



Повышение энергоэффективности зданий

АВТОР: ЛАУРИ МИККОНЕН



Повышение энергоэффективности зданий

АВТОР: ЛАУРИ МИККОНЕН

ПЕРЕВОДЧИК: СТЕПАН ЛАППО

РЕДАКТОР: ЭВА ПОНГРАЦ

РЕДАКТОРЫ РУССКОГО ПЕРЕВОДА: ВИКТОР ПАВЛОВ, ЕЛЕНА ФЕДОРОВА



Проект «Зеленые города и поселения» финансируется
Европейским Союзом, Российской Федерацией и
Финляндской Республикой



Centre for Economic Development,
Transport and the Environment



Графический дизайн: Ханнеле Хейккиля-Туомаала
Фотографии Лаури Микконена
Напечатано в Juvenes Print Oulu, 2014
ISBN 978-952-62-0408-6

Оглавление

1	Введение	5
2	Компоненты энергоэффективных зданий	7
3	Проектирование зданий и ограждающих конструкций	9
	3.1 Место расположения	9
	3.2 Архитектурные решения	9
	3.3 Ограждающие конструкции	10
4	Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха	15
	4.1 Отопление	15
	4.2 Охлаждение	17
	4.3 Вентиляция и кондиционирование воздуха	18
	4.4. Нагрев и распределение воды	19
5	Электричество и системы автоматизации в зданиях	21
	5.1 Электричество и освещение	21
	5.2 Автоматизированные системы управления	22
6	Применение возобновляемой энергии в зданиях	25
	6.1 Биомасса	25
	6.2 Геотермальная энергия	26
	6.3 Солнечная энергия	26
	6.4 Ветер	27
	6.5 Накопление энергии	27
7	Энергоаудит и учет затрат	29
	7.1 Класс энергоэффективности	29
	7.2 Экономические показатели	31
8	Требования жильцов и внутренний микроклимат	33
9	Типы энергоэффективных зданий	37
10	Заключение	39
	Список литературы	41



1 Введение

На сегодняшний день растущее количество загрязняющих веществ, возникающих вследствие жизнедеятельности человека стало причиной серьезного беспокойства. К примеру, загрязнение воздуха создает предпосылки для изменения климата, природных катастроф, нарушения в глобальных и локальных экосистемах, что может негативно влиять на здоровье человека. Процесс производства и потребления энергии является одним из основных источников этих проблем. Еще больше усугубляет ситуацию рост объемов потребления и цен на электроэнергию и топливо. В данной ситуации строительство зданий и сооружений с низким потреблением энергии можно рассматривать как один из самых быстрых и наиболее эффективных инструментов для обеспечения устойчивого развития.

Энергоэффективные здания потребляют меньше тепловой и электроэнергии, что способствует экономии топлива и других ресурсов. Применение в зданиях технологий повышенной эффективности значительно снижает выбросы парниковых газов и других вредных веществ, вырабатываемых при производстве и потреблении энергии. Следует отметить, что в энергоэффективных зданиях наблюдается улучшение микроклимата, что благоприятно влияет на здоровье потребителей. Вышеперечисленные факторы увеличивают стоимость энергоэффективных зданий по сравнению с обычными.

Для повышения энергоэффективности зданий и улучшения микроклимата в помещениях требуется произвести огромный

объем работ в строительной отрасли. На сегодняшний день требования к энергоэффективности зданий устанавливаются законодательством, что делает эту тему очень актуальной.

Более 40% от общего объема потребляемой энергии на территории Европейского Союза расходуется зданиями. В связи с этим строительство – одна из крупнейших отраслей, влияющих на изменение климата и другие экологические проблемы. Здания потребляют энергию в процессе эксплуатации, а также на этапе строительства. Таким образом, повышение энергоэффективности зданий является ключевым элементом в стратегии по борьбе с глобальными изменениями. (Martinkauppi 2010)

В холодном климате на отопление расходуется практически половина общей энергии, потребляемой зданиями. Отопление необходимо для поддержания комфортных внутренних условий, а также для получения горячей воды. Тепловая энергия вырабатывается отопительной системой (печи, электрические радиаторы), солнечным излучением, жильцами и электрическими приборами. Системы отопления могут работать за счет централизованного теплоснабжения или на различных видах топлива: древесине, жидком топливе и газе. При проектировании энергоэффективных зданий, выбор системы отопления играет важную роль, поскольку топливо производит большое количество вредных выбросов в процессе добычи и сжигания. (Martinkauppi 2010) В теплое время года помещения зданий нуждаются в охла-

дении для поддержания в них комфортных условий. В южных странах энергия, расходуемая на охлаждение составляет большую часть от общего объема потребляемой энергии. (Baueretal. 2010)

Электричество является важной составляющей потребляемой энергии. Оно необходимо для функционирования некоторых отопительных приборов, для их автоматизации, а также для работы бытовой техники, освещения и т.д. Затраты на освещение составляют значительную часть потребляемой электроэнергии, особенно в более темное время года, а также в муниципальных зданиях, таких как офисы. Большинство наших ежедневных действий (приготовление пищи, просмотр телевизора, зарядка телефона) не возможны без электричества. Затраты электричества в строительном секторе могут формировать до 50% от общего объема потребляемой электроэнергии. Электричество и централизованное теплоснабжение зачастую вырабатываются с использованием ископаемых видов топлива, таких как уголь, мазут и природный газ. В свою очередь энергоэффективные здания должны потреблять электроэнергию, произведенную с использованием возобновляемых источников энергии. (Baueretal. 2010)

Для работы системы вентиляции и кондиционирования воздуха также требуется электроэнергия. Система кондиционирования производит потоки теплого или холодного воздуха, а также может контролировать микроклимат в помещении. (Kreider 2001)

Зимой в холодных регионах из-за темноты и холода потребление электроэнергии достигает своего максимума. Пиковые нагрузки в жилых районах происходят в утренние и вечерние часы, когда люди наиболее активны и в основном находятся дома. В офисах часы пик обычно приходятся на дневное время, когда людям для работы необходимо освещение и вентиляция. (Energy Priorities 2006)

Целью данного отчета является создание общих рекомендаций и ознакомление с техническими инструментами при постройке энергоэффективных зданий. Кроме того, раскрывается понятие микроклимата в помещениях, и рассматриваются возможные источники возобновляемой энергии, пригодные для применения в зданиях. Акцент в данном отчете сделан на здания в северных районах, с холодным и относительно сухим климатом. ■

2 Компоненты энергоэффективных зданий

Энергоэффективные здания представляют собой сумму различных компонентов. В результате, помимо экономии энергии, они должны обеспечивать надлежащий микроклимат в помещениях, а также удовлетворять требованиям потребителей. Для достижения наилучшего результата должны быть найдены оптимальные энергоэффективные технологические решения. В качестве примера - большое окно, выходящее на южную сторону, увеличит количество дневного света и тепла, попадающего внутрь

помещения, но в зимний период оно может стать причиной теплопотерь.

