленность выделяет около 10% всех углеводородов, образующихся за счет антропогенных источников. Среди них имеются особо опасные (токсичные) вещества, которые подлежат специальному контролю, и их список постоянно расширяется. К наиболее распространенным летучим опасным загрязняющим веществам относятся винилхлорид и бензол. Значительно большее количество соединений - потенциально опасные мутагены и канцерогены и многие из них содержатся в выбросах промышленных предприятий. К ним относятся галогенопроизводные метана, этана и пропана, хлоралкены, хлоросодержащие ароматические соединения, некоторые кислород- и азотсодержащие соединения. Они присутствуют и в атмосфере внутренних помещений, как, например, пары формальдегида. Загрязнение атмосферы

фторированными углеродами, ранее считавшимися нереакционными, может привести к разрушению озонового слоя Земли. Под воздействием ультрафиолетового излучения в стратосфере фреон-11 и фреон-12 распадаются с разрушением озона.

Некоторые загрязнения окружающей среды или изменения pH остаются еще неконтролируемыми, так как происходят с участием следовых количеств веществ, которые оказывают заметное воздействие на живые организмы в результате их концентрации в живых тканях и инициирования ими вредных химических процессов. К таким веществам могут быть отнесены токсичные хлорорганические соединения, которые могут накапливаться в микроорганизмах и растениях и по пищевым цепям попадать в организмы высших животных. Их концентрация в тканях может превысить предельно допустимые нормы при том, что концентрация в окружающей среде пренебрежимо мала. Такими же свойствами обладают некоторые токсичные металлы и металлорганические соединения, в том числе радиоактивные вещества с большим периодом полураспада. Все эти загрязнения попадают в окружающую среду в процессе производства как конечные или промежуточные продукты, при использовании по назначению, при авариях и войнах. Попадая в окружающую среду локально, они глобально распространяются переносом в водной среде и в атмосфере и могут поглощаться и концентрироваться живыми организмами. В жире взрослых тюленей и других морских долгоживущих животных концентрации хлорорганических пестицидов превышают намного предельно допустимые нормы.

Хлорорганические соединения могут быть также промежуточными продуктами химических технологий при производстве широкораспространенных бытовых и строительных материалов. Особо токсичны: диоксины, фураны и ряд других. Предельно допустимая концентрация их в атмосфере $10 - 9 \text{ г/см}^3$, то есть во много раз ниже всех других веществ при высокой химической стойкости. При этом они могут синтезироваться сами в различных процессах: при сжигании отходов, нарушениях химических технологий, хлорировании в процессе отбеливания и др. Известная авария в Севезо (Италия) с образованием диоксинов в результате нарушения технологии привела к тяжелым экологическим и экономическим последствиям. Известна также трагедия в Бхопале (Индия) и множество более мелких постоянно повторяющихся аварийных выбросов.

Ежегодно в лабораториях синтезируется, а следовательно, попадает в окружающую среду несколько десятков тысяч новых веществ с неизвестными свойствами. Последствия использования уже произведенных материалов в быту часто мало изучены. Нежесткий контроль за размещением отходов и попытки их вывоза в малоразвитые страны для захоронения приводит к их аномально большому попаданию в окружающую среду.

Новые полимерные изделия широко используются как строительные и отделочные материалы в наиболее развитых странах, поэтому население этих стран прежде всего подвержено токсическому воздействию отходов их производства, и поэтому эти страны должны решать проблемы защиты от

их воздействия не только на локальном, но и на глобальном уровнях. Так как стратегия защиты от их использования до сих пор не выработана, путь использования природных нетоксичных материалов, создаваемых и используемых на основах малоотходных технологий, так же актуален для развитых стран как и для остального мира.

Анализ состояния окружающей среды показывает, что предел восстановительных свойств среды достигнут по большинству основных и неосновных веществ загрязнителей, по использованию природных ресурсов и территорий. Дальнейшее развитие по пути индустриализации без существенных изменений технологий и экономики в целом невозможно [30]. Основные ограничения возникают в росте производства и потребления энергии при том, что рост ее потребления в настоящее время определяет индустриальное развитие большинства стран.

Глава 3. ЭНЕРГИЯ ПОЛНОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Энергия, необходимая для производства материалов и строительства дома, во много раз меньше, чем энергия, затрачиваемая на жизнеобеспечение и эксплуатацию в течение всего жизненного цикла, но в несколько раз больше ежегодного потребления при эксплуатации. В целом на производство материалов в мире тратится до 20% топлива [28] и строительные материалы составляют их большую часть, поэтому очень важно снизить энергопотребление при производстве строительных материалов, причем выгоднее снизить при строительстве дома, чем при его эксплуатации. Если в производстве используется процесс обжига (цемент, кирпичи, известь и стекло), то затраты энергии много больше, чем все другие. Только транспортировка на дальние расстояния может быть существенна.

Превалирующий тип домов чаще определяется стоимостью материалов, достигающей в развивающихся странах 70% от общей стоимости дома. В развитых странах на производство строительных материалов тратится до 70% энергии от того, что идет на строительство.

Стоимость материалов складывается в основном из стоимости извлечения сырья из экосистемы, стоимости обработки и транспортировки. Многие строительные материалы производятся из распространенного и дешевого сырья. Стоимость и затраты энергии существенно повышаются при их обработке. Чем больше мы перестраиваем структуры исходных материалов на атомарном и молекулярном уровнях, тем больше тратится энергии и тем выше стоимость строительных материалов.

Затраты энергии на строительство дома могут быть существенно уменьшены при оптимальном проектировании и выборе материалов. Это в полной мере относится и к производству строительных материалов. Оптимум может быть найден при тщательном сравнительном анализе эффективности принятых решений на всех стадиях:

- добычи сырья,
- производства строительных материалов и конструкций,
- транспортировки,
- производства строительных работ,
- поддержания и ремонтов в процессе эксплуатации жилища,
- разборки жилища и размещения отходов после окончания эксплуатации жилища,
- переработки строительных материалов для вторичного использования.

Эти стадии составляют полный жизненный цикл строительных материалов. На каждой из них потребляются естественные ресурсы, возникают отходы и загрязняется окружающая среда. Мерилом воздействия на окружающую среду при оценке и выборе материалов может служить величина потребляемой энергии для обеспечения полного жизненного цикла материалов. Эта оценка интересна не только с точки зрения защиты окружающей среды, но и финансовых затрат, так как затраты с большой точностью пропорциональны затратам на энергию. Необходимость же подсчета затрат на всех стадиях жизненного цикла обусловлена тем, что в связи с новыми международными нормами по размещению и утилизации отходов производитель несет ответственность за судьбу производимой им продукции и после окончания сроков ее службы обязан предусмотреть незагрязняющий окружающую среду процесс ее захоронения или вторичного использования. Сам же процесс утилизации или переработки может быть сравним по затратам с первоначальным производством. Необходимая для полного жизненного цикла энергия в дальнейшем будет определяться как энергия полного жизненного цикла.

Структура потребления энергии по стадиям значительно отличается для различных материалов, достигая максимальных величин при производстве стали и минимальных величин при производстве древесных материалов.

В последнее время неукоснительно растет цена затрат на две последние стадии жизненного цикла. Связано это с увеличением затрат на использование незагрязняющих окружающую среду технологий переработки и утилизации. Именно поэтому учет этих затрат становится необходимым при оценке экономической и экологической эффективности использования того или иного материала. То есть без просмотра затрат на всех стадиях жизненного цикла материала и оценки полных затрат невозможно определить эффективность использования материалов. Полная энергия и пропорциональные ей затраты являются одним из основных критериев выбора материалов при проектировании и строительстве жилья.

Все рассуждения касаются как развитых, так и развивающихся стран. Но вопросы энергии полного жизненного цикла особенно серьезны для развивающихся стран, так как в результате быстрой урбанизации в строительстве происходит быстрая замена возобновляемых и легко утилизируемых материалов с почти нулевым потреблением энергии производства на материалы с большими затратами энергии на их производство и утилизацию.

По затратам энергии материалы делятся на материалы высокой, средней и низкой энергоемкости. Перечень основных материалов каждой из групп и затраты энергии на их производство приведены в табл. 3.1.

Приведенные данные относятся к прямым затратам энергии на добычу, транспортировку сырья и производство. Затраты же на транспортировку готовых материалов к потребителям могут коренным образом поменять энергетические соотношения особенно для низкоэнергоемких материалов: при дальней транспортировке затраты на производство могут быть незначительными.

Особое внимание должно уделяться таким показателям, как долговечность и возможность вторичного использования материалов. Продление срока службы материалов снижает средние ежегодные затраты энергии на производство новых, поэтому является наиважнейшей целью проектирования.

Т а б л и ц а 3.1

Затраты энергии на производство основных строительных материалов и распределение материалов по группам по уровню энергопотребления [28]

Материал	Энергия для производства, гДж/т
Очень высокая энергоемкость	
Алюминий	200 - 250
Пластмассы	50 - 100
Медь	100
Нержавеющая сталь	100
Высокая энергоемкость	
Сталь	30 - 60
Олово, цинк	25
Стекло	12 - 25
Цемент	5 - 8
Гипсовая сухая штукатурка	8 - 10
Средняя энергоемкость	
Известь	3 - 5
Кирпичи и черепица из глины	2 - 7
Гипс	1 - 4
Бетон	0,8 - 1,5
Бетонные блоки	0,8 - 3,5
Сборный бетон заводского изготовления	1,5 - 8
Силикатные кирпичи	0,8 - 1,2
Древесина	0,1 - 5
Низкая энергоемкость	
Песок	< 0,5
Зола-унос	< 0,5
Грунт	< 0,5

В любом проекте должны быть проведены исследования и предусмотрены специальные меры по защите материалов от вредных внешних воздействий с целью продления срока их службы и меры по использованию материалов после окончания срока службы строения с минимально возможными затратами энергии. Затраты энергии на переработку и вторичное использование материалов точно не известны, так как технологии этих

процессов не имеют установившихся регламентов и стандартов. Поэтому необходим процесс исследования местных возможностей или специальная разработка технологии с учетом мирового опыта. В этом случае тоже должно быть минимизировано потребление энергии и загрязнение окружающей среды при необходимости захоронения неиспользуемых отходов.

Полная энергия всего жизненного цикла материалов в несколько раз больше годового потребления энергии на жизнеобеспечение дома и его поддержание в нормальном состоянии. В развитых странах для типичного дома с тремя спальнями отношение энергии, затраченной на производство строительных материалов, к энергии, используемой в течение года на жизнеобеспечение, находится в пределах от 3:1 до 10:1. Для развивающихся стран это соотношение ближе к 20:1, то есть окупаемость затраченной энергии на строительство наступает через 20 лет. Чем меньше энергии мы затратим на производство и строительство, тем быстрее окупятся наши затраты. Чем долговечнее использованные материалы и само жилище, тем большая сохранность природных ресурсов и большая экономия энергии, труда и финансовых средств может быть достигнута при условии, что качество жилища будет соответствовать требованиям времени в течение всего срока эксплуатации. Иначе мы вынуждены будем тратить большие средства на перестройку жилища и решать проблему размещения и утилизации заменяемых материалов.

Загрязнения атмосферы можно уменьшить заменой на виды топлив с меньшими выбросами CO_2 , но это не всегда оправдано и зависит от удаленности от тех или иных источников энергии и технологических процессов. Но очевидно, что при планировании производства учет этого фактора дает значительное снижение выбросов основного парникового газа. Особенно необходимо рассматривать использование солнечной и ветровой энергии, где это оправдано. Например, в процессах сушки материалов, подготовки горячей воды и обогрева, если изготовление этих установок не приводит к большему загрязнению, чем экономия от их использования.

В случае использования растительных видов топлива необходимо учитывать, что практически то же количество CO_2 поглощается растениями в процессе роста, поэтому сбалансированное выращивание растений и деревьев для топлива дает существенно меньший уровень загрязнений. Древесина при сжигании дает на 10% меньше CO_2 , чем уголь.

Глава 4. ОСНОВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

4.1. Дерево

Дерево, благодаря комплексу высоких конструкционных качеств, доступности и дешевизне, остается на протяжении тысячелетий основным строительным материалом. Лучшими в России считаются сосна и ель, но также используются и другие породы: осина, ольха, липа. Классификация пород в других странах, естественно, отличается, благодаря большому разнообразию пород, с древних времен вовлеченных в строительное искусство, а позднее, в строительную индустрию.

Древесина при правильно организованных циклах добычи и восстановления - возобновляемый природный ресурс. Изделия из нее относятся к низко энергоемким материалам с возможностями эффективного использования отходов и вторичной переработки основных продуктов.

Как конструкционный материал для строительства жилых домов древесина наиболее эффективный с энергетической точки зрения материал - в несколько раз более эффективный, чем сталь и бетон.

По мировой классификации древесина разделена на два вида: мягкие породы (softwood), к которым относятся хвойные, и твердые породы (hardwood) - лиственные, опадающие в зимний сезон породы. Основные физические и механические свойства пород деревьев, необходимые для выбора при проектировании, приведены в табл. 4.1. Теплопроводность древесины в среднем $0,2 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C})$. Теплотворная способность древесины $15 \text{ ГДж}/\text{т}$. Древесина имеет очень высокое отношение прочности к весу, очень эластичный и легко поддающийся обработке материал длительного пользования, достаточно устойчив к химическим веществам средней активности и не подвержен коррозии. К отрицательным характеристикам относятся: относительно высокая горючесть и подверженность к воздействию микроорганизмов и грибов.

В большинстве стран мира существуют стандарты на типоразмеры деревьев и продукты их переработки с описанием их конструкционных характеристик, а также на способы соединения древесных деталей в конструкции. В проектах домов, как правило, используются стандартные изделия и стандартные соединения. Кроме стандартов в развитых странах издаются подробные каталоги и справочники [33], которые существенно облегчают проектирование и позволяют выбирать оптимальные решения. Высокий уровень стандартизации позволяет организовать серийное производство высококачественных унифицированных изделий из древесины, в несколько раз ускоряющих сборку жилых домов.

Физические и механические свойства пород деревьев [31]

Порода	Плотность при $W = 12\%$, кг/см^3	Предел прочности, Мпа				
		сжатие вдоль волокон	статичес- кий изгиб	растяже- ние вдоль волокон	скалывание вдоль волокон	
					радиальное	тангенциальное
Лиственница	537 - 660	64,5	111,5	125	9,9	9,4
Сосна	479 - 500	48,5	86,0	103	7,5	7,3
Ель	395 - 488	44,5	79,5	103	6,9	6,8
Пихта	346 - 375	39,0	68,5	67	6,4	6,5
Кедр	399 - 435	42,0	73,5	90	6,6	7,0
Береза	594 - 630	55,0	109,5	168	9,3	11,2
Ясень		59,0	123,5	145	13,9	13,4
Дуб		57,5	107,5	105	10,2	12,2
Осина	495 - 499	42,5	78,0	125	6,3	8,6
Клен		59,5	120,0		12,4	14,2
Бук		55,5	108,5	123	11,6	14,5
Пропитанная древесина*		115 - 190	167 - 205			

* Данные приведены для березы, пропитываемой различными пол имерами с различной степенью пропитки [32].

При этом, большая номенклатура мелких унифицированных деталей позволяет строить дома с использованием единых стандартов, удовлетворяя разнообразные потребности граждан и с высокими и с низкими доходами. Уровень потребностей удовлетворяется различной планировкой, отделкой и оборудованием домов при стандартных типах несущих конструкций.

Все большее применение в строительстве находят деревянные изделия с улучшенными характеристиками после их химической обработки и другие композиционные материалы на основе низкосортной древесины, либо отходов [32, 34]. Такие изделия часто обладают более высокими эксплуатационными характеристиками, чем лучшие породы деревьев. Значительно улучшить качество древесины позволяет ее пропитка мономерами и олигомерами. Например, пластификация малоценной древесины аммиаком с последующим формованием и уплотнением позволяет получать био- и химически стойкие, малогорючие изделия с малой истираемостью. Долговечность такой древесины может быть увеличена в 4 - 5 раз. Пропитка олигомерами производится под вакуумом и дает возможность значительно повысить плотность и прочность древесины, снизить ее водопоглощение и возгораемость. Пределы прочности пропитанной полимерами древесины приведены в табл. 4.1. Особенно

эффективна пропитка фанеры, которая повышает в 3 - 4 раза ее прочность, в 2 - 3 раза водопоглощение, в 2 - 2,5 раза сопротивление истиранию, предохраняя ее от растрескивания на открытом воздухе. В Финляндии с 1983 г. применяют пропитки, безопасные для окружающей среды [35].

Композитные изделия на основе древесины позволяют сократить использование ценных пород древесины и эффективно утилизировать ранее неиспользуемые отходы. Клеенные из нескольких пластин балки позволяют увеличить на 30% несущую способность балок. Для клеенных в стык балок и досок эффективно применяют короткомеры. Отходы древесины в виде щепок, стружек и опилок используются как основа и наполнители для многочисленного ряда композитных материалов (древесно-стружечных плит, прессованной древесины, опилкобетонов и др.), удовлетворяющих самым различным требованиям к строительным конструкциям.

В природе деревья играют незаменимую роль в глобальных процессах круговорота веществ и создания среды обитания для множества видов растений и живых организмов. Леса являются основным поглотителем CO₂, а следовательно основным природовосстанавливающим фактором, позволяющим использовать энергетику, основанную на сжигании органических топлив. Вырубка лесов уже привела к необратимым изменениям экосистемы Земли, ухудшила условия обитания для большинства живых существ и человека. На некоторых островах тропической зоны леса практически полностью сведены, поэтому в большинстве государств введен контроль за вырубкой и состоянием лесов. Падение качества древесины, увеличение затрат на лесовосстановление, дальности транспортировки ведет к постоянному повышению цен на древесину, особенно на ценные и крупноразмерные породы. В США начиная с 1993 г. цена на древесину возросла почти вдвое по сравнению с 80-ми гг. [34]. Особенно уменьшилось поступление на рынок крупных стволов с крепкой древесиной, необходимой для крупных строительных конструкций (балок, стропил, несущих каркасов и др.). Это заставляет вести политику сбережения и более тщательной обработки древесины с целью продления срока службы и полного использования отходов.

Но в целом во всех без исключения странах контроль за использованием и ценовая политика в деревообрабатывающей промышленности еще не соответствует принципам устойчивого развития. Леса не восстанавливаются в полном объеме, необходимом для сохранения экосистемы Земли и для поддержания восстановительных свойств окружающей среды. Во многих районах продолжается бесконтрольная вырубка и обезлесивание территорий, что отмечается во всех докладах комиссий ООН, связанных с экологией и развитием [30].

Древесина во многих странах, так же как в России, является одним из основных естественных ресурсов, играющих ключевую роль в национальных экономиках. Древесина используется в качестве сырья во многих технологических процессах: деревообрабатывающей и мебельной промышленности, изготовлении композитных строительных материалов, бумажно-целлюлозной и химической промышленности [36].

Дерево для многих районов мира - местный ресурс и хорошо поддается ручной обработке, поэтому является основным традиционным строительным материалом. С учетом других высоких характеристик дерево безусловно соответствует критериям устойчивого развития при условии организации всех стадий жизненного цикла, включая восстановление. Обработка, использование, утилизация отходов и восстановление древесины легко организуются в замкнутый безотходный цикл. Все отходы древесины нетоксичны. Энергетические загрязнения атмосферы углекислым газом (CO_2) при добыче, обработке и транспортировке древесины могут быть скомпенсированы выращиванием деревьев в количестве, достаточном для его поглощения.

Более полное и рациональное использование древесины в странах, где лесами заняты большие территории, либо существуют благоприятные условия для выращивания, приводит к существенному сбережению энергии и делает доступным строительство жилых домов для большинства населения. Чтобы снизить расход древесины на строительство необходимо:

- исключить потери древесины при заготовке, транспортировке и хранении,

- ввести более жесткие нормы качества строительных деталей из древесины и сортамент, обеспечивающий минимальные отходы при строительстве,

- минимизировать потери при распиловке использованием более высококачественного оборудования и инструментов,

- использовать технологии повышения качества и долговечности древесины (сушка, пропитка, покраска),

- ввести в оборот более дешевые сорта древесины с повышением ее качества обработкой и изготовлением на ее основе композитных материалов,

- наладить производство соединительных узлов и крепежных изделий из металла и пластика для повышения качества соединений и уменьшения отходов древесины,

- осуществлять полную утилизацию всех отходов древесины, сократить нерациональное использование высококачественной древесины для строительства временных сооружений и топлива,

- принимать все меры при проектировании и строительстве домов для продления долговечности сооружений,

- сбалансировать циклы восстановления и заготовки лесов, учитывая их природовосстановительные функции.

Затраты энергии при производстве древесной продукции существенно сокращаются при использовании современного оборудования и рациональных схем распиловки. Второй по значимости способ экономии : использование солнечной энергии для сушки древесины. Содержание влаги для ответственных конструктивных деталей должно быть доведено до 5%. Часто применяемая естественная сушка в штабелях при неблагоприятных погодных условиях приводит к порче значительной части материалов. Сушка продувом теплого сухого воздуха в закрытых объемах с технологическим контролем качества дает существенно лучшие результаты

без риска порчи материалов. Недорогие солнечные сушилки небольшой производительности легко могут быть построены самостоятельно с использованием полиэтиленовой пленки в качестве основного строительного материала (рис. 4.1).

В США дерево и древесные изделия остаются доминирующими в жилищном домостроении. 90% новых односемейных домов строится с использованием древесины как основного конструкционного материала. Растет применение древесины в реконструкции и ремонте жилых домов. В 1990 г. 65% всей производимой древесины использовалось в строительных и ремонтных работах в жилищном секторе (36% и 29% соответственно) [34]. 85% из используемой для строительства новых домов древесины шло на изготовление несущих каркасов домов.

В России и, особенно, Сибири дерево еще не пользуется тем вниманием, которого оно заслуживает. Большая часть леса добывается на вывоз в необработанном состоянии. Вырубка очень часто ведется хищническими способами. Восстановлению лесов не уделяется должного внимания. Качество обработки используемой в строительстве древесины очень низкое. Фактически отсутствуют стандарты на продукцию деревообработки и не контролируется качество. Огромное количество древесины тратится на ограждения, опалубки, временные сооружения. Качество домов из древесины, которые строятся в основном в сельской местности, не соответствует современным требованиям к жилищу при крайне нерациональном, излишнем использовании древесины.

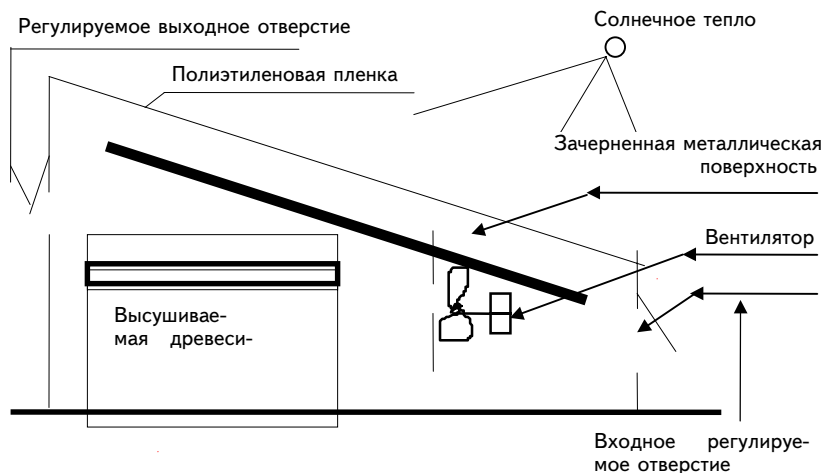


Рис. 4.1. Солнечная установка для сушки древесины [4]

Для России и Сибири, в частности, древесина самый дешевый материал, произрастающий повсеместно. Организация устойчивых циклов выращивания древесины, производства высококачественных строительных деталей и конструкций и строительства из этих материалов энергетически эффективных домов - это путь к устойчивому развитию нашей страны. Дома с несущим каркасом из древесины, заполненным легким утеплителем типа минеральной ваты, с внутренней отделкой из огнестойких гипсолитовых плит, которые собираются из унифицированных деталей, - это наиболее эффективный путь использования древесины и других строительных ресурсов. Такая конструкция домов требует в несколько раз меньше древесины и энергии на строительство, обогрев с возможностью минимальных затрат на утилизацию большинства материалов после окончания срока службы дома. Очевидно, такие дома в наибольшей степени соответствуют принципам устойчивого развития и обладают наилучшими перспективами для массового строительства в России. С принципами устройства такого дома можно познакомиться в книге финского автора, переведенной на русский язык [35], и в многочисленной англоязычной литературе [11, 37].

4.2. Вяжущие вещества. Цемент

Цемент - это общее название целого класса минеральных вяжущих веществ, используемых для приготовления бетонов, строительных растворов, скрепления строительных деталей и т.д. В древние времена в этом качестве использовались глина, известь, гипс. В конце XVIII в. обжигом природных мергелей было получено гидравлическое вяжущее - романцемент, а в начале XIX в. - наиболее распространенный в настоящее время вид цемента - портландцемент, который является основой получения многочисленных видов цемента. Российская архитектурно-строительная энциклопедия (РАСЭ-I) приводит краткие описания многих из этих видов цементов [9].

Цемент относится к группе энергоемких материалов. Стоимость энергии в среднем составляет 25% от стоимости законченной продукции. 85% энергии потребляется в обжиговых печах, где температура обжига достигает 1450°C. Остальная энергия в основном тратится на измельчение и помол материалов (в основном - электрическая). Большой расход энергии определяет высокую стоимость цемента. При производстве бетонных изделий большинство из затраченной энергии заключено в цементе независимо, где изготавливается бетон (табл. 4.2). Затраты энергии на перемешивание и укладку малы по сравнению с затратами на производство цемента.

Производство цемента сосредоточено, как правило, на крупных заводах с выходом более 2000 т цемента в день. Уровень его производства определяет уровень развития строительной индустрии и соответствует общему уровню экономического развития стран. Ежегодно во всем мире

производится около 600 миллионов тонн цемента, для этого используется $4,2 \times 10^9$ ГДж энергии или 1% ее мирового потребления.

Т а б л и ц а 4.2

Затраты энергии на производство 1 м³ водного строительного раствора
[25]

Состав раствора	Затраты энергии, мДж	Относительные затраты энергии	
		по составу, мДж	в целом, %
Цемент, песок - 1:6	2131	2024:107	100
Цемент, известь, песок - 1:1:6	2761	2024:630:107	129
Цемент, зола уноса, песок - 3/4:1/4:6	1631	1518:6:107	77

Это очень значительная величина, дающая существенный вклад в загрязнение окружающей среды, поэтому сбережение энергии при производстве и сбережение конечной продукции необходимое условие сохранения окружающей среды.

Чаще всего цемент производят обжигом смеси измельченных известняка и глины в наклонных вращающихся печах. Материал загружается в верхней части и скатывается вниз, где находятся горелки, горячий газ от которых проходит через материал, превращая его в цементный клинкер (зерна размером до 4 мм). Клинкер затем охлаждается и выгружается в шаровые мельницы, где с небольшим добавлением гипса размалывается в тонкую пудру.

Более старые заводы, которые остались еще в Европе и развивающихся странах, используют мокрую технологию получения цемента, где глина и известь предварительно замешиваются в воде, что дает лучшее перемешивание смеси, но требует дополнительных затрат энергии на удаление влаги в процессе кальцинирования.

В Европе, Китае и Индии используются также небольшие заводы с вертикальной шахтой для обжига [38, 39] энергопотребление в которых меньше, чем при использовании мокрых процессов, но несколько больше, чем сухих. Сравнительные затраты энергии в зависимости от технологического процесса приведены в табл. 4.3. Затраты электрической энергии определяются степенью механизации процессов, но, как правило, на небольших заводах ниже, чем в крупномасштабных производствах.

Мини-производства в среднем потребляют больше энергии, но они могут пользоваться более низкими сортами топлив и экономить на транспортных расходах в отличие от крупных производств, поэтому эффективность развития крупных или малых производств существенно зависит от конкретных условий организации строительства.

Общий потенциал энергосохранения в цементной мировой индустрии оценивается в 50%, который может быть реализован использованием

современных технологий и заменой на более дешевые смеси топлив для обжига. В сухих процессах большую экономию дает предварительный подогрев и частичное кальцинирование загружаемых смесей, что обеспечивает лучшие условия для теплообмена между материалом и горячим газом.

Т а б л и ц а 4.3

Затраты энергии на производство минеральных вяжущих материалов [28]

Материал	Затраты энергии, мДж/т
Цемент, сухой процесс	3300 - 4000
Цемент, мокрый процесс	5400 - 6500
Известь, мини-производство	12600
Известь, шахтные печи, 10 - 20 т/день	9030
Известь, шахтные печи, 20 - 100 т/день	4076
Гипс, мини-производство	2700
Гипс, крупное производство	800 - 1000

В целом в цементной индустрии экономия может быть достигнута переходом повсеместно от мокрых к сухим процессам, организацией более эффективного теплообмена в печах, эффективной утилизацией излишков тепла, улучшением теплоизоляции обжиговых печей, рациональным сочетанием крупных производств с малыми заводами, где транспортировка становится невыгодной.

Экономия энергии также достигается рациональной организацией потребления и производства различных сортов цемента, включая другие, альтернативные вяжущие материалы. Это чаще всего оправдано, так как в различных строительных объектах и внутри одного объекта предъявляются очень разные требования к строительным материалам. Высококачественные сорта портландцемента могут модифицироваться добавками, которые делают его более соответствующим условиям применения и снижают расход энергии на производстве [9], либо могут эффективно частично или полностью заменяться на альтернативные вяжущие материалы.

В качестве альтернативных вяжущих, которые могут быть также добавками при изготовлении цемента и бетонов, наиболее часто используются:

известь,

поцзоланы (природные силикаты) - вулканические туфы, пеплы, пемза, искусственные поцзоланы - доменные и сталеплавильные шлаки, золы

уноса, нефелиновые, бокситовые и зольные шламы,

глина,

гипс.

Минеральные материалы широко распространены в природе или накапливаются в больших количествах как отходы производства. Они могут оптимизировать качество строительных изделий в строгом соответствии с

требованиями к строительным конструкциям, не превышая их излишне, но обеспечивая специфические качества по месту применения. Использование искусственных поццоланов очень важно как способ организации безотходных производств.

Для производства вяжущих из природных материалов (поццоланов в том числе) используют известняки, мел, глинистые породы, кремнеземистые - диатомит, трепел, опока, вулканические туфы, кварцевый песок, глины и др.

Известь - древнейший строительный материал - получают обжигом при температуре 900 - 1200°C кальцево-магневых карбонатных пород: мела, известняка, доломитов. В результате обжига получают негашеную известь в пропорции на 100 частей породы 56 частей извести и 44 углекислого газа. Из негашеной извести приготавливают известковое тесто или известь-пушонку. Пушонка необходима как добавка в сухие засыпки для предохранения строительных конструкций от поражений насекомыми и грызунами. Известь также используется для приготовления кладочных и отделочных растворов. На базе извести с добавлением поццоланов были получены первые гидравлические вяжущие, способные твердеть и в воздухе, и в воде.

Гипс (полуводный сернокислый кальций) - порошок белого цвета - получают помолом природного гипсового камня и обжигом при температуре 150 - 160°C. При смешивании с водой в пропорции 60 - 80% воды образуется быстротвердеющий на воздухе (воздушное вяжущее) раствор. Избыточная вода испаряется и получается пористый твердый материал с увеличением объема, хорошо поглощающий воду. При избытке воды разрушается, поэтому используется только для внутренних работ. Особенно полезен при изготовлении литых деталей. Водостойкость гипса повышают введением цемента, шлака, извести и гидрофобных добавок.