Следует отметить, что использование возобновляемых источников энергии является неотъемлемым элементом энергоэффективных зданий.

При проектировании зданий с низким потреблением энергии должны быть учтены следующие факторы:

- *Качество воздуха в помещениях:*
 - Температурный комфорт
 - Влажность
 - Скорость движения воздуха
 - Химический состав воздуха
 - Микробиологический состав воздуха
 - Освещение и шум
- *Вентиляция и кондиционирование воздуха:*
 - Отопление
 - Свободная энергия
 - Охлаждение
 - Вентиляция
 - Рекуперация тепла
- *Структура здания:*
 - Изоляция
 - Герметичность
 - Термальная масса
- *Эффективность использования электричества:*
 - Использование дневного света и искусственного освещения
 - Эффективность бытовых приборов
- *Нагрев, распределение и потребление воды*
- *Архитектурные решения:*
 - Место расположения
 - Форма и размер
 - Ориентация
 - Дизайн фасада
- *Системы управления энергией:*
 - «Умные» дома





3 Проектирование зданий и ограждающих конструкций

3.1 Место расположения

В разных регионах климатические условия существенно различаются между собой, поэтому расположение здания играет важную роль при его проектировании. При этом также важно принимать во внимание региональные и местные климатические условия и необходимый микроклимат в помещениях. Кроме того, важными факторами, определяющими место под строительство также являются: топография, ландшафт, окружающие здания и растительность. (CIBSE 2004)

Основные климатические условия, которые необходимо учитывать на строительной площадке - это температура и влажность наружного воздуха; местные ветровые условия; количество солнечной радиации; сезонные и суточные колебания погоды. Климатические условия и температура наружного воздуха влияют на работу систем кондиционирования, а также являются решающими показателями при выборе теплоизоляции здания. Кроме того, топография, растительность и существование окружающих зданий могут влиять на местные ветровые условия, количество солнечной радиации, затенение и на загрязнение воздуха. Применение местных особенностей, например, пассивное использование солнечной радиации или получение электричества за счет энергии ветра может принести большую выгоду. (Bauer et al. 2010)

3.2 Архитектурные решения

Важной составляющей энергоэффективных зданий является архитектурная часть проекта. Форма здания во многом влияет

на потребление энергии. Применение подходящих архитектурных решений приводит к снижению зависимости от погодного фактора и потерь тепла через ограждения из-за уменьшения показателя компактности здания, как представлено на рисунке 1. В условиях холодного климата рациональная форма здания значительно экономит тепловую энергию зимой и позволяет наиболее успешно организовать системы вентиляции и кондиционирования (меньше воздушных потоков и т.д.). (CIBSE 2004, Bauer et al. 2010)

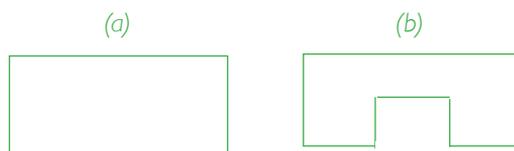


Рисунок 1. Простая форма (a) обычно является более энергоэффективной, чем более сложная (b)

Выбор ориентации здания является еще одной важной задачей для проектировщика. Конструкция должна позволять проникать внутрь солнечной радиации (свободной энергии) с юга, принося свет и тепло. Такое решение позволяет уменьшить потребность в искусственном освещении и обогреве в холодное время года. Таким образом, световые проемы большой площади, ориентированные на юг, могут быть очень полезны. Окна, выходящие на северную сторону, способствуют потере тепла и подвергаются воздействию холодных ветров, поэтому их размер и изоляция играют очень важную роль. С другой стороны, нельзя оставлять без внимания тот факт, что в течение лета

солнечная радиация может существенно нагревать здание, что увеличит потребность в охлаждении.

Таким образом, проект должен учитывать пассивные методы получения энергии для предотвращения избыточного расхода тепла и уменьшения применения охлаждения. Эти методы включают в себя применение, например, карнизов, маркиз и растительности. Лиственные растения могут использоваться для того, чтобы увеличить поступление солнечной энергии в зимний период, при сведении ее к минимуму в летний период. (Bauer et al. 2010, Motiva 2008)

Проект должен учитывать не только ориентацию световых проемов, но и их размер и количество, так как окна проводят значительное количество тепла и позволяют солнечной радиации проникнуть в здание, увеличивая количество дневного света и нагревая его изнутри во время холодных периодов. Во многих странах размер и количество остекляемых поверхностей ограничивается законодательством. Необходимо отметить, что более энергоэффективным решением будет установка одного большого окна вместо нескольких маленьких. (Motiva 2008, CIBSE 2004)

Как правило, северный фасад здания больше подвержен воздействию холодных ветров и дождя. В связи с этим здание должно быть защищено, например, с помощью растительности, других рядом стоящих построек, или путем размещения здания на возвышенности с ориентацией в южном направлении, если это возможно. Кроме того, планировка комнат играет немаловажную роль при проектировании энергоэффективных зданий. Как правило, комнаты, менее требовательные к отоплению (спальни, кладовки и т.д.), должны быть ориентированы на север, в то время как комнаты, требующие больше отопления (гостиные, офисы), должны быть ориентированы на юг. (Bauer et al. 2010)

Потребление электроэнергии в зданиях может быть уменьшено путем разумного проектирования искусственного освещения (его

размещения и количества), а также увеличением количества естественного освещения. Искусственное освещение следует использовать только тогда, когда не хватает естественного света. Кроме того, проект должен учитывать возможность применения отраженного от светлых поверхностей естественного света. (Bauer et al. 2010)

3.3 Ограждающие конструкции

Ограждающие конструкции образуют границу между внутренними помещениями зданий и окружающей средой. Как правило, ограждающими конструкциями считаются стены, пол, кровля, окна и двери. Конструкция здания также может включать в себя атриум. Ограждающие конструкции играют важную роль в вопросах энергоэффективности с точки зрения потерь тепла и переноса влаги. Внутри здания ограждающие конструкции находятся в комнатных условиях (температура, влажность, давление и т.д.), а снаружи они подвергаются воздействию окружающей среды (солнечная радиация, ветер, дождь, низкая температура и т.д.). Таким образом, все эти факторы необходимо учитывать при проектировании ограждающих конструкций. При расчете тепловых потерь нужно принимать во внимание, что они могут происходить не только посредством теплопередачи, но и путем теплоотдачи. (Hagentoft 2001)

Потери тепла через ограждающие конструкции можно предотвратить с помощью теплоизоляции. Наиболее важными факторами при проектировании теплоизоляции являются:

- коэффициент общей теплопроводности конструкции;
- общая площадь ограждающих конструкций;
- градиент температур между окружающей средой и помещениями зданий.