В качестве модифицирующих добавок используются также органические вещества, которые существенно расширяют свойства цементов и бетонов. В настоящее время введение добавок становится неотъемлемой частью технологий приготовления цементов и бетонов, позволяющей при небольших затратах получить существенную экономию энергии и трудозатрат при проведении бетонных работ. Основы классификации добавок по эффекту воздействия даются в России (ГОСТ 24211-80).

Экономии цемента можно добиться также использованием в определенных случаях отходов кожевенной (подзол) и текстильной промышленности (окшара), отходов производства ацетилена (карбидный ил), а также черных вяжущих материалов: битумов, каменноугольного пека и др.

4.3. Бетон

Бетоны на основе портландцемента с модифицирующими добавками являются наиболее ценным строительным материалом с точки зрения его прочности, стойкости к воздействиям окружающей среды, легкости придания ему необходимых конструкционных форм. Исходные материалы для производства бетонов не представляют большой ценности и широко распространены на Земле.

Существенным ограничением распространения высококачественных бетонов являются относительно высокая стоимость портландцемента и транспортные расходы, так как высококачественные бетоны, как правило, изготавливаются на крупных производствах, где легче обеспечить технологические условия и контроль.

При производстве бетона большая часть энергии заключена в цементе. Транспортировка и затраты энергии на месте малы. Кроме обсуждавшихся ранее отрицательных воздействий на окружающую среду при производстве цемента необходимо также учесть значительный ущерб окружающей среде в нарушении естественных ландшафтов при добыче наполнителей для бетонных смесей (щебень, песок), затраты энергии на измельчение пород и транспортировку. Все эти процессы сопровождаются пылением и быстрым износом дорог в результате использования тяжелой техники. Учитывая то, что бетоны на основе портландцемента относятся к группе материалов высокой энергоемкости, экономное расходование бетонов, совершенствование технологий и замена бетонов на альтернативные материалы, где это возможно, являются необходимыми условиями перехода к устойчивому развитию.

Благодаря длительной истории использования бетонов в строительстве самых разнообразных объектов и его широкому распространению во всем мире, наработано очень большое количество технологий изготовления бетонных смесей и изделий: от тяжелых бетонов для подводных работ до легких вспененных бетонов-утеплителей, от тяжелых монолитных блоков для фундаментов до легких тонкостенных изделий для кладки и отделки.

В качестве наполнителей в бетонах может быть использован широкий спектр материалов: от высококачественного кварцевого песка и гальки до отходов производства (зол уноса, шлаков, древесной стружки, опилок и др.). Снижение качества наполнителей может быть компенсировано небольшими добавками материалов, которые позволяют получать бетон с заданными свойствами. Например, снижение влагостойкости при использовании древесных отходов может быть компенсировано добавкой полимеров или их использованием как основного вяжущего (полимербетоны).

При строительстве в условиях Юга Сибири, где рекомендуется строительство ленточных заглубленных фундаментов, и в условиях вечной мерзлоты (свайные основания) высококачественные, влагостойкие и морозостойкие бетоны остаются одним из основных строительных долговечных материалов. Снизить высокую стоимость бетона можно устройством надежной гидроизоляции и внешнего утепления заглубленных

конструкций, что дает возможность снизить требования на влагостойкость и морозостойкость бетона и, как следствие, снизить затраты энергии и стоимость его производства. Такой подход требует дополнительных затрат на создание сложной, многослойной конструкции, но в большинстве случаев оправдан, так как дает возможность сберечь энергию на обогрев дома, улучшить климат в подземных сооружениях и использовать подземные сооружения в качестве обитаемых помещений.

С повышением требований на теплоизолированность жилых домов до $R=3$ и выше с бетонами и каменными кладками стен на цементных растворах начали успешно конкурировать композитные конструкции с использованием легких утеплителей: деревянные каркасные конструкции, легкие, утепленные вспененными полимерами панельные конструкции и др. Как правило, эти конструкции требуют много фабрично изготовленных деталей. Там, где они мало доступны или дороги и в то же время строительство может быть обеспечено местными дешевыми наполнителями бетонных смесей, строительство стен из монолитного бетона или бетонного камня может стать более экономически выгодно. При этом, естественно, необходимые теплотехнические характеристики дома достигаются с помощью легких утеплителей, а внутренняя бетонная стена обеспечивает только необходимую несущую прочность корпуса дома. Для снижения толщины несущих стен бетон может быть армирован стальной сеткой, стальной арматурой, либо другими волокнистыми материалами. Технологии армирования бетонов достаточно хорошо изучены [9]. Толщина прочной армированной бетонной стенки может не превышать 200 мм. Она обладает высокой теплоемкостью в отличие от легких каркасных конструкций, обеспечивает высокую пожарную безопасность и долговечность конструкции. Защищенность такой стены от внешних воздействий слоем утеплителя и отделки снижает требования к влагостойкости и морозостойкости бетона и позволяет использовать в качестве связующих и наполнителей более дешевые материалы, которые в большинстве случаев могут быть найдены недалеко от места строительства.

В Европе и в России распространены различные модификации технологии изготовления высокопористых бетонов (газобетонов, ячеистых, вспененных). Технологии их очень различны, но цель одна: получить более легкий, дешевый и теплый материал, сохранив основные преимущества бетонных изделий. Наибольшее распространение получила технология с добавлением алюминиевой пудры в бетонную смесь вяжущих (цемента и извести) и мелкодисперсных заполнителей, которыми могут быть молотый кварцевый песок или золы уноса, а также другие наполнители. Технология с использованием в качестве вяжущего извести требует автоклавной обработки паром под давлением 8 - 12 атмосфер с температурой 160 - 180°C в течение 8 - 12 часов. В результате получают хорошо обрабатываемый материал с плотностью 800 - 1200 кг /м³ и прочностью от 20 до 300 кг/см². Недостатком его является пониженная влагостойкость и необходимость внешней облицовки [40].

Ячеистый бетон с использованием портландцемента в качестве вяжущего может производиться без автоклавной обработки с естественным

набором прочности либо с ускорением процесса подогревом электрическим током. Эта технология имеет большие возможности для модификаций свойств ячеистых бетонов регулированием различных технологических добавок. В частности, гидрофобные добавки позволяют получать влагостойкие блоки из ячеистого бетона, не требующие дополнительной внешней защиты в стенах. Кроме того, такая технология позволяет производить блоки из ячеистого бетона с помощью небольших перемещаемых заводов с большой долей ручного труда, а следовательно, с экономией энергии и снижением стоимости при небольших объемах производства. Такие мини-заводы выпускает частная компания «Силикон» в Новосибирске [41].

Существенное улучшение прочностных характеристик ячеистых бетонов может быть получено добавлением синтетических волокон [9]. При соблюдении отношения модулей упругости армирующих волокон и матрицы (ячеистый бетон) $E_v/E_m > 1$ и технологического регламента прочность на сжатие повышается на 30 - 60%, прочность на растяжение при изгибе на 300%, ударная вязкость на 150 - 200%, морозостойкость в 3 раза, увеличивается долговечность.

Для повышения характеристик ячеистых и других типов бетонов также могут использоваться и минеральные волокна, модуль упругости которых больше модуля матрицы и которые химически не взаимодействуют с матрицей. Стекланные волокна необходимо применять с осторожностью, так как они разрушаются в щелочной среде.

Возможность повышения прочностных характеристик всех типов бетонов относительно недорогими способами играет исключительную роль в их использовании в современном строительстве, где необходимо конкурировать с другими материалами, обладающими высокими конструктивными качествами при низкой энергоемкости и низкой теплопроводности (древесина).

4.4. Кирпичи, керамические изделия

Обожженные и необожженные кирпичи из глины относятся к очень древним строительным материалам, известным еще со времен Древнего Египта. Производство кирпичей до сих пор широко распространено во многих странах мира независимо от их уровня развития. Технология производства меняется от полностью ручной до автоматизированных заводов большой производительности. Для производства кирпичей используется, как правило, местное сырье. Обычно - это легкоплавкие глины средней пластичности, содержащие 40 - 50% песка. В промышленных технологиях разные добавки позволяют получать кирпичи с различными свойствами, в том числе, производить высококачественные кирпичи из неоптимального по составу сырья промышленных отходов.

Технология изготовления включает процессы добычи подходящих по составу глин, измельчение и смешивание сырьевых компонентов, вторичное измельчение при промышленном производстве, формование, сушку, обжиг. Существуют три способа производства: пластический с 12 - 15%

воды по массе смеси, способ сухого прессования с 10% воды и мокрый процесс с 20 - 30% воды. При пластическом способе производства приготовленную густую смесь формуют на ленточных шнековых прессах в виде непрерывного бруса, который разрезается струной на отдельные кирпичи. Кирпич-сырец сушится и обжигается. В полусухом процессе кирпич-сырец не нуждается в сушке и может сразу поступать на обжиг. Температура обжига зависит от состава смеси и меняется в пределах 900 - 1000°C.

В большинстве стран существуют стандарты на размеры кирпича. В России производят обыкновенный, сплошной кирпич с размерами 250×120×65 мм и плотностью 1600 кг/м³, модульный с пустотами - 288×138×65, утолщенный с пустотами - 250×120×88 [9]. Масса одного кирпича не превышает 4 кг. Марки кирпича от 75 до 300 соответствуют их прочностям на сжатие от 7,5 мПа до 30 мПа, прочности на изгиб от 1,8 мПа до 4,4 для полнотелого и от 1,2 до 2,9 мПа для пустотелого. По морозостойкости обожженный кирпич делится на четыре марки : 15, 25, 35 и 50 циклов. Чем выше температура обжига кирпича, тем выше прочность и тем меньше способность кирпича впитывать влагу. Из окружающего воздуха кирпич впитывает влагу в небольших количествах - 0,2 - 1,2% от массы кирпича.

Высокая влагостойкость и долговечность кирпичей позволяет их применение практически для всех основных элементов дома. Кирпич полусухого прессования не применяется для кладки фундаментных стен и цоколей, так же как пустотелый и необожженный кирпич. Огнеупорный кирпич (шамот) используется для кладки печей и печных труб.

Обожженный кирпич относится к группе материалов средней энергоемкости. Производство кирпичей в среднем потребляет 1,8 гДж/т тепловой энергии, или от 100 до 300 кг угля на 1000 кирпичей, т. е. 2600 - 7800 мДж/1000 шт. 95% энергии расходуется на обжиг кирпича. Обожженный кирпич - долговечный материал, который может быть повторно использован как наполнитель для устройства бетонных фундаментов, дорожек и других объектов благоустройства территорий.

Производство кирпича легко организуется на месте строительства с помощью мини-заводов. Кирпич вполне конкурентоспособен при выборе материалов для ресурсосберегающего строительства при его обоснованном применении. Практикующееся до настоящего времени строительство фундаментов, наружных и внутренних стен сплошной кирпичной кладкой при повышенных требованиях к тепловой эффективности зданий нецелесообразно (для обеспечения нормативного теплосопrotивления $R = 3$ толщина стены должна быть более 1,5 м). Рекомендуется использовать кирпич только для обеспечения необходимой прочности несущих конструкций и внешней отделки стен, решая тепловые проблемы с помощью легких утеплителей.

Снижение энергопотребления в широко распространенном строительстве из кирпича можно добиться его заменой на необожженные кирпичи, производство которых тоже достаточно хорошо развито во многих странах. Прежде всего, это так называемый силикатный кирпич, который изготавливают из смеси извести песка и воды. Высокая прочность

достигается закалкой сухим паром в автоклавах. Кирпич светло-серого цвета и может применяться для возведения несущих и ненесущих стен. Технология производства силикатного кирпича была освоена в конце XIX в., а в России - с начала XX. С тех пор технология постоянно совершенствуется. Наибольшие успехи получены в направлении активированных добавок и сортировки частиц по размерам. Среди активаторов хорошо известен дезинтегратор И.А. Хинта, работы по ударной активации в Свердловске и Новосибирске, которые кратко обсуждаются в гл. 7. Последние разработки настолько подняли прочность и стойкость силикатных изделий, что это позволило выпускать черепицу, трубы и другие тонкостенные изделия, в том числе и силикатный пенобетон с последующей его нарезкой на стеновые блоки.

Автоклавная обработка требует меньше энергии, чем обжиг, но может производиться с гарантией качества только на промышленных предприятиях.

Дальнейшее снижение энергопотребления получают за счет использования кирпича сырца, который может формироваться ручным прессованием из подходящего грунта с добавками для увеличения прочности и избегания образования трещин. Такие кирпичи известны под названиями терракирпичи или грунтоблоки. При соблюдении оптимального состава смеси, режимов формования и сушки такие кирпичи по прочности достигают марки 70 - 100 [4] и могут быть использованы для строительства несущих стен в том случае, если они будут защищены от попадания излишков влаги. В современных, композитных конструкциях стен с внешним утеплением такие кирпичи в малоэтажном строительстве должны рассматриваться как очень эффективный материал, на изготовление которого используется грунт из котлована под фундамент. Расходы на изготовление таких кирпичей очень малы. Все, что необходимо для производства, легко организуется и размещается на месте строительства. Единственная технологическая трудность состоит в квалифицированном анализе грунта и выработке рекомендаций по необходимым добавкам для достижения требуемой прочности.

Грунтокирпичи могут изготавливаться либо ударным прессованием влажного грунта, либо формованием кирпичей с последующей сушкой из тестоподобной массы [42] (пастовая технология). Пастовая технология дает лучшее перемешивание и гетерогенность смеси и позволяет изготавливать пустотелые кирпичи. Для ускорения процесса сушки могут быть использованы солнечные сушилки.

Расход энергии на изготовление грунтокирпичей незначителен при достаточно высоком расходе ручного труда. Размещение этого, практически естественного материала после окончания срока службы тоже не требует больших расходов энергии и не представляет экологических проблем. Поэтому возможность использования этого материала всегда должна быть предметом анализа при организации малоэтажного строительства.

Технологии, сходные с производством обожженных и необожженных кирпичей, используются для производства разнообразных керамических строительных изделий: черепицы, керамических плиток для внешней и

внутренней отделки, кафеля. К этому же классу можно отнести фаянсовые и фарфоровые изделия для сантехники, которые отличаются качеством исходных материалов, структурой керамического черепка, защитным покрытием (глазурь) и эстетическими достоинствами. Энергопотребление всех этих изделий в основном определяется процессом высокотемпературного обжига, что относит их к группе материалов средней энергоемкости. Экономия энергии в этой группе материалов возможна, но она не всегда оправдана, так как изделия из этих материалов дают вклад не более 1% в общую энергоемкость дома, их применение часто диктуется важными конструкционными и эстетическими целями, а альтернативой чаще всего может быть более энергоемкий металл (нержавеющая и эмалированная сталь, бронза, чугун).

4.5. Естественный камень

Естественный камень - древнейший строительный материал, сохраняющий свою ценность до настоящего времени. Используется он и как исходный материал для производства щебня и более мелких фракций для добавок и наполнителей в бетонные смеси, и как основной материал для возведения стен. Естественные камни обладают высокой прочностью, морозостойкостью, влажостойкостью и теплостойкостью. Этот набор свойств обеспечивает практически неограниченную долговечность постройкам из естественного камня, если правила укладки соблюдены. Для кладки стен применяют известняк, ракушечник, туф, гранит. Для отделки: гранит, мрамор и другие более ценные породы камня. С использованием естественных камней производятся многочисленные композитные материалы, обладающие высокой прочностью и эстетической ценностью. Мелкий помол камней широко используется как минеральные добавки для улучшения свойств вяжущих материалов и бетонных смесей.