Утечки воздуха через ограждающие конструкции также могут существенно сказаться на потерях тепла и качестве воздуха в помещениях.

Теплоизоляция

Изоляция ограждающих конструкций здания необходима для того, чтобы избежать потери тепла и чрезмерного потребления тепловой энергии в холодное время года, а также передачу тепла в помещения от окружающей среды во время его охлаждения. Для удовлетворения этих требований тепловое сопротивление ограждающих конструкций здания должно быть максимальным. Правильная изоляция ограждающих конструкций может также снизить стоимость проекта, повысить тепловой комфорт и улучшить качество внутреннего воздуха. В условиях холодного климата из-за разницы температур тепло стремится покинуть здание, поэтому изоляция ограждающих конструкций является обязательной. (Seppänen 2001)

Стены, кровля и перекрытия

Стены, кровля и перекрытия являются основными ограждающими конструкциями зданий. При проектировании теплоизоляции стен и кровли необходимо учитывать разницу наружной и внутренней температур. При проектировании подвального перекрытия должны быть учтены его теплопроводность, а также тип почвы. Теплопроводность перекрытия, как правило, максимальна в углах здания, так как расстояние между полом и наружным воздухом в этих местах самое маленькое. (Turner & Doty 2007)

Потери тепла через ограждающие конструкции сильно зависят от толщины и физических свойств изоляционных материалов. Как правило, увеличение пористости материалов увеличивает количество содержащегося в них воздуха (теплопроводность воздуха 0,026 Вт/мК), что приводит к снижению теплопроводности всей конструкции. (Seppänen 2001)

Содержание влаги в материалах существенно увеличивает теплопроводность. Коэффициент теплопроводности воды выше, чем у воздуха, поэтому вода лучше проводит тепло и передает его материалу конструкции. Особенно этому подвержены пористые материалы. В холодном климате уровень влажности в зданиях зачастую выше, чем снаружи, поэтому требуется применение пароизоляции. Как

правило, пароизоляционный слой устанавливают как можно ближе к теплой поверхности здания. (Binggeli 2003)

Важными факторами, влияющими на теплопроводность изоляционных материалов являются окружающая температура и плотность материала. Для повышения термостойкости изоляционного материала в него добавляют специальный газ, устойчивый к высоким температурам. (Seppänen 2001)

Наиболее распространенными теплоизоляционными материалами являются минеральная вата, полистирол, вспененный полиуретан, легкий бетон и древесные волокнистые плиты. Факторами, влияющими на выбор теплоизоляционных материалов, являются его теплопроводность, цена, вес, химическая и механическая стойкость, безопасность, воздухопроницаемость, влагостойкость и огнестойкость. Общие значения теплопроводности изоляционных материалов представлены в таблице 1. (Seppänen & Seppänen 2004)

Таблица 1. Теплопроводность некоторых изоляционных материалов (Seppänen & Seppänen 2004)

Материал	λ (Вт/м*К)
Минеральная вата	0,041 - 0,045
Полистирол	0,041 - 0,055
Вспененный полиуретан	0,030
Бетон	1,7
Кирпич	0,6 - 0,7
Дерево (сосна, ель)	0,12

Все ограждающие конструкции здания должны быть равномерно утеплены. Изменения в структуре здания зачастую могут привести к увеличению теплопроводности на некоторых участках. Эти участки называются температурными «мостами». Ими являются, например, углы, металлическая арматура и балки каркаса. Образования температурных мостов следует избегать, так как они увеличивают теплопроводность и уменьшают местную температуру поверхности. Снижение температуры поверхности конструкции за счет более

высокой теплопроводности может способствовать конденсации влаги, что приводит к ряду проблем (например, образование плесени и увеличение стоимости проекта), поэтому изоляции этих участков должно быть уделено особое внимание. (Turner & Doty 2007, Seppänen & Seppänen 2004)

Оконные проемы

Количество, размеры и конструкция оконных проемов оказывают сильное влияние на потери тепла в зданиях, поэтому при выборе окон необходимо учитывать разнообразные критерии. Потери тепла через оконные проемы можно уменьшить, установив рамы с двойным или тройным остеклением (пространство между окнами может быть заполнено воздухом или инертным газом). Использование жалюзи и плотных штор снижает теплопередачу окон. Необходимо учитывать, что оконные рамы и другие части конструкции также могут проводить значительное количество тепла, особенно в старых зданиях. (Seppänen & Seppänen 2004)

Энергоэффективные окна должны иметь покрытие, которое позволит инфракрасному излучению из окружающей среды проникать внутрь здания, а излучению от предметов внутри здания отражаться от поверхности окон и оставаться внутри, предотвращая теплопотери. (Turner и Doty, 2007)

Дверные проемы

Двери также являются частью ограждающих конструкций здания, поэтому теплопотери через дверные полотна, дверные проемы и рамы также должны быть учтены при определении общих потерь тепла. (Seppänen 2001)

В Финляндии теплоизоляция зданий осуществляется в строгом соответствии с нормативными документами. Установлены верхние пределы теплопроводности для разных помещений. В жилых помещениях ($T \geq 17^\circ \text{C}$), коэффициент теплопередачи окон не должен превышать 1,8 Вт/м²К, а для других ограждающих конструкций 0,6 Вт/м²К. Для нежилых помещений ($T \leq 17^\circ \text{C}$) максимальный коэффициент теплопередачи для окон составляет 2,8 Вт/м²К. Как правило, изоляция

финских зданий гораздо энергоэффективнее этих показателей, особенно в новостройках. (Ympäristöministeriö 2010)

Герметичность

Понятие герметичность зданий описывает способность строительной конструкции препятствовать проникновению воздуха и влаги внутрь здания. Воздух может проникать из окружающей среды в помещения и наоборот: в зависимости от существующего перепада давлений и разницы температур между внутренним и внешним воздухом. Другие факторы, влияющие на герметичность и коэффициент утечек воздуха кут.в, описывающий ее, характеризуются свойствами материалов ограждающих конструкций и ветровым напором. Трещины в строительных материалах способствуют движению воздуха через строительные конструкции. (Bauer et al. 2010)

Утечки воздуха из помещений через ограждающие конструкции способствуют потере тепла. В теплое время года воздух из окружающей среды может проникать внутрь помещений, что приводит к потребности в охлаждении комнат. Кроме того, воздух, проходящий через ограждающие конструкции, нередко является причиной повышенной влажности и увеличивает количество загрязнений в помещениях. Таким образом, герметичность является важным показателем, который должен соответствовать установленным требованиям. (Turner & Doty 2007)