Чаще всего камень в малоэтажном строительстве используется для возведения фундаментных стен: бутовый камень, булыжники, и другие камни. Для кладки стен фундаментов камни раскалываются (плинтовка) и предварительно обрабатываются: скалываются острые грани с целью придания более прямоугольной формы и увеличения плоских постельных поверхностей. Камни сортируют по размерам и весу, который обычно не превышает 30 - 50 кг. При кладке стены обработанные камни укладывают на раствор с перевязкой слоев так, чтобы камни имели максимальную поверхность касания в горизонтальном направлении. Чем ближе поверхности соприкосновения слоев камней к горизонтали, тем выше несущая способность кладки.

Необработанные камни укладывают в бетонный раствор слоями до 20 см, затем подсыпают щебень для заполнения полостей и кладку трамбуют, после чего заливают раствором, который уплотняется до заполнения всех полостей между камнями. Трамбовка на 30 - 40% увеличивает несущую способность кладки.

Естественный камень также используется для кладки и отделки цоколей домов и наружных стен в обработанном и малообработанном виде, обеспечивая не только высокие прочностные характеристики, но и

удовлетворяя самым высоким эстетическим требованиям. Наружные стены из камня могут быть утеплены легкими утеплителями по обычным правилам, что дает возможность получать необходимые теплотехнические характеристики при меньшем расходе строительных материалов.

Затраты энергии на добычу и подработку камня невелики: для необработанных - 0,14 мДж/кг, для обработанных - 0,37 мДж/кг [43]. Основной расход - это транспортировка тяжелого материала, что ограничивает сферу его применения местами, расположенными в непосредственной близости от залежей.

Большая долговечность материала и строений выводит естественный камень в чемпионы по величине энергии полного жизненного цикла, которая фактически равна энергии производства, транспортировки и строительства при незначительных удельных расходах на поддержание и захоронение материалов из-за большого срока эксплуатации строений. Следовательно, в определенных условиях естественный камень может рассматриваться как доступный по стоимости материал соответствующий критериям устойчивого развития.

4.6. Стекло

Стекло используется во всех домах и на него, исключая специальные проекты, в среднем приходится около 1% общих затрат энергии на производство материалов и строительство дома. Но в связи с возрастающими требованиями к теплозащите зданий (тройное остекление) и использованием солнечных коллекторов площадь остекления дома может возрасти в несколько раз, поэтому сохранение энергии при производстве и использовании стекла тоже становится важным фактором при проектировании энергоэффективных домов. Возрастают требования и к качеству стекол. Больше используются тонированные стекла, изменяющие свою прозрачность в зависимости от интенсивности светового потока. Повышаются теплозащитные свойства стекол нанесением на них теплоотражающих покрытий. Увеличивается прочность стекол в связи с их использованием в конструкциях с вакуумированием межстекольного пространства. Прочностные характеристики стекол становятся важными также из-за резкого увеличения общей площади остекления и увеличения вероятности разрушения стекол. Современная промышленность выпускает большое разнообразие стекол и готовых строительных элементов: стеклопакетов и окон на их основе, дверей, солнечных коллекторов, прозрачных перегородок.

Стекло на 71-73% состоит из SiO_2 , 1,5-2% - Al_2O_3 , 6,5-8,5 - CaO , 3,5-4,2 - MgO , 13,5-14,8% - Na_2O и других добавок. Плотность - 2500 кг/м³, теплопроводность - 0,87 Вт/м°C, предел прочности при сжатии - 580 мПа, предел прочности при растяжении - 39 мПа. Коэффициент общего светопропускания - 0,87, спектральное светопропускание характеризуется высоким уровнем в видимой и ближней инфракрасной областях и низким

уровнем в ультрафиолетовой области. Почти 90% солнечной энергии, приходящей к земной поверхности, пропускается оконным стеклом.

Стекло, как правило, выпускается относительно крупными промышленными предприятиями в связи с большим энергопотреблением и высокими требованиями к качеству сырья. Основной вид продукции стекольной промышленности - листовое стекло, объем производства которого в мире более 20 миллионов тонн [9]. Около 38% приходится на долю США. Основной способ производства - флоат-процесс с производительностью одной линии 300 - 800 тонн в сутки или 15 - 40 миллионов квадратных метров в год.

Выпускаются стекла толщиной от 1,1 мм до 30 мм различного назначения: оконное, витринное, армированное, узорчатое, теплопоглощающее, цветное, тонированное. В последнее время развивается производство и использование в строительстве многослойных стекол, стекол с низкой излучательной способностью, теплоотражающих, антиотражающих, звукоизоляционных и других. Стекольная промышленность также выпускает различные конструкционные изделия из стекла, облицовочные материалы, стекловолоконные материалы и пеностекло.

Стекло входит в группу материалов высокой энергоемкости. При производстве стекла 80% энергии тратится на плавку песка, извести и соды при температуре 1450 - 1550°C. Плавка осуществляется в ваннных печах, нагреваемых жидким или газообразным топливом. Добавка боя стекла уменьшает расход энергии на 0,2% при увеличении добавки на 1%. На производство тонны листового стекла в среднем тратится до 22 гДж энергии. При хорошей организации использования отходов и технологии в Великобритании на производство тонны используется 11,9 гДж [28].

Стекло в настоящее время практически незаменимый материал и только в менее ответственных местах частично заменяется пластиками. Поэтому при экономии этого материала можно говорить только об уменьшении используемого количества, а не замены на другие материалы. Но уменьшение в количестве также ограничено действующими санитарно-гигиеническими нормами на освещение, а стремление к существенному увеличению теплозащиты ведет к использованию дополнительных слоев стекла и применению более дорогих сортов. В данном случае интересы минимизации потерь тепла при эксплуатации жилища расходятся с интересами сбережения материала при строительстве и необходим поиск оптимального компромисса.

Стекла с низкой излучательной способностью - один из способов повышения теплозащиты без увеличения используемой массы стекла. В процессе производства на стекло наносится пиролитическим способом полупроводниковое покрытие толщиной 200 нм. Этот способ производства стал стандартным для высокоразвитых стран под названием Е-стекло и осваивается в России. Коэффициент пропускания света у такого стекла около 0,84, отражение - 0,1, пропускание световой энергии - 0,77, а излучение - 0,2. Замена одинарного остекления двойным с использованием стекла с низкой излучательной способностью по оценке западных специалистов дает возможность сэкономить энергии на 1 миллиард

долларов и уменьшить на 11 миллионов тонн выбросы CO_2 в атмосферу [9].

Для снижения излучательной способности на готовое стекло наносят специальные пленки, но долговечность и эффективность таких покрытий существенно ниже, чем напыленных.

Освоен выпуск стекол с уникальными свойствами: увиолевые стекла - пропускают лучи в ультрафиолетовой области, электрохромные стекла - изменяют коэффициент пропускания света под действием электрического тока, фотохромные стекла - изменяют светопропускание под воздействием ультрафиолетовых лучей. Начинают использоваться в строительстве многослойные стекла типа «триплекс» - склейка трех слоев стекла с помощью бутафоль-поливинилбутирала. Наличие органической пленки обеспечивает безосколочность при разрушении стекла. Прогнозируется увеличение на 20% использования триплекса в строительстве к 2000 г.

Способ вакуумного напыления полупроводниковых и металлических слоев обеспечивает выпуск стекол с широким диапазоном изменения отражательных и светопропускающих свойств в определенных спектральных участках.

Стекольная индустрия выпускает также широкий диапазон конструкционных стекольных изделий: профильное стекло для светопрозрачных ограждений, двери из закаленных листов стекла с повышенной прочностью, облицовочные коррозионно- и износостойкие материалы различных размеров для внутренней и внешней отделки, стемалит - листовое стекло, окрашенное с одной стороны керамическими красками, стекломрамор - плиты из глушеного стекла с мраморовидной окраской для внутренней облицовки и покрытия полов, стеклокристаллит - плиты, получаемые сплавлением гранул из бесцветного или окрашенного стекла, стекловолоконистые материалы и изделия. Основное применение стекловолокна в строительстве - теплоизоляция ограждающих конструкций и тепловых магистралей, также используются стеклопластики, изготавливаемые прессованием из стеклянного штапельного полотна. Листы и изделия из стеклопластика обладают высокой прочностью и стойкостью к различного вида воздействиям и используются в ответственных узлах конструкций. Волокна из щелочесиликатных стекол используются для армирования бетонов и получения огнестойких стеклогипсовых плит для перегородок.

В России был разработан способ получения эффективного теплоизоляционного материала - пеностекло (ячеистое стекло), представляющего собой застывшую стекломассу с равномерно распределенными порами [9]. В качестве сырья возможно использование боя оконного или бутылочного стекла. При средней плотности блоков из пеностекла 250 - 350 кг/м³ они могут быть использованы в качестве самонесущих блоков при возведении ограждений. При плотности 140 - 180 кг/м³ пеностекло обладает теплопроводностью 0,06 - 0,07 Вт/м⁰С и водопоглощением - 0,5 - 0,95 об. %.

Широкое использование всего спектра изделий из стекла сдерживается высокой энергоемкостью производства, но благодаря высоким техническим

и эстетическим характеристикам этих изделий, очевидно, необходимо развивать исследования в направлении снижения энергопотребления и требования к качеству сырья.

4.7. Металлы

В современном доме для строительства всегда используются различные металлы: арматурная сталь и стальные сетки для армирования бетонных конструкций, стальные крепежные изделия для соединения деревянных и других конструкций и элементов, стальные и алюминиевые листы для крыш, медь в электрических проводах и кабелях, цинк и олово для повышения коррозионной стойкости стальных листов и элементов. Металлы относятся к группе материалов очень высокой энергоемкости, но они используются в относительно небольших количествах и в общих затратах энергии на дом составляют: сталь - не более 1% на дом, медь - не более 5%, остальные - намного меньше.

Затраты энергии на используемые в строительстве стальные профили и арматуру по различным данным лежат в пределах 26 - 36,4 гДж/т, а на оцинкованные листы - 64,5. На алюминиевую продукцию затрачивается в среднем 270 гДж/т энергии, медь - 115, олово - 30, цинк - 70 гДж/т [28]. На производство алюминия расходуется в основном электричество, при получении которого в атмосферу выделяется в 4 раза больше углекислого газа, чем при получении тепла.

В развитых странах наблюдается быстрый прогресс в экономии энергии при производстве металлов. В сталелитейной промышленности Великобритании с 1950 по 1980 гг. было сокращено удельное энергопотребление на 33% улучшением технологий и заменой устаревших заводов на новые и прогресс продолжается.

В развивающихся странах еще остаются устаревшие технологии, поэтому энергопотребление и стоимость металлов выше, чем в развитых странах при росте спроса на металл. Потенциал сбережения энергии в развивающихся странах не менее 30% на всех стадиях жизненного цикла металлов. Особенно большие резервы в продлении срока службы металлических конструкций и во вторичной переработке и использовании отслуживших конструкций.

4.8. Грунт

Строительство стен домов из грунта - одна из старейших строительных технологий, до сих пор эффективно используемых во многих частях света. Материал состоит из определенных пропорций глины, ила и заполнителей, которые распространены повсеместно. Естественный грунт в большинстве случаев имеет необходимые пропорции составляющих и не требует никаких

добавок. Идеальная смесь содержит не более 50% глины и ила и заполняющую фракцию не больше, чем 6 мм размером.

Стены строятся либо с помощью опалубки и постепенного заполнения ее увлажняемым и трамбуемым грунтом, либо предварительно из грунта изготавливаются и высушиваются на солнце грунтоблоки, а затем стены складываются с использованием раствора из того же грунта.

Преимущества стен из грунта состоят в большой тепловой массе и однородности стены. Международный стандарт дает величину $1/10$ для отношения толщины стены к ее высоте. Толщина несущей стены для одноэтажного дома 25 - 30 см при высоте не больше 3,5 м; двухэтажного дома 45 - 50 см для первого этажа и 30 см для второго при высоте не больше 6,5 м. Толщина внутренних стен не менее 20 см [44, 45].

Землебитные стены исключительно прочны и долговечны. Это подтверждается и современным опытом строительства и наблюдением над старыми постройками. В Гатчине под Петербургом уже 190 лет стоит построенный по проекту архитектора Н.А. Львова из глины двухэтажный дворец-замок [46], который перенес бомбардировки Великой Отечественной войны. Также прочны могут быть и другие строительные конструкции: дорожки, отмостки, ограды и другие хозяйственные постройки.

Сплошная грунтовая стена возводится с помощью перемещаемой опалубки, которая первоначально загружается слоем увлажненного грунта (10% от веса сухой почвы) толщиной 10 см, а затем вручную или механически трамбуется до появления характерного звенящего звука. Затем процесс повторяется до заполнения формы высотой до 60 см. После все повторяется на других стенах. Дальнейшее наращивание стен можно проводить, не ожидая полного высушивания. Лучше стены возводить в начале лета, чтобы они имели время для просушки. Прочность стен возрастает со временем с 15 - 20 кг/см² после постройки до 100 - 120 кг/см² через 20 - 30 лет.

Для грунтовых стен непригодны растительный слой, торф и другие грунты, богатые не до конца разложившейся органикой. К жирным, глинистым почвам лучше добавлять соломенную сечку, стружку, костру для предотвращения большой усадки. Повысить прочность стен можно также предварительной сортировкой грунта по размерам частиц набором сит, либо на сортирующих установках. Возможно также добавление портландцемента с замешиванием смеси и изготовлением грунтобетона [4], который может успешно использоваться для устройства дорожек и отмосток. Для этих же целей может быть приготовлен асфальтобетон, состоящий на 90% из суглинка и на 10% из битума. Битум плавят и постепенно добавляют суглинок, непрерывно размешивая массу. Разливают в горячем виде на заранее подготовленные основания.

Размеры грунтоблоков, высушиваемых, как правило, на солнце, различны у каждого пользователя в соответствии с традициями и стандартами производителя, но не меньше 10 см по толщине. Производить грунтоблоки должны вблизи места их использования. Нестабилизированные грунтоблоки и грунтовые растворы (без добавления водоотталкивающих

веществ) хорошо связываются друг с другом, а также с деревом. Грунтоблоки могут быть стабилизированы с повышением их влагостойкости добавками цемента, битумной эмульсии и других компонент, но это может нарушить однородность кладки в местах соприкосновения слоев, где может возникнуть процесс разрушения. Грунтоблоки могут быть также подвергнуты обжигу, что приравняет их к низкосортным стандартным кирпичам, и их использование не рекомендуется при высоких флуктуациях ежедневной температуры, так как они обладают пониженной морозостойкостью.

При правильных подготовке грунтовой смеси, прессовке и высушивании прочность грунтоблоков соответствует прочности кирпичей марки 100 и более, если используются стабилизирующие добавки.

Для крепления к грунтовым стенам строительных конструкций (окон, дверей) рекомендуется в местах креплений делать деревянные закладки и крепить обычным металлическим крепежом. Если необходимо крепить непосредственно к грунтовой стене, место крепежа должно быть предварительно подготовлено с использованием укрепляющих вкладок или добавок.

Наибольшее внимание при строительстве должно быть уделено предотвращению попадания текущей воды на грунтоблоки. Повышенная влажность не влияет на свойства стены, если созданы хорошие условия для вентилирования и отвода воды и отсутствуют условия для ее накопления. Дождевая эрозия нестабилизированной грунтовой поверхности стены будет приблизительно 2 - 3 см в 20 лет при интенсивности дождей от 25 до 60 см в год. Не рекомендуется строить монолитные фундаментные стены из грунта, так как возможна концентрация воды у основания в процессе строительства, что может повредить фундамент.

Строительные конструкции и блоки из нестабилизированных грунтов требуют пренебрежимо мало энергии для их изготовления. Даже использование прессов с приводом от электродвигателей или двигателей внутреннего сгорания для прессования грунтоблоков требует не более 0,1 мДж/т энергии, а общее энергопотребление не превышает 100 мДж/т, что относит этот тип материалов к низкоэнергоемкой группе. Добавление 5% цемента поднимает расход энергии до 250 - 400 мДж/т, что не выводит эти материалы из группы низкоэнергоемких.