В зданиях с высокой герметичностью потери тепла ниже, а качество внутреннего воздуха обычно выше. Однако высокая герметичность ограждающих конструкций может быть причиной повышенной влажности в слабых местах конструкций (температурные «мостики»). По этой причине рекомендуется установка надежной системы вентиляции (как правило, с системой рекуперации тепла). Она позволяет избавиться от избыточной влаги и избежать появления плесени. Следует отметить, что система вентиляции поддерживает в помещениях более низкое давление, чем снаружи, уменьшая риск по-

падения влаги в структуру ограждающих конструкций, а также предотвращая избыточное проникновение воздуха внутрь здания. Кроме того, для избежания нежелательного движения воздуха в структуре ограждающих конструкций, необходимо применять ветрозащитную мембрану. В Финляндии максимальное значение коэффициента утечки воздуха составляет 4 м³/м²час. (Ympäristöministeriö 2012)

Термальная масса и специальные изоляционные материалы

Ограждающие конструкции могут накапливать тепловую энергию из окружающей среды (свободная энергия) и от внутренних помещений. Изменяя массу и теплоемкость строительных конструкций, можно влиять на термальную массу здания. Так, термически «тяжелая» конструкция здания может накапливать свободную энергию (например, солнечную) во время теплого летнего дня и отдавать ее внутренним помещениям в более холодное ночное время. Таким образом, воз-

можна экономия тепловой энергии в течение ночи. Материалами, которые можно отнести к «тяжелым», являются бетон, кирпич, камень и плитка. (Turner & Doty 2007)

Для увеличения количества накапливаемого тепла могут быть использованы светопропускаемые изоляционные материалы. Использование таких материалов наиболее целесообразно в холодном климате, где солнечное излучение, проникая сквозь прозрачный материал, будет накапливаться в более «тяжелом» материале. Также существуют изоляционные материалы, позволяющие определенному количеству воздуха проходить сквозь них. В этом случае происходит обмен тепловой энергией, накопленной конструкцией и приносимой воздухом. С помощью этого возможно контролировать тепловой поток через внутреннюю или наружную часть конструкции. Следует отметить появление нового вида теплоизоляционных материалов, способных изменять агрегатное состояние. (Seppänen 2001) ■



4 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха

Основной целью систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (климат-контроля) является обеспечение для потребителей комфортных условий в помещениях. Они отвечают за поддержание нужного уровня температуры (охлаждение и обогрев), влажности, а также фильтрации внутреннего и распределение свежего воздуха. Для поддержания этих условий необходима энергия. Следует иметь в виду, что энергоэффективные системы климат-контроля потребляют меньше энергии, обеспечивая при этом лучшее качество воздуха в помещениях, и, как следствие, повышение качества жизни. Эти системы можно разделить на активные и пассивные. Активные системы включают в себя все технические или механические решения, а пассивные системы включают немеханические решения. Также системы вентиляции и кондиционирования можно разделить на централизованные и децентрализованные.

4.1 Отопление

Отопление необходимо для поддержания требуемой температуры в помещениях. Оно составляет основную часть энергопотребления в строительном секторе, а также, в значительной мере, способствует образованию выбросов, производимых зданиями. Большая часть тепловой энергии в частных домах или в источниках централизованного теплоснабжения производится с использованием ископаемого топлива (например, природного газа, угля или мазута). Для повышения энергоэффективности необходимо перейти на использование возобновляемых источников

энергии. В этой главе мы кратко рассмотрим системы производства и распределения тепловой энергии и эффективные решения для них, а в главе 7 уделим больше внимания источникам возобновляемой энергии, которые применяются в строительстве.

Общая потребность зданий в тепле определяется необходимостью нагрева воды, теплопотерями через ограждающие конструкции, теплоотдачей в почву, оттоком тепла через систему вентиляции и через утечки воздуха. При оценке количества тепловой энергии, производимой зданиями, необходимо учитывать тепло, вырабатываемое людьми, электрическими и осветительными приборами. Тепло, выделяемое людьми, имеет большое значение в плотно населённых зданиях. Эта свободная энергия должна быть использована как можно эффективнее. (Serppänen 2001)

В Финляндии большая часть тепла для зданий поступает от источников производства тепловой энергии (ТЭЦ). По сравнению с индивидуальными отопительными котлами этот вид более крупных производственных объектов имеет ряд преимуществ: высокая эффективность и управляемость оборудования и меньшие затраты на топливо. Кроме того, использование тепловой энергии от ТЭЦ позволяет избежать загрязнения воздуха в жилой зоне. (Serppänen & Serppänen 2004)

Нередко в домах в целях получения тепла используются котлы, печи и камины. Благодаря высокой теплотворной способности и потребности в небольшом объеме, мазут, уголь и природный газ являются наиболее ча-

сто используемым топливом, но негативное воздействие на окружающую среду и рост цен на ископаемые виды топлива ограничивают их использование. (Turner & Doty 2007) Более предпочтительными видами топлива являются древесина, биогаз, пеллеты и другие виды биотоплива. Их недостатками являются высокая цена, низкая теплотворная способность и потребность в их большом количестве. Однако они вполне способны обеспечить здание теплом. Для повышения энергоэффективности системы применяют установки рекуперации и передачи тепла дымовых газов, например, в воду. Использование пеллет может предоставить реальную альтернативу использованию дерева или ископаемого топлива благодаря их высокой теплотворной способности, низкой цене, небольшого объема и низкому уровню выбросов. (Hirsilinna 2010)

Печи и камины аккумулируют тепло благодаря «тяжелым» материалам конструкции и нагревают окружающий воздух за счет излучения и конвекции. Также энергия от источника тепла может быть использована для нагрева воды, которая используется в качестве теплоносителя и обогревает дом, циркулируя в радиаторах. В качестве теплоносителя также можно использовать воздух, но чаще всего предпочтение отдается воде из-за ее высокой теплопередачи. (Seppänen & Seppänen 2004)

Вода может быть теплоносителем в разных видах радиаторов. Наиболее распространенным является панельный радиатор, который обычно помещается под окном во избежание сквозняков. Другим способом распределения тепловой энергии является использование пола с подогревом. Он дает возможность увеличить площадь теплоотдающей поверхности и решить проблему дискомфорта от холодного пола. Минус пола с подогревом в том, что мебель и ковровые покрытия частично блокируют передачу тепловой энергии, что существенно снижает его эффективность. Иногда система распределения тепла устанавливается на потолке. (Seppänen 2001)

Также отопление помещений может быть осуществлено при помощи электричества, используя конвекторы или нагревая теплоноситель (воду). Такие системы быстро реагируют на изменения температуры в помещениях. Кроме того, в Финляндии можно использовать более дешевый тариф на электроэнергию в ночное время путем накопления полученного тепла. Несмотря на это, электрическое отопление является не самым эффективным и дешевым способом получения тепловой энергии. (Turner & Doty 2007)

Существуют и другие эффективные системы для отопления зданий. Например, тепловые насосы могут гарантированно производить тепло в течение года, потребляя небольшое количество электроэнергии. Другими вариантами таких систем являются активные солнечные тепловые коллекторы и системы, основанные на использовании биомассы. (Awbi 2008)

Солнечная энергия может применяться в зданиях пассивно. Прямое попадание солнечных лучей является одним из вариантов, при котором оконные проемы позволяют коротковолновому излучению попасть в помещение, а большую часть длинноволнового излучения (тепла) отражают. Окна, как правило, ориентированы на юг с целью максимизации тепла. На количество накопленного тепла влияют такие факторы, как площадь поверхности стекла, тепловые потери через окна и коэффициенты поглощения тепла поверхностями в помещении. Избыточный нагрев от солнечного излучения можно устранить при помощи конструкций, создающих тень. Размеры окон должны быть оптимизированы таким образом, чтобы попадание прямых солнечных лучей было максимальным, а тепловые потери в зимний период минимальными. (Duffie & Beckman, 2006)

Строительные конструкции могут поглощать солнечное тепло. «Солнечные стены» могут поглощать солнечную радиацию и передавать поглощенное тепло в помещения посредством конвекции и излучения. Чаще всего составной частью этой конструкции является особый изоляционный материал, который

позволяет падающему излучению проходить внутрь поглощающей структуры. Изоляционный материал отделен от основной стены зазором в несколько сантиметров, который может быть вентилируемым или нет. Зазор может вентилироваться принудительно или естественно. Нагретый воздух направляется в более холодные помещения (помещения в затененной части здания). Также термически «тяжелая» конструкция здания может хранить тепло и отдавать его в более холодное время, например, ночью. Кровля темного цвета с большим уклоном поглощает больше тепловой энергии, чем светлая и пологая. (Duffie & Beckman, 2006)

Также существуют конструкции окон, которые работают как теплонакопительные системы. В них непроницаемый слой между стеклами накапливает тепло и передает его в помещение. Помимо этого, через застекленные участки в зданиях солнечное излучение может проникать внутрь и накапливаться во внутренних конструктивных элементах зданий (пол, стены). Иногда применяются гибридные системы с пассивным и активным использованием солнечной радиации. (Duffie & Beckman, 2006)

4.2 Охлаждение

Здания нуждаются в охлаждении даже в холодном климате, так как в течение лета температура воздуха в помещениях может значительно возрасти, что будет сказываться на самочувствии людей. Тип применяемой системы охлаждения зависит от количества избыточного тепла.

В солнечные летние дни важно минимизировать образование тепла в зданиях. Этого можно добиться, установив на окна системы затенения, которые будут эффективно блокировать солнечную радиацию. Чтобы избежать чрезмерного аккумулирования тепла, размеры окон, ориентированных на восток и на запад должны быть минимальны. В высотных зданиях возможен вывод теплого воздуха из помещений через потолок. (Bauer et al, 2010)

Хорошая изоляция и герметичность ограждающих конструкций предотвращает ненужный теплообмен между окружающей средой и внутренними помещениями. Кроме того, конструкции с большой термической массой могут поглощать тепло и высвобождать его позже, например, ночью. Размещение устройств, создающих избыточное тепло, в отдельных помещениях снижает необходимость в охлаждении. (Seppänen & Seppänen, 2004)

Если пассивные методы, описанные выше, не могут обеспечить достаточное охлаждение, в таком случае применяется активное охлаждение. Как правило, охлажденный воздух распределяется системами кондиционирования, имеющими отдельный охлаждающий контур. Наравне с этим для охлаждения может использоваться система рекуперации тепла. Системы кондиционирования для своей работы используют электроэнергию, что повышает общее энергопотребление зданий, поэтому по возможности следует избегать их применения. (Kreider, 2001)

При теплом и сухом наружном воздухе могут использоваться системы охлаждения, основанные на испарении. Эти системы передают тепло от поступающего воздуха каплям воды. Помимо этого, для охлаждения внутренних помещений могут использоваться абсорбционные холодильные машины и осушители воздуха. (Bingeli, 2003)

Тепловые насосы и другие охлаждающие устройства могут обеспечить эффективное охлаждение зданий. Эти устройства могут использовать внутренние помещения, как источник тепла и утилизировать тепловую энергию в окружающей среде (например, в воздухе, почве или воде). Для предварительного охлаждения воздуха может использоваться земля, так как в течение лета температура на определенной глубине обычно ниже, чем температура воздуха и верхнего слоя земли. В итоге, потребляя небольшое количество электроэнергии для работы насоса и вентиляторов, тепловой насос может обеспечить здание необходимым охлаждением (Awbi, 2008).

4.3 Вентиляция и кондиционирование воздуха

Вентиляция необходима в каждом здании для поддержания надлежащего качества воздуха в помещениях и обеспечения комфортного пребывания людей. Вентиляция удаляет запах, загрязняющие вещества и влагу из помещений. Системы кондиционирования воздуха регулируют температуру и обеспечивают помещения свежим воздухом. Существуют разные системы вентиляции, но данная работа уделяет внимание наиболее энергоэффективным решениям, применяемым в северных регионах.

Рекуперация тепла

Системы рекуперации тепла (или энергии) в Финляндии установлены практически во всех новых домах. Рекуперация тепла происходит, когда теплый воздух из помещения заменяется свежим прохладным воздухом из окружающей среды. Тепло передается от нагретого воздуха, покидающего помещение, к поступающему воздуху. Таким образом, тепло не покидает здания, а используется повторно,

что способствует повышению энергоэффективности. Система рекуперации тепла также может работать и в обратном направлении, охлаждая воздух в помещениях, и использоваться для регуляции уровня влажности. В энергоэффективных домах контроллирование влажности особенно важно, так как лишняя влага конденсируется в местах образования «мостиков» холода. (Awbi, 2008)

При использовании системы рекуперации тепла необходимо удостовериться, что в доме нет сквозняков, т.е. нет потерь тепла с утечками воздуха через ограждающие конструкции, и эффективность системы рекуперации может быть максимально реализована.