Энергия для прессования одного блока - 0,25 кДж, примерно такая же энергия нужна на установку одного блока в стену [28]. 4 рабочих производят до 300 блоков в день, каждый весом 7 кГ, т. е. 2,1 тонны. Энергозатраты при этом составляют не более 14 мДж/т, что не более 4% энергии, которая была затрачена для производства цемента, использованного для стабилизации блока. Поскольку практически вся энергия для стабилизированных грунтовых блоков определяется величиной энергии, затраченной на производство цемента, то применение механизмов для производства блоков мало скажется на величине полной энергии.

В многочисленной литературе подробно изложена технология строительства домов из грунта. Достаточно полная библиография этой литературы приведена в выпусках Центра ООН по населенным пунктам [47, 48].

4.9. Солома, растительные материалы

Солома, трава, листья, камыш, тростник - традиционные, древние строительные материалы. Они используются и в чистом виде и как компонент в известково-глиняных смесях. Широко известны саманные дома. В Казахстане строятся дома из камышита [9]. Солома широко использовалась для крыш в русских деревнях.

В начале XIX в. строительство из соломы получило развитие в Небраске (США) после начала использования парового прессующего оборудования в заготовке соломы. Сено, спрессованное и увязанное в одинаковые параллелепипеды, оказалось замечательным строительным материалом. За неимением других строительных материалов он быстро распространился в этих краях. Как показала практика, если спрессованные соломенные блоки защитить от дождя, они дают возможность строить жилые дома и хозяйственные постройки с длительным сроком эксплуатации, сверхэнергоэффективные, с прекрасным внутренним климатом и достаточно безопасные. Сохранились 100-летние строения без значительных разрушений [49, 50]. В 30-х гг. XIX в. строительство их было прекращено, благодаря быстрому распространению новых технологий и изменению социально-экономических условий.

В 80-х гг. XX в. энтузиасты из США начали возрождение забытого способа строительства [50], которое, безусловно, отвечает многим современным экологическим и экономическим требованиям. Избыток соломы в зерновых сельскохозяйственных районах часто сжигается на полях после уборки урожая, что далеко не лучший способ использования этого ценного естественного ресурса. К настоящему времени действуют общественные организации, которые распространяют опыт строительства в разных странах. В 1994 г. этот опыт на практике строительства дома демонстрировался вблизи Челябинска на Урале, в 1995 и 1996 гг. в Белоруссии. В 1997 г. в Новосибирском академгородке был проведен семинар, на котором была продемонстрирована Скотом Питменом технология строительства стен из спрессованной соломы.

В 80 - 90 гг. XX в. в США, Канаде и Франции были построены уже архитектурно привлекательные соломенные дома с попытками вхождения в рамки национальных строительных стандартов и выхода на потребительский рынок. В настоящее время заканчиваются работы по созданию специального стандарта на строительство соломенных домов из спрессованной соломы в США. Стандарты некоторых штатов США и районов Канады разрешают использовать солому в качестве утеплителя для односемейных домов [51].

Достоинствами спрессованных соломенных блоков являются их дешевизна, высокая несущая способность, высокое тепловое сопротивление ($R = 30$) и высокая теплоемкость. Эти характеристики позволяют строить из соломы сверхэнергоэффективные дома. К недостаткам можно отнести горючесть и необходимость отделки внутри и снаружи дома для защиты от дождя и животных.

Энергетические затраты на производство соломы незначительны, тем более что она чаще всего является отходом производства зерна и ее использование для утепления домов можно рассматривать как звено в цикле организации безотходного производства. После окончания срока использования соломы она может быть превращена в удобрения процессом компостирования и возвращена в почву. Удобрение из соломы очень ценно, так как содержит большое количество углерода и является прекрасным восстановителем почвенного баланса.

Солома безусловно может претендовать на материал, который соответствует принципам устойчивости при условии повышения огнестойкости строений и сопротивляемости воздействию биоорганизмов.

4.10. Теплоизоляционные материалы

Теплоизоляционные материалы в том или ином виде давно используются в строительстве домов, например, для утепления потолков, плоских крыш, тепловых сетей, заполнения выкладываемых стен. Но при существовавших ранее низких требованиях к теплоизоляции ограждающих конструкций ($R = 1$) также невысоки были требования к теплоизоляционным материалам. Энергетический кризис и резко возросшая стоимость энергии заставили проектировщиков и строителей пересмотреть строительные правила и стандарты в сторону повышения в несколько раз теплосопrotivления ограждающих конструкций ($R = 3$ и более). Простое утепление за счет увеличения толщины стен или добавления слоев изоляции к ограждающим конструкциям традиционно построенных домов не решало проблемы, так как приводило к существенному увеличению стоимости жилья. Поэтому были разработаны новые энергоэффективные дома и сформулированы принципы их проектирования и строительства [10]. В основу был положен легкий несущий каркас, заполненный эффективным утеплителем, с отделкой внутри и снаружи тонкими сборными плитами (досками) из композитных материалов. Таким образом, основной строительный объем занимают теплоизоляционные материалы, поэтому в общих затратах энергии на дом и в стоимости дома они составляют 20% и более в зависимости от типа дома, климатических условий, транспортировки, типа изоляции.

По химическому составу теплоизоляционные материалы могут быть:

- минеральными - стекловолокно, пеностекло, минеральное волокно, керамзит, пелрозит, легкие пено- и газобетоны,
- полимерными - пенопласт, пенополиуретан, полиизоцианурат и др.
- композитными - древесноволокнистые плиты, минерало- и стекловатные плиты, волокнистые газобетоны и многие другие,
- естественно-органическими - торф, мох, солома, камыш, сухие листья, отходами энергетических и лесобрабатывающих производств - шлаки, стружки, опилки и др.

Производятся теплоизоляционные материалы в виде плит, мягких и полужестких матов, сыпучих зерен, хлопьев, частиц исходных материалов

для получения утеплителя на месте строительства (вспенивающиеся полимерные материалы в баллонах, сыпучие и хлопьевидные материалы в мешках). Для вспенивания полимеров очень часто используется фреон, который заполняет поры и обеспечивает более высокое теплосоппротивление, так как его теплопроводность в 3 раза меньше воздуха. Но фреон - озоноразрушающий газ, применение которого все больше ограничивается международным сообществом, поэтому идут интенсивные поиски эффективного заменителя фреона и уже появились на рынке вспенивающиеся материалы без фреона.

Мировой рынок насыщен большим количеством материалов, которые обеспечивают эффективную теплоизоляцию фундаментов, стен, перекрытий, крыш, нагревательного оборудования, тепловых магистралей. Новые материалы обладают большой долговечностью, влагостойкостью и не загрязняют атмосферу токсичными выделениями.

До сих пор в строительстве остаются популярными материалы, которые можно отнести к типу конструкционных теплоизолирующих. Прежде всего - это различные типы газобетонов и пенобетонов, арболиты, керамзитобетоны, опилкобетоны и др., которые, наряду с повышенным теплосоппротивлением, обладают достаточно высокой прочностью и используются для возведения несущих конструкций. Они эффективны при невысоких требованиях к теплосоппротивлению стен ($R = 1$) в малоэтажном строительстве, позволяя уменьшить толщину стены почти в 2 раза по сравнению с толщиной кирпичной стены, а следовательно почти в 4 раза сократить расход материала и энергии. Но при повышенных требованиях к теплосоппротивлению ($R = 3$) становится эффективнее использовать композитную конструкцию стены, где прочность обеспечивается наиболее эффективными по прочности материалами и конструкцией (например, каркас), а теплоизоляция обеспечивается очень легкими утеплителями. Такой подход позволяет почти в два раза снизить материало- и энергоемкость строительства. Конструкционные теплоизоляционные материалы со стойкими покрытиями успешно используются в качестве отделочных материалов, для утепления и гидроизоляции фундаментных стен и крыш.

Переход на использование очень легких теплоизоляционных материалов с удельной плотностью менее 100 кг/м^3 позволяет достигать нормативную величину теплосоппротивления наружных стен $R = 3$, введенную в России с июля 1996 г., при толщине стены 200 - 300 мм. Толщина сплошной кирпичной стены при установленном нормативе превысила бы 1,5 м. Значительное уменьшение объема и веса утепленной строительной конструкции ведет к существенно новой ситуации в области экономии ресурсов и снижению стоимости, что открывает перспективы создания высококачественных жилых домов, доступных большинству населения и соответствующих принципам устойчивого развития.

В США 85% односемейных жилых домов строится на основе легкого деревянного каркаса с утеплением волокнистыми негорючими материалами: стекловатой или минеральной ватой. Также распространены технологии строительства домов, собираемых из легких панелей, основу которых

составляют вспененные полимеры с покрытием из негорючих стойких к внешним воздействиям материалов (например, алюминиевая фольга), либо композитные материалы с использованием древесных отходов.

Путем вытяжки из расплава либо раздува струи расплавленного стекла воздухом, паром или другим газом, получают волокна толщиной от 3 до 20 мкм и супертонкие волокна - 0,5 - 3 мкм, которые могут поставляться в виде стекловаты, прошивных матов или жестких и полужестких плит, где волокна скрепляются полимерными или минеральными связующими. В настоящее время на международном рынке предлагается очень широкий ассортимент тепло- и звукоизоляционных изделий из стекловолокна, предназначенных для утепления вертикальных стен, горизонтальных и наклонных перекрытий, нагревательного оборудования и тепловых магистралей, солнечных коллекторов, накопителей тепла и для многих других целей. Теплопроводность этих изделий меняется в зависимости от назначения от 0,04 до 0,1 Вт/м·К. Теплоизоляционные маты, как правило, выпускают с влагозащитными покрытиями в рулонах со стандартной шириной, что позволяет их использовать для изоляции без предварительной подготовки прикреплению к каркасу специальным крепежом либо приклеиванием.

Аналогичными свойствами обладают материалы на основе минеральных волокон, производимых из вулканических стекловидных пород. Они также используются в виде минеральной ваты, и плит, где волокна связываются небольшим количеством органических веществ, например формальдегидной смолой. В последнем случае плитами утепляют только внешние стороны ограждающих конструкций при условии их низкой воздухопроницаемости. Утепление деревянных стен не рекомендуется в связи с возможностью инфильтрации паров формальдегида в жилые помещения. Но в настоящее время предлагается широкий ассортимент теплоизоляционных изделий из минеральных волокон, которые соответствуют самым высоким экологическим требованиям. Жесткие минераловатные плиты с защитным покрытием от ветра широко используются для наружной изоляции каркасных домов с заделкой швов эластичной уплотняющей массой. Минеральные волокна занимают ведущее положение среди неорганических легких теплоизоляционных материалов, благодаря простоте производства, неограниченности сырьевых ресурсов и невысокой стоимости.

В Финляндии широко применяется целлюлозная вата (эковата) - хлопьевидный утеплитель, изготавливаемый из бумажных отходов (80% - газетная макулатура и 20% - нелетучие антипирены - борная кислота и бора). Теплопроводность эковаты - 0,041 Вт/м·К. Этот горючий трудновоспламеняющийся материал защищает дерево от плесени и гниения, способствует гибели дереворазрушающих грибков. Мелкие грызуны и насекомые не могут жить в среде эковаты. Недостатком эковаты является значительная усадка (10 - 20%), поэтому она наиболее эффективна для теплоизоляции горизонтальных или слабонаклонных перекрытий. В утеплительную полость эковата вносится с помощью специального респиратора.

Теплоизоляционные плиты на основе полистирена состоят из вспененной массы с замкнутыми ячейками, наполненными воздухом. Водопоглощающая способность не превышает 3 - 6% в зависимости от плотности (15 - 140 кг/м³). Плиты плотностью 15 кг/м³ применяют для горизонтальных настилов и вертикальной теплоизоляции фундаментных стен, при плотности более 20 используют под фундаментами для защиты от промерзания.

Плиты из пенополиуретана обладают большим удельным теплосоппротивлением, так как замкнутые ячейки вспененного материала заполнены фреоном, теплопроводность которого в 3 раза меньше воздуха. Поверхность плиты часто покрывается алюминиевой фольгой для увеличения сопротивления паропроницаемости. Герметизация стыков осуществляется аэрозольной пеной из баллонов. Однолитровый баллон дает 20 л пены.

Эффективный недорогой утеплитель пеноизол с наполнителем из тонко молотого керамзитового песка устойчив к воздействию огня до 350°C, при более высоких температурах не выделяет токсичных веществ. Имеет структуру с замкнутыми ячейками, может быть жестким и эластичным в зависимости от введенных в него добавок с хорошей адгезией к кирпичу, бетону и металлам. Изготавливается в виде плит и блоков с плотностью 25 - 300 кг/м³, заливается в виде пены в объемы и стыки. Твердеет в течение 20 минут в нормальных условиях. Производство пеноизола можно осуществлять на месте строительства с помощью газожидкостной установки весом 80 кг [52, 53].

Высокоэффективные современные утеплители являются продуктами высоких технологий. Они в нормальном состоянии не загрязняют окружающую среду и легко поддаются утилизации после окончания срока службы ввиду их небольшой массы и невысокой прочности. Но в их состав часто входят органические вещества, при производстве которых окружающая среда загрязняется наиболее токсичными отходами. Кроме того, затраты энергии на производство полимерных утеплителей, рассчитанные на единицу веса, достаточно высоки. В то же время, благодаря их высокой эффективности, затраты для достижения требуемой теплоизоляции намного ниже, чем у всех остальных типов. В табл. 4.4 приведены выборочные данные, показывающие, что полимерные утеплители по затратам энергии на получение единицы теплосоппротивления наиболее эффективны.

Т а б л и ц а 4.4

Сравнительные характеристики теплоизоляционных свойств материалов
[9, 28, 43, 53, 54]

Материал	Теплопроводность, Вт/м·К	Плотность, кг/м ³	Энергия, кДж/кг	Энергия на единицу теплопроводности, кДж
Вспененный полистерен	29,4	25	120000	74
Пенополиуретан	45,4 - 33,3			
Пеноизол	33,3 - 14,3	25 - 300		
Стекловата	23,8	145	150000	91
Маты из стекловолокна 6 - 8 мкм	38,8	15 - 25		
Маты из супертонкого стекловолокна	44,7	8 - 10		
Мипора	29,1 - 23,2			
Пеностекло	16,6 - 12,9	160 - 250		
Вермикулит вспученный	17,9	100		
Перлитовые изделия	16,6	300		
Шлак доменный	9,7	600		
Газобетон	9,7 - 7,75	200 - 400		
Асбестовый войлок	11,6	400		
Дерево (береза)	7,7	500	1170	110
Гипсовые изделия	2,7	1200	1800	800
Легкий бетон	0,7	1200	720	1252
Известняк	0,52 - 0,98			
Кирпич керамический	0,81 - 0,87	1600		
Гранит	2,9 - 3,3			
Бетон	0,48	2400	720	3600
Стекло	0,95	2500	15000	3947
Твердый ПВХ	6,2	1350	116000	25270

Если учесть еще недостаточную распространенность высокоэффективных утеплителей в нашей стране и высокие транспортные расходы из-за удаленности территорий, то утеплители на основе природных растительных материалов не потеряют значение еще значительное время. Один из таких утеплителей - солома - рассматривается в гл. 4.9. Там же кратко обсуждаются возможности использования камышей и других растений.

К природным утеплителям относятся утеплители на основе торфа. Торфяные теплоизоляционные плиты прессуются из малоразложившегося торфа с волокнистой структурой с плотностью 170 - 250 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности 0,06 Вт/м²С. Длина плит - 1 м, ширина - 0,5 м и толщина - 30 мм. В состав плит вводятся добавки, повышающие их стойкость и долговечность. Используются для теплоизоляции всех типов ограждающих конструкций [9].

Древесные опилки и стружки могут быть достаточно эффективны для теплоизоляции горизонтальных поверхностей после обработки их веществами, повышающими стойкость к поражению насекомыми и мелкими животными. Они также являются традиционным материалом для изготовления плит с различными типами связующих веществ.

Ежегодно на рынок поступают все новые теплоизоляционные материалы с улучшенными характеристиками, поэтому при проектировании лучше пользоваться новейшей фирменной информацией и результатами их испытаний. Научно-техническая и аналитическая информация может только помочь в формулировке принципов выбора тех или иных материалов при проектировании в отсутствие четко разработанных стандартов.

Таблицы (4.4, 4.5) не охватывают всего многообразия теплоизоляционных материалов и их конструктивных и эксплуатационных характеристик, а дают возможность сравнить материалы по их основным характеристикам: теплосопrotивлению и удельным энергозатратам, отнесенным к единице веса и единице теплосопrotivления. Энергозатраты жестко связаны с себестоимостью производства материалов, чем с их рыночной стоимостью. При этом транспортные расходы тоже не учитываются, так как они целиком зависят от удаленности места строительства. Анализ показывает, что высокие энергозатраты на производство единицы веса высококачественных полимерных теплоизоляторов оправдываются тем, что затраты энергии на единицу теплосопrotivления у них существенно ниже, чем более распространенных в нашей стране теплоизоляторов. Этот факт еще более подтверждает, что конструкция стен, в которых прочность обеспечивается материалами с высокой удельной прочностью (каркасы из дерева, металлопроката, высококачественного бетона), а высокое теплосопrotivление высококачественными теплоизоляторами, более выгодно, чем конструкция стен из конструктивных теплоизоляторов (например, газобетонов) и других традиционных материалов.

Необходимо отметить, что теплоизоляционные характеристики материалов под одним и тем же названием отличаются в различных источниках на 10 - 15%. Связано это с сильной зависимостью от технологии получения материалов, методов измерения, способов использования и времени публикации. Поэтому более точные характеристики можно узнать только в сертификационных документах и из маркировки конкретных материалов, но эти расхождения не влияют на результаты анализа, поэтому разные значения одних и тех же величин в разных таблицах были сохранены в соответствии с источником информации.

Т а б л и ц а 4.5

Толщина теплоизоляционного слоя для достижения заданного
теплосопротивления R ($R = kl$, k - коэффициент теплосопротивления
материала, Вт/м·К, l - толщина стены, м) [36]

Теплоизоляционный материал	$R = 2$	$R = 3$	$R = 4$	$R = 5$	$R = 6$
Стекловолокно (маты, ковры)	10	15,2	16,5	25,4	31,7
Пенополиуретан (вспениваемый на месте)	5	7,6	8,8	11,4	15,2
Минеральное волокно (маты, ковры)	7,6	14	15,2	23	26,7
Стекловата (неплотное заполнение)	12,7	21,6	25,4	34,3	37,5
Минеральная вата (неплотное заполнение)	10	16,5	19	26,7	34,3
Целлюлозная вата - эковата	7,6	12,7	15,2	20,3	26,7

4.11. Отделочные, гидроизоляционные, кровельные материалы

Отделочные, гидроизоляционные материалы, а также герметики, клеи, антисептики составляют небольшую долю в общем объеме материалов и затрат энергии, поэтому их выбор чаще всего производится на основании их соответствия техническим требованиям по их основному назначению.

Что касается материалов для внутренней отделки жилых помещений, то наряду с их эстетическими характеристиками, такое же или более высокое значение имеют их санитарно-гигиенические характеристики. В целом требования к материалам с этой точки зрения сформулированы и введены в нормативы. Проводится сертификация материалов по токсикологическому воздействию на человека, основанная на измерении концентрации токсикантов, выделяемых материалом в окружающую среду. В случае непревышения санитарно-гигиенических норм - материал считается безопасным. При этом трудно учесть эффект длительного и совместного воздействия многих веществ. Науке уже известны эффекты накопления в организмах долгоживущих животных и человека токсичных веществ до уровня опасных концентраций при том, что их концентрации в среде обитания существенно ниже установленного санитарно-гигиенического уровня. К этим веществам относятся тяжелые металлы, особо токсичные хлорорганические соединения, радионуклиды. Тяжелые металлы могут содержаться в красках. Хлорорганические соединения - в полимерах, радиоактивные вещества - в арматурных металлах, бетонах, ароматические

соединения - в гидроизоляционных материалах, фенолформальдегиды - в теплоизоляторах, древесностружечных изделиях, обработанной древесине. Практически все материалы, изготовленные в процессе глубокой переработки сырья или подвергшиеся обработке обладают токсическими свойствами. Даже если уровень их воздействия находится в пределах санитарно-гигиенических норм, применять эти вещества необходимо с соблюдением мер предосторожности и в минимально возможных количествах.

Токсичные вещества бывают летучими и трудно летучими. Летучие - это вещества, которые в нормальных условиях газы, либо жидкости с температурой кипения несколько выше нормальной температуры. Трудно летучие - вещества, у которых температура кипения более 100°C. В нормальном состоянии - это жидкости или твердые вещества. Летучие вещества легко проникают через пористые материалы. Стены из дерева, кирпича и даже бетона не являются большим препятствием для них. В то же время стекло, полимерные пленки, полимерные материалы с замкнутыми порами представляют значительные препятствия для их прохождения. Направление прохождения через препятствие определяется разницей парциальных давлений. Через воздухопроницаемые материалы скорость прохождения определяется воздушными потоками.

Полиэтиленовая пленка, которая выполняет роль защиты от проникновения паров воды в строительные конструкции, одновременно может служить и защитой от прохождения летучих токсикантов, если они исходят из материалов, использованных внутри или вне стены. Полиэтиленовая пленка также успешно может быть использована для защиты от радона. С этой целью пленка без разрывов укладывается на пол и стены фундамента с внешней стороны, выполняя одновременно роль влагозащиты. Защитные свойства пленки от проникновения паров воды и летучих веществ намного превосходят другие материалы, используемые в строительстве. Но та же пленка не может рассматриваться как защитный барьер против многих труднолетучих соединений. Например, хлорорганические пестициды легко проходят через тонкие слои полимерных пленок, что используется в газовой хроматографии для отделения аналитического тракта от газов и паров воды.

Принципы устойчивого развития обращают особое внимание на увеличение долговечности строений, которая во многом зависит от степени гидроизоляции фундаментов, кровли, стен. Использувавшиеся ранее материалы (битумные мастики, рубероид и др.) не полностью соответствуют современным требованиям. Необходимы более надежные и долговечные материалы, либо в конструкции должна быть предусмотрена возможность ремонта и замены. Современный рынок предлагает большой выбор материалов, многие из которых соответствуют возросшим требованиям, но по значительно более высоким ценам. Несмотря на большие начальные затраты, использование высококачественных, долговечных изоляционных материалов, как правило, более выгодно, так как существенно снижает затраты на эксплуатацию и ремонт дома. Эти же выводы относятся ко всей группе перечисленных в заголовке материалов.

Глава 5. ТРАНСПОРТИРОВКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Транспортировка сырья и строительных материалов требует дополнительных затрат энергии, а следовательно ответственна за свою долю загрязнения окружающей среды. Масштабы расходов энергии на транспортировку могут быть видны из табл. 5.1.

Транспортировка на расстояния более сотни километров с учетом сопутствующих затрат может превышать расходы на производство материалов, а плечо подвозки сырья свыше 50 км может удвоить стоимость производства. Поэтому использование местных строительных материалов часто является альтернативой для выбора оптимальной организации строительного комплекса. Особенно это касается России с ее огромными расстояниями. Организованное в период индустриализации централизованное крупномасштабное производство требовало огромных масштабов перевозок. Объем перевозок по стране стал больше, чем в Соединенных Штатах Америки, при более низком объеме производства. Кроме того централизованное производство с целью экономии средств заставляет уплотнять и концентрировать строительство вдоль крупных транспортных магистралей, что часто несовместимо с созданием здоровой среды обитания.

Т а б л и ц а 5.1

Затраты энергии на перевозку материалов различными видами транспорта, мДж-км/т [28]

Вид транспорта	Англия	Индия
Грузовой автомобиль	2,5	2,85
Специальный закрытый автомобиль	47,2	—
Железная дорога	0,5	0,9
Морской транспорт	0,7	0,09
Водный транспорт для внутренних водоемов	—	0,9
Трубопроводы	0,18	—

Производство материалов очень высокой энергии (металлы) выгоднее размещать у источников энергии. Производства большинства основных строительных материалов (цемент, бетон, кирпичи, изделия из древесины) экономически выгоднее размещать вблизи источников сырья, т. к. его транспортировка дороже, чем транспортировка энергии и готовой продукции. Этот принцип обычно используется в организации крупных производств, но он собственно должен быть перенесен и на организацию оптимальных с точки зрения затрат строительных комплексов, использующих местное сырье и мини-технологии. Некоторые затраты на организацию мини-производства во многих случаях оправдываются сокращением транспортных перевозок, а следовательно, меньшим загрязнением окружающей среды.

С другой стороны, чем крупнее производство, тем ниже себестоимость производства и выше качество. Поэтому оптимальное планирование не должно сбрасывать из рассмотрения крупномасштабные производства с дальней транспортировкой, но рассматривать оба варианта, каждый из которых может оказаться выгодней при определенных обстоятельствах и требованиях. Очевидно, расходы при дальней транспортировке снижаются планированием наиболее оптимальных путей перевозки и выбором вида транспорта. В то же время небольшие производства могут оказаться стратегически выгодней, так как обладают большей гибкостью, чаще соответствуют целям социального развития территорий и укладываются в общемировую стратегию миниатюризации технологий. С точки зрения устойчивого развития мини-производства предпочтительней, так как содействуют локально-устойчивому экономическому и социальному развитию территорий.

Для малоэтажного строительства некоторые требования к материалам существенно снижаются. Например, несущая способность, требования к точности размеров и ряд других. Появляется большая возможность снизить затраты на строительство собственным трудовым вкладом. В этих условиях снижение транспортных расходов путем использования местных материалов и мини-технологий может обеспечить реальную возможность строительства доступного по стоимости жилья, что и практикуется во многих развивающихся странах [55]. Проблема, которую необходимо решать при такой организации, состоит в том, чтобы повысить контроль качества материалов и строительства и минимизировать использование энергии и ресурсов в процессе строительства и эксплуатации жилья.

Глава 6. ВТОРИЧНЫЕ ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Продление срока жизни материалов увеличением долговечности построек, а также вторичным использованием материалов после окончания срока жизни построек является способом существенного повышения эффективности использования и экономии энергии. Учитывая сокращение затрат на захоронение отслуживших материалов и то, что при вторичном использовании основные затраты энергии уже были сделаны при первичном производстве, можно получить значительный экономический и экологический эффект.

Значительный потенциал экономии заключен также в использовании отходов при производстве строительных материалов. Хотя этот путь экономии общеизвестен и используется на наиболее передовых производствах, но еще в недостаточной степени. Неоправданно большое количество отходов идет в отвалы, загрязняя окружающую среду, особенно на небольших предприятиях. В первую очередь это продукты деревопереработки, отвалы бедных и пустых пород в сырьевой промышленности, отходы от сжигания угля на тепло- и электростанциях, отходы целлюлозно-бумажной промышленности, а также твердые хозяйственно-бытовые отходы. Многие из этих отходов могут быть использованы для производства строительных материалов и другой продукции при сравнительно небольших затратах энергии.

При современном уровне знаний каждый может построить цепочку малоотходных производств, связанных в единый технологический цикл. Но как показывает практика, такие комплексы существуют только в высокоразвитых странах, где действуют сильные правовые, экономические и общественные стимулы для экономии ресурсов и сохранения окружающей среды. В Скандинавских странах планируются не только безотходные производства, но и безотходные города, где производство и быт планируются как единый безотходный комплекс [19]. Причем это движение, начатое с небольших городов, распространяется на все более крупные города и принимает характер всемирного движения, известного как Экосити (Экогорода), которое поддерживается ООН.

Сложность планирования безотходных производств заключается в трудности сбалансирования экономически выгодных объемов производства и потребления. Чем крупнее предприятия, тем труднее достигнуть баланса. Отходы крупных добывающих предприятий или энергетических комплексов

настолько велики, что продукты вторичного производства при полном использовании отходов могут быть реализованы только на больших территориях при слишком больших транспортных расходах, которые часто перекрывают весь экономический эффект экономии переработки. Поэтому замкнутые, безотходные циклы производства и потребления выгоднее создавать на небольших предприятиях с возможностью быстрой смены производимой продукции и технологий, и это одна из существеннейших причин перехода к небольшим, но технологически совершенным производствам, размещаемым в местах, где возможно обеспечить прибыльную, сбалансированную и безотходную экономику.

Вторым направлением использования отходов должны быть местные производства по переработке привезенных или импортированных ранее и отслуживших свой срок изделий. Переработка металлолома чаще более выгодна на крупных предприятиях, так как это заложено в их обычную технологию и существует мировой рынок металлолома. Но отходы из древесины, полимерных материалов, бумаги, тканей вполне по силам организовать на небольших предприятиях. Как показывает мировая практика, при правильной организации такая переработка может быть экономически выгодной при хорошо организованной системе сбора и сортировки отходов. Во многих развитых странах сортировка бытовых отходов производится самим населением, что существенно удешевляет технологический цикл переработки.

Хорошим примером может служить демонстрационный дом в Ватерлоо (Канада) [56], в конструкции которого более, чем на 50% использованы продукты переработки. Общественная организация "Real Goods" с 1978 г. рекламирует и успешно распространяет материалы и товары, изготовленные в результате вторичной переработки [57]. Более низкая стоимость и сравнительно высокое качество этих товаров делает прибыльным этот экологический бизнес и решает проблему строительства доступного всем жилья при одновременной утилизации отходов, то есть в соответствии с принципами устойчивого развития.

Большие возможности в переработке и использовании малоценных исходных материалов открываются с развитием технологий активации связующих материалов методами механохимии [42], дающими возможность получать высококачественные строительные материалы из отходов добычи сырья, отходов энергетических производств, грунтов после выемки из котлованов для фундаментов, старых строительных материалов. В статье В.В. Зырянова достаточно подробно описаны процессы механической активации зольных частиц с одновременной сепарацией (удаление крупной фракции) с помощью электромассклассификаторов (ЭМК). Повышение и стабилизация качества достигается добавками (цемент, другие по составу золы) и перемешиванием (гомогенизацией смеси). На основе этих вяжущих может изготавливаться бетон невысоких марок, но вполне пригодный для малоэтажного строительства. Этот способ активации дает хорошие результаты при содержании в золах оксида кальция от 5 до 15%, что значительно расширяет используемые составы зол по сравнению с известным способом активации зольных частиц затворением 3%-м раствором хлорида кальция или соляной кислоты, который применим

только до 7%. Новый способ оптимален для зол уноса при сжигании бурых углей. Строительный камень, изготовленный на основе буроугольных зол, активированных чисто химическим способом, имеет прочность в зависимости от состава от 1 до 25 Мпа, а при активации с помощью ЭМК прочность возрастает до 5 - 30 Мпа. Добавка цемента поднимает нижнюю границу прочности (15 - 20 Мпа при добавке 15% цемента в золу в процессе активации). Прочность бетона на основе активированной буроугольной золы с содержанием 25 - 30% цемента в вяжущей смеси будет та же самая, как и при использовании только портландцемента М-400, если выдержаны более длинные сроки твердения для зольных вяжущих (28 суток). При этом используется в 5 - 10 раз меньше портландцемента. Расход энергии на производство зольного вяжущего незначителен и определяется затратами энергии на добычу и транспортировку составляющих для бетонных смесей и на производство цементных добавок.

Фактически, средствами механохимии можно улучшать характеристики большинства агрегатных строительных материалов и использовать низкокачественные материалы, которые всегда есть на месте строительства или в его ближайших окрестностях, в частности, улучшать качество грунтоблоков, керамики и др. Но в каждом случае это требует проведения исследований по известной методике и отработки технологии производства с учетом особенностей местных материалов.