Также возможно использовать дополнительные системы для охлаждения или нагрева воздуха, но все они приводят к увеличению потребления энергии. Повышения энергоэффективности можно добиться введением в систему модуля предварительного нагрева, который будет, например, передавать тепло земли приточному воздуху. (Kreider, 2001)



Естественная вентиляция и гибридные технологии

В некоторых зданиях возможно применение естественной вентиляции. Она может быть организована через окна или отверстия в потолке. Однако вентиляция, организованная через окна, не может применяться в холодном климате, так как большую часть года помещения нуждаются в отоплении. Проветривание можно использовать только, когда механическая система вентиляции отключена, так как их совместное использование неэффективно. Необходимо отметить, что вентиляция через окна может принести загрязняющие вещества, влагу и холодный воздух, что приведет к нежелательным изменениям во внутреннем микроклимате. (Awbi, 2008)

Одним из видов естественной вентиляции является процесс, когда теплый воздух поднимается к потолку, где он удаляется из помещения, в то время, как свежий воздух поступает с нижних уровней здания. Для улучшения эффекта могут быть использованы вентиляторы, а для уменьшения теплопотерь – система рекуперации. Такие системы хорошо подходят для использования в высоких зданиях. К их проектированию необходимо подходить очень тщательно, чтобы избежать тепловых потерь и забора холодного воздуха. (Binggeli, 2003)

Гибридные технологии, такие как тепловой насос, интегрированный с системой рекуперации тепла, могут повысить энергоэффективность здания, а переключение между естественной и искусственной вентиляцией может способствовать экономии энергии, особенно в больших зданиях, где тепловая нагрузка (например, от людей) очень высока. (Awbi, 2008)

При проектировании энергоэффективных систем вентиляции и кондиционирования зданий, система распределения воздуха должна быть включена в расчеты потребления энергии. Во-первых, при транспортировании по вентиляционным каналам теряется определенное количество тепла, а во-вторых, воздух распределяется вентиляторами, которые

потребляют электроэнергию. Потребление энергии вентиляторами зависит от их эффективности, свойств канала (трение, длина, площадь, форма, наличие другого оборудования и т.д.), времени работы и требуемого напора (т.е. разности давлений). Отключение вентиляции (когда она не требуется) экономит большое количество электроэнергии, особенно в офисных зданиях. Необходимо учитывать и то тепло, которое производится при работе данных систем. (Seppänen & Seppänen, 2004)

Системы вентиляции и кондиционирования нуждаются в автоматизации, элементы которой также потребляют электроэнергию. Кроме того, некоторые системы кондиционирования воздуха имеют охлаждающие и/или нагревающие контуры, которые также увеличивают энергозатраты и потери тепла при работе вентиляции. Эти потери должны быть включены в расчеты потребления энергии. Правильный выбор системы климат-контроля играет важную роль в проектировании энергоэффективных зданий. (Ympäristöministeriö, 2004)

Оптимальное использование системы климат-контроля повышает энергоэффективность здания. Обеспечение комфортных условий для потребителей является ее главным назначением. Во многих случаях применяется принцип «минимально допустимого». На этапе проектирования в систему должны быть заложены следующие принципы:

- вентиляция не должна работать на полную мощность в пустых помещениях;
- необходимо избегать перегрева и переохлаждения;
- вентиляция должна обеспечить достаточное поступление свежего воздуха;
- система не должна использовать одновременно отопление и охлаждение.

4.4. Нагрев и распределение воды

В зданиях потребляется значительное количество воды. В холодном климате потребление горячей воды составляет примерно 40 - 50% от общего потребления воды. Таким образом, для производства горячей

воды требуется большое количество энергии. Особенно это касается жилых домов, бассейнов и спортивных центров, где горячая вода используется в душевых, стиральных машинах и для уборки. Обычно забота о личной гигиене составляет большую часть потребления горячей воды. В офисных зданиях этот фактор оказывает меньшее воздействие на общее потребление энергии. (Seppänen, 2001)

В основном, для бытовых нужд используется вода из централизованного источника горячего водоснабжения. Также для нагрева воды могут использоваться котлы различных видов, в том числе электрические. На сегодняшний день процесс получения горячей воды должен включать использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные коллекторы, тепловые насосы (воздух – вода, земля – вода или вода – вода) или их сочетание. Кроме того, возможно использование тепла сточных вод, что особенно эффективно в больших общественных зданиях, таких как плавательные бассейны. (Awbi, 2008)

Факторами, влияющими на эффективность нагрева воды являются: теплопотери в нагревательных элементах, трубах, вентилях

и в другом оборудовании, а также потери давления в трубопроводах, которые могут привести к перерасходу энергии, потребляемой насосами. Необходимо помнить, что разумное использование воды является составляющим элементом повышения энергоэффективности. Потребители должны снизить расход воды, изменив свои привычки, установив более эффективные системы распределения, сантехнику и бытовую технику, а также снизив температуру потребляемой воды. Потребление энергии системой очистки и распределения воды может быть снижено путем использования вторичной незагрязненной воды в унитазах или, например, дождевой воды для поливки урожая. (Bauer et al., 2001)

Чтобы избежать роста вредных бактерий (в частности, *Legionella pneumophila*), температура горячей воды должна быть достаточно высокой (55 - 65 ° C). С другой стороны, снижение температуры воды предотвратит чрезмерные потери тепла через поверхности труб и резервуаров. Поэтому должна быть использована самая низкая возможная температура совместно с размещением баков-накопителей в теплых помещениях. (Seppänen, 2001) ■

5 Электричество и системы автоматизации в зданиях

5.1 Электричество и освещение

Здания потребляют значительное количество электроэнергии. Электричество требуется для освещения, систем вентиляции и кондиционирования, бытовых приборов и другого оборудования, например, лифтов и эскалаторов. Экологические аспекты и повышение цен на электроэнергию ведут к необходимости снижения затрат электроэнергии, и, как следствие, к необходимости более тщательного проектирования систем электроснабжения и освещения в зданиях с повышенной эффективностью.

Энергоэффективное освещение не только снижает потребление энергии, но и улучшает условия труда. Например, использование естественного света является самым эффективным и дешевым способом уменьшения потребления энергии на освещение. Этого можно добиться, ориентируя окна на юг и предусмотрев проектом светопропускающие ограждающие конструкции. Свойства естественного света способствуют повышению комфорта рабочего или жилого помещения. Тем не менее, необходимо оптимизировать количество окон в соответствии с необходимым количеством освещения и возможными теплопотерями. (Bauer et al., 2010)

Использование светлых цветов в оформлении интерьера способствует улучшению освещения, так как свет отражается от светлых поверхностей. Количество естественного света в помещениях возможно увеличить, применяя прозрачные кровельные материалы. Эти решения обеспечивают большое

количество естественного освещения, особенно, если ориентировать их на юг. В этом случае необходимо учитывать опасность быть ослепленным ярким солнечным светом. (Binggeli, 2003)

При необходимости использования искусственного освещения потребление энергии может быть снижено установкой энергосберегающих ламп и уменьшением их количества. Искусственное освещение следует использовать только там и тогда, где это действительно необходимо. Особенно это касается муниципальных и офисных зданий. Установка освещения только там, где это действительно нужно может существенно снизить потребление энергии. Кроме того, существуют системы регулирования освещения, такие как таймеры, фотоэлементы и датчики движения. Эти системы управления выключают свет, когда он не нужен, способствуя значительной экономии энергии. (Turner и Doty, 2007)

Система вентиляции и кондиционирования может потреблять до 40-50% от общего объема используемой энергии. Это число можно уменьшить, применяя пассивные методы нагрева и охлаждения и выключая систему, когда ее работа не требуется. (Kreider, 2001)

Бытовая техника также потребляет электроэнергию, поэтому необходимо уделить внимание ее энергоэффективности. Также электричество требуется для других устройств в здании, таких как лифты и эскалаторы. В целях экономии необходимо сократить их количество и использование. (CIBSE, 2004)

5.2 Автоматизированные системы управления

Автоматизированные системы управления применяются в домах для экономии электроэнергии. Кроме оптимального использования энергии, эти системы обеспечивают безопасную, экономичную и правильную работу оборудования и обеспечивают оптимальные условия в помещениях. В результате использования «умных» технологий, здание становится более энергоэффективным.

Системы автоматизации обеспечивают надежную работу системы электроснабжения и ведут к снижению энергозатрат. Основываясь на измерениях потребления энергии, качестве энергии (перерывы в работе, скачки и т.д.) и сигналах тревоги, системы управления предлагают различные варианты по снижению энергопотребления. В часы пиковых нагрузок система может снижать энергозатраты, уменьшая энергопотребление систем освещения, вентиляции и кондиционирования или используя собственные источники питания. Стоимость электроэнергии в часы пик может быть дороже, в этом случае выгода будет существенной. (Sinopoli, 2010)

Интеллектуальные счетчики измерения энергопотребления являются неотъемлемой частью систем автоматизации. Предоставляя в режиме реального времени данные о количестве потребляемой электроэнергии, времени потребления и сезонности, они позволяют пользователям контролировать и управлять энергопотреблением и разрабатывать схемы по повышению энергоэффективности, минимизируя затраты. Частью системы также могут быть устройства контроля за распределением мощности в разных частях здания. Используя измерительное оборудование, учитывающее потребление энергии в определенной части здания возможно локализовать затраты на электроэнергию в здании. Кроме того, интеллектуальный сетевой фильтр может снизить потребление энергии бытовыми приборами и другими устройствами, находящимися в режиме ожидания. (Sinopoli, 2010)



Одной из основных целей систем автоматизации является накопление и использование энергии в ночное время, когда ее стоимость ниже. Электричество может накапливаться в аккумуляторах, соединенных с бытовой техникой и даже в электромобиле. Кроме того, данные системы могут иметь различные устанавливаемые режимы для экономии энергии, такие как настройка системы на время отсутствия (отпуск), годовая настройка, ночной режим и так далее. Преимущество этих систем в том, что они имеют беспроводное цифровое управление. (Turner & Doty, 2007)

Управление освещением включает в себя несколько методов контроля, уменьшающих потребление электроэнергии. Во-первых, это может быть использование таймера, с помощью которого через определенное время после включения освещения, оно автоматически выключится. Также можно использовать датчик присутствия, который распознает наличие людей в помещении и регулирует освещение в соответствии с этим. Как правило, датчики присутствия ре-

агируют на тепло тела, движение, звук или комбинацию этих факторов. (Sinopoli, 2010)

Фотоэлементы используются для контроля количества искусственного освещения при наличии естественного. Таким образом, устройство выключает освещение, когда естественное освещение на достаточном уровне. Для предотвращения чрезмерного нагрева от солнечного излучения возможна установка автоматических жалюзи. Для сокращения энергопотребления лампами могут использоваться регуляторы освещения. Светорегуляторы могут быть очень полезны во время пиковой нагрузки, когда кроме естественного необходимо и искусственное освещение. (Sinopoli, 2010)

Система контроля вентиляции и кондиционирования также может использовать эти виды датчиков. Например, если в здании нет людей, то датчик присутствия может отложить включение вентиляции. Также они могут рассчитать количество людей в здании и отрегулировать скорость работы системы. Контроль в реальном времени позволяет устанавливать необходимые значения температуры, влажности и скорости воздушного потока. Чтобы избежать перегрева или переохлаждения в системах контроля используют термостат, отключающий устройства, когда достигнуты необходимые условия. (Turner & Doty, 2007) ■



6 Применение возобновляемой энергии в зданиях

В настоящее время для производства тепла в большинстве зданий используется ископаемое топливо, а электричество, чаще всего, поступает от городских сетей. Обострение экологической обстановки, увеличение цен на электроэнергию и ужесточение законодательства побуждают к применению в зданиях возобновляемых источников энергии. Их применение может существенно снизить затраты и воздействие на экологию. В данной главе представлены наиболее распространенные источники возобновляемой энергии, применяемые в зданиях.

Как уже упоминалось в предыдущих главах, на долю зданий приходится существенная часть общего потребления энергии: в частности, вся тепловая энергия, и до 50% электроэнергии. Процессы производства различных видов энергии в настоящее время оказывают существенное воздействие на изменение климата. Таким образом, необходимо перейти на использование источников возобновляемой энергии. На рисунке 2 приведены некоторые распространенные возобновляемые источники энергии, которые могут быть использованы в зданиях.

6.1 Биомасса

Для получения тепла и электричества может быть использована биомасса. Наиболее привычным видом топлива, относящимся к биомассе, является древесина. Сгорая, древесина производит достаточное количество тепла для отопления, нагрева воды и приготовления пищи. Использование древесины в качестве топлива до сих пор рекомендуется

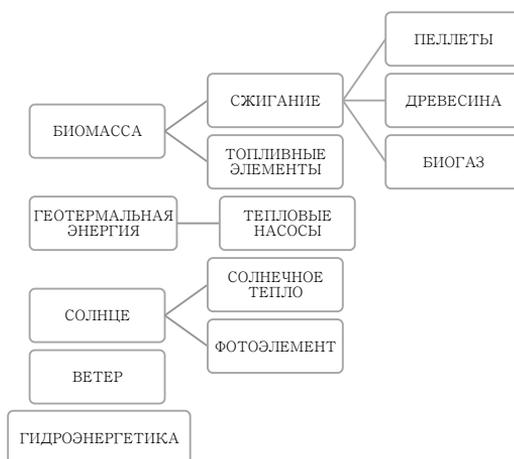


Рисунок 2. Распространенные источники возобновляемой энергии, применяемые в зданиях.