Средствами механохимии активируются также устаревшие, либо бывшие в употреблении вяжущие материалы. Естественно, что технологии на базе механохимии имеют большое будущее в становлении принципов устойчивого развития, так как позволяют вторично использовать наиболее инертные и трудно поддающиеся переработке материалы. Фактически можно было бы рассчитывать на производство вяжущих из отходов выходящих из строя объектов строительства без дополнительной добычи новых сырьевых материалов по аналогии со сталью. Особенно это актуально для построенных в годы индустриализации городов, где качество и долговременность объектов приносились в жертву решения сиюминутных задач. В таких городах ветхий, подлежащий сносу фонд достигает 60% и более. Для замены этих зданий в короткие сроки по старым технологиям необходимо обеспечить производство новых и размещение использованных материалов в таких количествах, что приведет к существенному росту загрязненности среды обитания. Но так как замена старого на новое жилье является необходимым условием развития нашей страны, то безусловно нужен новый подход к производству строительных материалов и технологиям строительства, то есть к вторичному использованию материалов.

Методы механохимии требуют организации производства стабилизирующих добавок, которые составляют в общем объеме не более нескольких процентов. Если учесть, что механохимические процессы проводятся в закрытых установках без токсичных отходов и энергия используется только для процессов перемешивания без фазовых переходов, то появляется возможность обеспечить стройиндустрию материалами высокого качества с низкой энергоемкостью. Экономия

энергии может достигать от нескольких до 10 раз при неограниченных запасах вторсырья.

Использование отходов производства деревообработки широко практикуется во всем мире, но в нашей стране эти возможности реализованы еще далеко не полностью. Опилки, стружки, отрезки могут служить в качестве наполнителей для бетонов [9]. Хотя его прочностные свойства несколько уменьшаются, но остаются еще достаточными для применения в малоэтажном строительстве. При этом улучшаются некоторые полезные свойства: повышается теплосоппротивление, уменьшается вес блоков, существенно снижается стоимость бетонных изделий. Так как бетон широко применяется в строительстве любых зданий, в этом направлении открываются неограниченные возможности применения и снижения стоимости производства материалов.

Отходы деревообработки широко используются в различного типа конструкционных и отделочных материалах [34]. Производство композитных материалов с использованием отходов древесины начинает превалировать в строительстве недорогого жилья, так как они обладают рядом преимуществ по стойкости к внешним воздействиям, долговечности и прочности по сравнению с материалами из чистой древесины. Примером могут служить фанера, древесно-, цементно- и гипсостружечные плиты и другие подобные материалы [9].

Вторичная переработка стекла также имеет энергетические преимущества перед производством стекла из агрегатных материалов. Переплавка стеклянного боя требует меньше энергии, чем изготовление нового. Бой низкосортного стекла может использоваться как наполнитель для особо прочных бетонов, уменьшая потребность в транспортировке кварцевого песка.

Большим потенциалом в сохранении энергии обладает вторичное использование полимерных материалов. При вторичной переработке тратится меньше энергии и выделяется существенно меньше токсичных веществ, чем при первичном производстве. Особенно выгодной может стать переработка полиэтиленовых пакетов и емкостей в качестве полимерных связующих в изготовлении полимербетонов и других строительных блоков, которые обладают очень высокой влагостойкостью и следовательно могут быть использованы в местах с повышенной влажностью и в качестве гидроизоляции. Температура нагрева в этом случае не превышает 200°C и энергия не тратится на реструктуризацию материала, поэтому эти материалы относятся к группе низкоэнергоемких. Естественно, использование полиэтиленовых отходов станет выгодным в случае организации сортировки отходов населением, либо централизованной сортировки в местах размещения и переработки отходов, и только после этого транспортировки к месту производства строительных материалов.

Глава 7. КРИТЕРИИ ВЫБОРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Многолетняя статистика по набору и количеству материалов, которые используются в строительстве жилых домов, дает весьма ограниченный список основных материалов. Дерево, бетон, кирпичи составляют 80% от общего количества материалов и они дают основной вклад в общее энергопотребление. Меньшая часть, включающая металлы, пластмассы, стекло, кровельные материалы, бумагу, ткани, краски, герметики, относится к разным группам по энергоемкости, воздействию на окружающую среду, способу производства, применению, стоимости. Их правильный выбор оказывает сильное влияние на качество современного строительства, поэтому проектировщик должен ориентироваться в характеристиках этих материалов при отсутствии твердо установленных стандартов. При этом надо учесть, что введение в рассмотрение и оборот новых материалов и технологий не вычеркивает старые материалы. Принципы устойчивого развития требуют минимизации воздействия на окружающую среду и минимизации использования энергии и ресурсов. Учет разнообразия территориальных, экономических, экологических и социальных условий при поиске оптимальных решений может привести к совершенно неожиданным, очень эффективным результатам. Поэтому наработанное человечеством разнообразие материалов и технологий является большой культурной ценностью, позволяющей выбирать оптимальные пути развития.

Распространенные ранее, но неиспользуемые в настоящее время материалы могут получить преимущества при проведении анализа с позиций устойчивого развития. Упомянувшиеся ранее рекомендации Центра ООН по развитию населенных пунктов (Хабитат) для развивающихся стран использовать преимущественно местные сырьевые ресурсы и традиционные технологии, чтобы ограничить импорт материалов и снизить стоимость жилья до доступного уровня вытекают из энергетического анализа проблемы. Цена энергии стала ценообразующим фактором для строительных материалов на мировом рынке. Материалы, производимые в развитых индустриальных странах на крупных заводах с высокой степенью переработки сырьевых ресурсов, требуют больших затрат энергии, к которым добавляются большие расходы энергии на транспортировку. Суммарные расходы выводят стоимость этих материалов за пределы экономически оправданных для развивающихся стран, кроме материалов, которые используются в небольших количествах, но их применение оправдано тем, что они существенно улучшают качество строительства. В табл. 7.1 приведено сравнение энергозатрат на дома с различной степенью использования промышленно произведенных строительных материалов.

Т а б л и ц а 7.1

Затраты энергии на строительство домов из различных материалов в Аргентине [28]

Тип дома из материалов	Материалы	Количество	Энергия для каждого материала, мДж	Полная энергия, мДж	Затраты энергии на 1 м ² , мДж/м ²
Промышленно изготовленных	Цемент, кг	10159	40636	126690	1583
	Песок, м ³	29	9537		
	Известь, кг	279	11511		
	Кирпичи\ черепица, кг	21961	51828		
	Сталь, кг	880	3608		
	Камень, м ³	27,4	9042		
	Окна\двери		528		
Частично промышленно изготовленных	Цемент, кг	14780	59120	105162	1314
	Песок, м ³	42	13761		
	Известь, кг	1584	14292		
	Сталь, кг	525	2152		
	Камень, м ³	38	12672		
	Кровельные материалы, м ²	96	2640		
	Окна\двери		528		
Местных	Грунт, кг	77360	147	47224	590
	Цемент, кг	5386	21544		
	Песок, м ³	18,5	6105		
	Известь, кг	1079	9711		
	Дерево, м ³	10,1	477		
	Камень, м ³	18,4	6072		
	Кровельные материалы, м ²	96	2640		
	Окна\двери		528		

В домах, построенных из местных материалов с большой долей ручного труда, затраты энергии в несколько раз ниже.

Оптимизационный подход, конечно, отличается от типового проектирования и усложняет задачу проектировщика. Необходимо найти один или ограниченное количество оптимизационных критериев, чтобы задача была разрешима. В работе [28] в качестве единого критерия для оптимизации предлагается использовать минимум энергии полного жизненного цикла материалов - принцип «от колыбели до могилы», который включает затраты энергии на производство материалов, транспортировку, подготовительные и строительные работы и утилизацию

материалов после окончания срока эксплуатации. Чем меньше потребление энергии, тем выгоднее использовать материал. Решение принимается по минимизации всех затрат, но промежуточный анализ необходимо проводить для каждой стадии отдельно. Причем сравнение и выбор основных конструкционных материалов должен включать анализ затрат энергии не только на единицу массы материала, а по минимизации затрат энергии для достижения требуемых характеристик конструкции: прочности, теплосопrotivления, влагостойкости и др. В табл. 7.2 и 4.4 приведены сравнительные данные по удельным затратам энергии для достижения единичных прочности и теплосопrotivления ограждающих конструкций. Сравнение этих, а также данных в табл. 7.1 и 7.3 подтверждает большой потенциал сбережения энергии при оптимальном выборе материалов и организации строительства. Приведенные цифры взяты из разных источников и зависят от многих обстоятельств, поэтому они могут быть использованы только для ориентировочных оценок. Для точных расчетов они должны быть приведены в соответствие с условиями и временем проектирования на базе местных действующих нормативов и сведений.

Т а б л и ц а 7.2

Затраты энергии на единицу прочности строительных материалов [28]

Материал	Модуль упругости E, мН/м ²	Плотность	Энергия на производство единицы массы, кг/м ³	Затраты энергии на единицу прочности (E)
Древесные пиломатериалы	110000	500	1170	53
Бетон	14000	2400	720	124
Кирпичи	30000	1800	2800	167
Железобетон	2700	24000	8300	738
Сталь	210000	7800	43000	1598
Алюминий	70000	2700	238000	9180

Т а б л и ц а 7.3

Сравнение затрат энергии на строительство односемейных и многоэтажных жилых домов в США [28]

Затраты энергии на единицу площади, мДж/м ²	Жилой дом	
	Односемейный каркасный (США)	Многоэтажный
Прямые на строительные работы	422	695
На подготовку и вспомогательные работы	262	239
Общие	684	934

Аналогичным образом можно проводить анализ на минимум затрат энергии по всем остальным характеристикам элементов конструкции дома,

обеспечиваемых отделочными, гидроизоляционными, влагозащитными материалами, герметиками, клеями, оборудованием, выбирая те основные технические характеристики, которые определяют качество по основному предназначению материалов. Конечно, эффективность такого анализа зависит от отношения затрат энергии на производство и применение анализируемого материала к общим затратам в доме. В случае незначительного вклада энергетический анализ нецелесообразен, что резко ограничивает объем аналитической работы, сосредотачивая его только на основных энергопотребляющих материалах. Но необходимо иметь в виду изменения этих соотношений при переходе к новым конструкциям. Если раньше теплоизоляционные материалы составляли незначительную часть полной энергии, то в современном каркасном доме они отвечают уже за 20% и более полных затрат энергии и поэтому анализ теплоизоляционных материалов с точки зрения минимизации энергии стал необходим. Основные затраты энергии по различным типам материалов, оборудования и строительных работ в односемейном жилом доме в США распределены следующим образом [28], %:

- бетон - 3,37,
- камни - 2,3,
- дерево - 9,81,
- теплоизоляция/влагозащита - 20,02,
- двери - 6,41,
- отделочные материалы - 9,26,
- строительные работы - 12,50,
- благоустройство территории и подвод коммуникаций - 9,05,
- инженерное оборудование - 27,27.

Суммарное энергопотребление на единицу площади составляет 5023 мДж/м². В домах Аргентины распределение затрат энергии совершенно другое и для России оно тоже будет существенно отличаться. К тому же приведенное выше распределение в свою очередь обладает значительным потенциалом энергосбережения, так как здесь используются материалы исключительно промышленного изготовления и строительство проводится наемными рабочими и инженерами.

Отделочные материалы хотя и составляют значительную часть энергетических затрат в доме, но при их выборе чаще отдается преимущество другим критериям: эстетическим и экологическим, хотя и в этом случае, как и в случаях материалов, обеспечивающих качество соединений, защиту от вредных воздействий и др., чем выше качество, тем меньше расход материалов, тем меньше вклад в общее потребление энергии. Здесь ситуация аналогична с полимерной теплоизоляцией, применение которой энергетически выгодно, хотя ее производство относится к группе высокоэнергоемких материалов.

Если исходить из современных и все увеличивающихся требований на теплоизоляцию дома, то можно сказать на основании приведенных в обзоре данных, что дома с деревянными и, возможно, с железобетонными каркасами и дома с литыми стенами из высококачественного бетона с теплоизоляцией современными легкими утеплителями имеют определенное преимущество перед остальными конструкциями. Но этот вывод может

быть сделан только в среднестатистическом смысле. Оптимальный состав материалов может существенно измениться в зависимости от затрат на транспортировку и от других требований к архитектуре дома, в том числе и необходимости затрат на утилизацию материалов после окончания срока эксплуатации дома.

Одно из важнейших требований к дому и один из основных параметров энергетического анализа - долговечность жилища. Каменные и грунтовые дома существенно долговечней деревянных, и энергетические затраты на добычу камня и грунта невелики, если они добываются вблизи строительства. В этом случае затраты энергии, отнесенные к временному интервалу эксплуатации дома как жилища, могут быть сравнимы или меньше, чем других типов домов. Деревянные каркасные дома имеют меньший срок эксплуатации, но затраты на их строительство, разборку и перестройку существенно ниже, чем каменных, поэтому они могут иметь преимущества в тех случаях, когда определяющими факторами являются минимальная величина капитальных вложений и их быстрая окупаемость, а также когда обоснованы преимущества быстрого развития и связанной с ними необходимости перестройки жилища.

Серьезным временным ограничением для быстрого обновления жилых домов будет срок возобновления природных ресурсов. Сроки восстановления высококачественной дикорастущей древесины больше, чем срок эксплуатации жилища из древесных материалов, поэтому без организации сбалансированного цикла строительства и восстановления на базе местных ресурсов путь быстрого обновления не соответствует критериям устойчивого развития. В этом случае встает вопрос не только использования долгосрочных материалов для строительства, но и планирования самого жилища так, чтобы оно обеспечивало достойные условия жизни на длительную перспективу.

Необходимой характеристикой в энергетическом анализе является отношение полной энергии, затраченной на производство материалов и строительство дома, к ежегодным затратам энергии на эксплуатацию дома. Эта величина характеризует важную экономическую категорию - время окупаемости затрат на строительство дома. В развитых странах это соотношение меньше, в развивающихся больше для равнозначных домов [28].

Естественно, невозможно назвать конкретную величину энергопотребления для всех проектов, так как слишком разнообразны условия и требования к проектам домов, но проведение энергетического анализа и минимизация энергопотребления при удовлетворении основных требований к проектируемым домам безусловно дает возможность на основании единого критерия решать целый комплекс сложных проблем, возникающих при переходе к устойчивому развитию мирового сообщества и отдельных регионов.

Важность энергетического анализа также зависит от рода решаемых проектировщиком задач: организация перспективного строительства, проект застройки значительной группы домов или проект и строительство одного дома. В последнем случае, очевидно, проектировщик будет вынужден удовлетворять нормативным требованиям выбором наиболее дешевых материалов, имеющихся в розничной продаже на местном рынке.

Возможности энергетического анализа в этом случае будут ограничены. В первых двух случаях эти возможности намного шире, так как появляется возможность более дешевой оптовой поставки и, что важнее организации собственного производства строительных материалов вблизи места строительства [6, 58]. Как уже ранее отмечалось, при удаленности от крупных производств на 400, а иногда и на 200 км более выгодно производить основные строительные материалы с помощью мини-заводов и заводов средней мощности, расположенных в непосредственной близости от строительной площадки. В этом случае также становятся выгодными организация переработки строительных отходов и планирование замкнутых циклов использования природных ресурсов.

До 80% энергии, затрачиваемой на создание дома, приходится на строительные материалы. (В США затраты на материалы составляют до 60% [28].) Со снижением затрат на материалы в современном доме снижаются затраты энергии и на строительство. Несмотря на то, что в развитых странах приобретен значительный опыт проектирования и строительства энергоэффективных домов, еще остается существенный потенциал энергосбережения во всех элементах конструкции домов, поэтому проектировщики и архитекторы проводят энергетический анализ всех вновь проектируемых домов в соответствии с требованиями строительных правил [9, 35]. Ограничение энергопотребления часто вводится в качестве нормативной величины, на основании которой исчисляется прогрессивное налогообложение, стимулируя через сбережение энергии соблюдение принципов устойчивого развития. Возможности энергосбережения при проектировании были нами ранее рассмотрены в аналитическом обзоре [12].

В США энергетические нормативы, стимулирующие энергосбережение, отнесены к компетенции штатов и рассчитываются из достигнутого в лучших проектах. Прогрессивные нормативная база и стандарты являются мощным стимулом развития особенно в развивающихся странах [59]. Своевременное введение в нормативы и расширение базы энергосберегающих строительных материалов оказывает кардинальное влияние на развитие строительства.

В России при недостатках нормативной и отсутствии современной информационной баз, при недостаточно развитой технологии современного проектирования, позволяющей многократные энергетические просчеты, введение каких-либо жестких энергетических нормативов, очевидно, преждевременно, но энергетический анализ был бы крайне полезен, так как дома, построенные по российским проектам, обладают в несколько раз более высокой энергоемкостью и большим потенциалом энергосбережения [12].

Полные затраты энергии на строительные материалы включают затраты на разборку дома, транспортировку и утилизацию строительных материалов после окончания срока эксплуатации дома. С этих позиций больше энергии тратится на разборку железобетонных и литых бетонных конструкций. С точки зрения энергосбережения предпочтительней конструкции, выкладываемые из отдельных кирпичей или блоков на растворе. Строения из легких полимерных панелей и деревянные

конструкции требуют минимума энергии для разборки и утилизации материалов. Естественные материалы, которые используются без существенной промышленной обработки, не требуют, как правило, больших затрат энергии на утилизацию.

Этапы жизненного цикла по разборке домов и утилизации материалов не расписаны какими-либо правилами и должны каждый раз включаться в проект на основании изысканий местных промышленных и экономических условий при соблюдении минимума используемой энергии и воздействия на окружающую среду. Предпочтительней организация переработки материалов с целью их повторного использования в строительстве. Как уже отмечалось, переработка во многих случаях энергетически выгодней, чем производство материалов из вновь добываемого сырья. Это безусловно относится к металлам, полимерам, стеклу. Многие материалы могут быть повторно использованы как наполнители при приготовлении твердеющих смесей.

Ранее не раз подчеркивались преимущества тех или иных материалов, но обоснованное решение об их использовании может быть принято только на основании комплексного анализа при разработке конкретных проектов, учитывающих потребительские требования и местные условия. Критерии минимизации энергии должны быть соотнесены с техническими требованиями, действующими нормативами, эстетическими критериями, безопасностью жилища, местными традициями, местными сырьевыми и энергетическими условиями, долговечностью строений, возможностью местной утилизации материалов и отходов. Абсолютно неприемлемыми могут быть только материалы и технологии, несущие угрозу деградации окружающей среде и здоровью обитателей дома. Чрезмерное использование древесины тоже ведет к деградации окружающей среды, поэтому в случае ее использования в крупных проектах также должен быть произведен анализ возможности восстановления ее запасов без ущерба природе. Ненарушение именно местных балансов в природе является одним из основополагающих принципов устойчивого развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стратегии перехода к устойчивому развитию для стран и регионов должны быть разными и соответствовать их уровню социального, экономического и культурного развития. Кроме внешних стимулов, создаваемых международными решениями и практикой, должны быть внутренние стимулы, которые заставляют элиту и наиболее активную часть населения действовать в соответствии с принципами устойчивого развития. Для промышленников и предпринимателей должна быть экономическая выгода, для интеллектуалов - моральная и для большинства населения - существование в более здоровой среде обитания. Эти выгоды пока существуют только в высокоразвитых странах либо странах, основной доход которых идет за счет туризма. Для стран с нестабильной экономикой и еще не сложившимися во всех сферах рыночными отношениями должны быть выработаны свои механизмы перехода к устойчивому развитию. Особенно это важно в сфере обеспечения населения достойными жилищными условиями. Необходимо проводить такую политику, которая сделала бы доступным жилье с современным уровнем удобств и здоровой средой обитания без ущерба окружающей среде для максимального числа членов развивающегося общества. Это возможно только при минимизации общественных затрат при обеспечении высокого качества строительства, т. е. использования самых современных знаний и лучшего мирового опыта. Обычный способ минимизации затрат, основываясь только на стоимостном анализе с использованием действующих рыночных цен, чаще всего не дает решения, так как выводит стоимость жилья за пределы, доступные для большинства. Тем более рыночная конъюнктура не дает гарантий окупаемости вложенных средств в экономически оправданные сроки. В отличие от развитых стран, где окупаемость составляет 15 - 20 лет, в развивающихся странах она превышает 30 лет, когда износ строения уже не позволяет его реализацию даже по себестоимости. Поэтому вложение средств населения в строительство собственных домов по схеме развитых стран не рентабельно. В то же время в развивающихся странах при остром дефиците жилья значительно больше свободных рабочих рук и существенно меньше оплата труда, поэтому в них гораздо выгодней заменять энергоемкие материалы на материалы производимые с большой долей ручного труда. Можно добиться снижения затрат энергии в несколько раз, и если вспомнить, что на материалы затрачивается до 70%

энергии при строительстве дома, то можно снизить полные затраты энергии в 2 раза только выбором материалов и организацией строительства.

Снижение использования энергии в строительстве перспективное направление, так как цены на энергию растут быстрыми темпами и нет причин для их снижения, а стоимость строительства все больше определяется затратами энергии. Экономия энергии становится с каждым годом все более выгодной для любого производства и существенно лучше, чем рыночная цена изделия, позволяет оценить не только чисто экологический эффект, но и экономический на длительную перспективу, когда энергосбережение безусловно станет неперенным атрибутом повседневной жизни. Но не надо думать, что снижение энергопотребления выгодно только развивающимся и бедным странам. Для самых развитых стран необходимо тоже решать проблему энергосбережения и обеспечения беднейшей части населения достойным жильем. Строительство дешевых домов своими силами из местных материалов, которое почти заглохло в середине XX в., снова начинает возрождаться в США, Канаде, Скандинавских странах.

Строительство дома своими руками всегда было сильнейшим побудительным стимулом для многих людей. Обеспечив людей необходимыми знаниями и технологиями, которые могут существенно облегчить труд и снизить затраты на строительство, помогая людям находить наилучшие решения, можно существенно продвинуться на первом этапе перехода к строительству домов в соответствии с принципами устойчивого развития. Уже на их опыте такое строительство должно перейти на путь массового, когда будет выработана соответствующая нормативная база, подготовлено достаточное количество специалистов, налажено производство мини-заводов и оснастки. Безусловно, государство должно обеспечить начало этого процесса, так как он относится к проблемам стратегического развития нашего общества, ключевым вопросом провозглашенного правительством перехода к устойчивому развитию. Чем быстрее принципы устойчивого развития будут использованы в практике проектирования и организации строительства, тем успешнее будет переход.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Авдорин Александр Валентинович — директор АОЗТ "ЭКОДОМ"
(ГИПРОНИИ СО РАН)
630090, г. Новосибирск,
ул. Николаева, 8, т. 35-76-29.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.): Информ. обзор / СО РАН. - Новосибирск, 1992.
2. Встреча на высшем уровне. Программа действий. Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении / Сост. Майкл Китинг. Публикация Центра "За наше общее будущее". Напечатано SRO-Rundig S.A. - Женева, Швейцария, 1993.
3. Publications Catalogue 1993. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat), 1993. - 58 p.
4. A Compendium of Information on Selected Low-cost Building Materials. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1992. - 106 p.
5. Standards and Specifications for Local Building Materials: Technical Papers presented at the ARSO/CSC/UNCHS Workshop, Nairobi, 16-24 March 1987. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1992. - 110 p.
6. Bibliography on Local Building Materials, Plants and Equipment. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1982. - 253 p.
7. Development of National Technological Capacity for Production of Indigenous Building Materials. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1991. - 83 p.
8. Endogenous capacity-building for the production of binding materials in the construction industry - selected case studies. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1993. - 124 p.
9. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. - М.: Триада, 1995. - Т. 1. - 495 с.
10. Brown R.J., Yanyck R.R. Introduction to Life Cycle Costing / Prentice-Hall, New Jersey, USA, 1985.
11. Super Energy Efficient Homes (SEEH). Program - R-2000 / Canada Mortgage and Housing Corporation. - Ottawa, Canada, 1982.
12. Экологическое домостроение. Проблемы энергосбережения: Аналит. обзор / А.В. Аворин, И.А. Огородников, Г.В. Чернова, Е.А. Чиннов; СО РАН. ГПНТБ, ИТ, ГипроНИИ, АОЗТ "Экодом". - Новосибирск, 1997. - 71 с. - (Сер. «Экология». Вып. 43).
13. Hawken P. The ecology of commerce: a declaration of sustainability. Printed by HarperBusiness / a division of HarperCollinsPublishers. - New York, 1993. - 250 p.
14. Жилье в интересах устойчивого развития. Всемирный день Хабитат / Информ. обзор для средств массовой информации. Центр ООН по населенным пунктам (Хабитат). - Найроби, 1992.
15. Доклад конференции ООН по населенным пунктам (Хабитат II), 7 августа 1996 г. Изд. Центром ООН по населенным пунктам (Хабитат). - Найроби, 1996. - 271 с.
16. Джевонс Д. Как выращивать больше овощей... - М.: Пресса, 1993. - 176 с.

17. Грац Р. Город в Америке: жители и власти. - М.: Ладья, 1995. - 320 с.
18. Городская среда. Технология развития: настольная книга/ В.Л. Глазычев, М.М. Егоров, Т.В. Ильина и др. - М.: Ладья, 1995. - 240 с.
19. Innovative policies for sustainable urban development: project on ecological city. Final report / Susan Parham, Josef Konvitz, Knut Felberg. - UNCHS (Habitat). - Nairobi, 1996. - P. 141.
20. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию: Указ Президента Российской Федерации // Российская газ. - 1996. - 9 апр.
21. Human Settlements and Sustainable Development: The Role of Human Settlements and of Human Settlements Policies in meeting Development Goals and in Addressing the Issues of Sustainability at Global and Local Levels. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1990. - 60 p.
22. Shelter for All. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1990. - 29 p.
23. Energy Efficiency in housing construction and Domestic Use in Developing Countries. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1991. - 47 p.
24. Жилище: Государственная целевая программа России // Собрание актов Президента и Правительства РФ. - 1993. - N 28.
25. Свой дом: Федеральная целевая программа 27.06.1996, N 753 // Российская газ. - 1996. - 7 июля.
26. Свой дом. Проекты малоэтажных жилых домов, доступных для всех категорий граждан / Минстрой России, ЦНИИЭПграждансельстрой. - М., 1997. - 116 с.
27. Нормативные документы и извлечения из них по вопросам энергосбережения. / Минстрой России. - М., 1997. - 12 с.
28. Energy for building, UNCHS (Habitat). - Nairobi, 1991. - P. 104.
29. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник в 2 частях. - М.: Металлургия, 1988. - 760 с.
30. Наше общее будущее: Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР). - М.: Прогресс, 1989. - 372 с.
31. Деревянные конструкции и детали / В.М. Хрулев, К.Я. Мартынов, С.В. Лукачев, С.М. Шутов. - М.: Стройиздат, 1983. - 288 с.
32. Хрулев В.М. Модифицированная древесина в строительстве. - М.: Стройиздат, 1986. - 112 с.
33. Ramsey/Sleeper architectural graphic standards / Ramsey, Charles George. Ed. John Wiley&Sons. - New York, USA. - 1988. - 854 p.
34. Building with Alternatives to Lumber and Plywood // NAHB Research Center. Home Builder Press.- Washington DC, USA, 1994.
35. Юрмалайнен П. Строим сами деревянный дом: Справочное пособие: пер. с фин. - М., Стройиздат, 1992.
36. Basic Home Bilding. An Illustrated Guide // Ortho Books - San Ramon, CA, USA, 1991. - 352 p.
37. Energy-Efficient Housing Construction / Canada Mortgage and Housing Corporation. - Ottawa, Canada, 1982.
38. Vertical-shaft limekiln technology. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1993. - 82 p.
39. Small-scale production of portland cement. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1993. - 81 p.
40. Ячеистый бетон "Ytong": Рекламный проспект / Завод "Сибит". - Новосибирск, 1996.
41. Питерсон Ю.Н. Экодом: Рекламный проспект. - Новосибирск, 1996.
42. Зырянов В.В. Решение глобальных экологических проблем на основе локальных технологий производства композиционных строительных материалов для

экологического домостроения // Химия в интересах устойчивого развития. - 1995. - Т. 3, N 3.

43. Sustainable Residential Developments Planning, Design and Construction Principles. Affordable Homes Program / A. Friedman, V. Cammalleri, J. Nicell et al. // School of Architecture. McGill University. - Montreal, Canada, 1993.

44. Easton D. The Rammed Earth House / Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, Vermont. - 224 p.

45. Earth Construction Technology. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1992. - 200 p.

46. Bibliography on Earth Construction. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1989. - 100 p.

47. Bibliography on Soil Construction. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1990. - 173 p.

48. Шепелев А.М. Как построить сельский дом. - М.: Россельхозиздат, 1981. - 351 с.

49. МакДональд С.О., Мирман М. Стройте дом из соломенных блоков / Ин-т солнечной энергии. - Карбондейл: Колорадо, США. - 60 с.

50. The Straw Bale House / A.S. Steen, B. Steen, D. Bainbridge, D. Eisenberg // A Real Goods Independent Living Book. Chelsea Green Publishing Company, White River Junction. - Vermont, USA. - P. 297.

51. The Last Straw. - Tucson, AZ, USA. - Spring 1996. - N 14. - 44 p.

52. Пеноизол теплоизоляционный: Технические условия. ТУ 5768-001-18043501. М., 1993. - 11 с.

53. Умнякова Н.П. Как сделать дом теплым. - М.: Стройиздат, 1992. - 320 с.

54. Pocket Handbook for Air Conditioning, Heating, Ventilation and Refrigeration. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning (ASHRAE). 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, Georgia, 30329, USA. - 1987.

55. Small-scale Building Materials Production in the Context of the Informal Economy. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1984. - 40 p.

56. Wayne G. Green Home // Camden House. - Ontario, Canada, 1993.

57. Solar Living Source Book. The Complete Guide to Renewable Energy Technologies and Sustainable Living / J. Schaeffer and et al., Ed. Chelsea Green Publishing Company, White River Junction. - Vermont, USA, 1994. - P. 402.

58. The Use of Selected Indigenous Building Materials with Potential for Wide Application in Developing Countries. Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, 1985. - 70 p. 59. Baris Der-Petrosian. Importance of appropriate building codes and regulations in improving low-income settlements conditions in african region // United Nations Centre for Human Settlements (Habitat). - Nairobi, NETWORK. - 1995. - Vol. 3, N 395. - P. 1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. СТРАТЕГИЯ ПЕРЕХОДА К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	8
Глава 2. ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....	16
Глава 3. ЭНЕРГИЯ ПОЛНОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	21
Глава 4. ОСНОВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	25
4.1. Дерево.....	25
4.2. Вяжущие вещества. Цемент	30
4.3. Бетон	34
4.4. Кирпичи, керамические изделия	36
4.5. Естественный камень.....	39
4.6. Стекло	40
4.7. Металлы.....	43
4.8. Грунт.....	43
4.9. Солома, растительные материалы.....	46
4.10. Теплоизоляционные материалы	47
4.11. Отделочные, гидроизоляционные, кровельные материалы	53
Глава 5. ТРАНСПОРТИРОВКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	55
Глава 6. ВТОРИЧНЫЕ ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ.....	57
Глава 7. КРИТЕРИИ ВЫБОРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	68
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ	69
ЛИТЕРАТУРА.....	70