применять в небольших и средних домах с сезонной заселенностью. С недавнего времени вместо древесины стали использовать пеллеты. Преимуществами пеллет, кроме большей энергоемкости, являются удобность хранения, возможность автоматической подачи в печь и контролируемые условия горения. (Twidell & Weir, 2006)

В некоторых домах для производства тепла используется природный газ или другое ископаемое топливо. Эти виды топлива можно заменить на газ, полученный путем газификации или анаэробного сбраживания. Кроме газа, можно использовать жидкое топливо, такое как этанол, биодизель и биотопливо второго поколения. (Twidell & Weir, 2006)

В будущем топливные элементы получат широкое распространение благодаря своей многофункциональности и высокой эффективности. В качестве топлива они могут использовать водород, метан и другие углеводороды и производить как тепло, так и электричество. (Bauer et al, 2010)

Жилые районы могут снабжаться электричеством и теплом за счет ТЭЦ, вырабатывающих энергию путем сжигания, газификации, пиролиза и анаэробного сбраживания. (Twidell & Weir, 2006)

6.2 Геотермальная энергия

Источниками данного вида энергии являются воздух, вода и земля. Применение геотермальной энергии может обеспечивать здания отоплением и охлаждением. В настоящее время для поддержания комфортных температурных условий в помещениях в различных регионах широко используются тепловые насосы. Тепловые насосы используют хладагент, который циркулирует в закрытом контуре. Они накапливают низкотемпературное тепло от земли, воздуха или воды и при помощи компрессора повышают его температуру. (Kreider, 2001)

Обычно, в качестве источника тепла тепловые насосы используют воздух. Более совершенные модели могут добывать тепло из озер, рек и морей. Помимо этого, для получения тепла можно использовать грунтовую воду, обрабатывая ее в теплообменнике. Также для получения и утилизации тепла тепловые насосы могут использовать землю. В этом случае, система сбора энергии может располагаться в грунте горизонтально или вертикально. Горизонтальное расположение требует большого пространства, что не всегда возможно в густонаселенных регионах, а вертикальное (U-образная форма) – больших капиталовложений для бурения скважин. Чтобы избежать дополнительных затрат, возможна установка теплоаккумулирующих элементов в сваи здания. (Awbi, 2008)

Зимой с помощью тепловых насосов можно отапливать здание, а летом охлаждать, а также с их помощью можно греть воду.

Для увеличения их эффективности возможно интегрировать их с солнечными коллекторами и трубопроводами сточных вод. (Seppänen, 2001)

6.3 Солнечная энергия

Использование солнечной энергии в зданиях очень распространено. Солнечная радиация может применяться в солнечных коллекторах и фотоэлементах (активное использование). Ограничивающим фактором применения солнечной энергии в холодном климате является темное зимнее время года, когда энергии производится мало, а потребляется много. Другими факторами, ограничивающими активное использование солнечной энергии, являются колебание количества излучения в течение дня, климатические условия, низкая эффективность и различные загрязнители. Несмотря на это, в летний период солнечное излучение может производить достаточно энергии для нагрева помещений. (Duffie & Beckman, 2006)

Солнечные батареи преобразуют попадающее на них солнечное излучение в электричество. Их эффективность, как правило, составляет 10-20%. Они устанавливаются на крышах, стенах и других строительных конструкциях. Солнечные батареи уже стали очень популярны в южных странах, а сейчас набирают популярность и в северных регионах. Основными ограничениями для их использования являются низкая эффективность, высокая цена и дефицит солнечной энергии в течение зимы. Постоянный ток от солнечных батарей может быть использован в водяных насосах, но чаще всего он преобразуется в переменный ток и используется для бытовых нужд. (Luque & Hegedus, 2003)

Солнечные коллекторы поглощают энергию темной поверхностью и передают накопленное тепло теплоносителю. Жидкий теплоноситель может использоваться для приготовления теплой воды или для отопления помещений через теплый пол или радиаторы. В холодном климате солнечные коллекторы могут играть роль дополнительного источника тепла. (Duffie & Beckman, 2006)

Солнечные коллекторы подразделяются на системы с прямым и косвенным контуром. В системах с прямым контуром через коллектор в качестве теплоносителя течет вода, которая и распределяет тепло, а в системах косвенного типа в коллекторе нагревается антифриз, который передает тепло воде в отдельном теплообменнике. Для циркуляции теплоносителя системы, использующие солнечные коллекторы, могут применять насосы или работать за счет сил гравитации и разности плотности. (Duffie & Beckman, 2006)

При применении активных солнечных систем важно учитывать площадь покрываемой поверхности: чем больше площадь, тем больше энергии эта система может аккумулировать. (Bauer et al., 2010)

6.4 Ветер

Использование энергии ветра возможно при достаточных ветровых условиях. Необходимая скорость ветра для нормальной работы ветровых генераторов – 4 м/с, а такие показатели встречаются не во всех районах. В городах ветер может блокироваться высокими зданиями. Главным недостатком ветровых генераторов является зависимость количества производимой энергии от ветровых условий, что делает их ненадежными. (Manwell et al., 2009)

При достаточных ветровых условиях ветровые генераторы могут являться существенным источником дополнительной энергии. На сегодняшний день на рынке представлены генераторы разных размеров. Они могут быть использованы не только для производства электричества, но и для обеспечения работы водяных насосов и при производстве льда (холодильные камеры). (Manwell et al., 2009)

6.5 Накопление энергии

Для хранения энергии и эффективного использования источников возобновляемой энергии в домах используют аккумуляторы. Накопленную энергию следует использовать в часы пик, когда ее стоимость возрастает.

Выделяют тепловые, химические, электрические и механические аккумуляторы. Одним из вариантов являются биологические аккумуляторы, но в данной работе они обсуждаться не будут.

Аккумуляирование тепла

Аккумуляторы тепла часто интегрируются в конструкцию здания. Как уже говорилось в предыдущих главах, элементы здания могут накапливать тепло солнечного излучения. Конструкция с большой массой и теплоемкостью накапливает тепло в течение дня и отдает его ночью. Это экономит энергию на охлаждение днем и на нагрев ночью. (Duffie & Beckman, 2006)

Аккумулятор тепла, использующий воду (или другую жидкость) при его правильном утеплении, может сохранять энергию в течение нескольких недель или месяцев. Аккумулятирующие емкости можно разместить как над поверхностью земли, так и под ней. Такие системы могут накапливать тепло, поглощенное солнечными коллекторами. Помимо этого, они могут быть использованы для хранения холодной воды. В качестве теплоносителя могут быть использованы вещества, меняющие агрегатное состояние (с более высокой точкой плавления, чем у воды, например, глауберова соль ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)). Еще один вариант хранения энергии – хранение льда. Они используются для охлаждения помещений. (Twidell & Weir, 2006)

Химические аккумуляторы энергии

Данный вид аккумуляторов накапливает энергию в виде химических связей или соединений. Для получения тепла эти соединения в дальнейшем могут быть разрушены в экзотермических реакциях, таких как горение.

Одним из энергоносителей в химических аккумуляторах может быть водород. Водород легко получить из воды путем электролиза. Постоянный ток, производимый возобновляемыми источниками энергии в зданиях, может накапливаться в молекулах водорода, которые пригодны для хранения, сжигания или использования в топливных элементах. (Twidell & Weir, 2006)

Электрические аккумуляторы

Чаще всего для хранения электричества используются аккумуляторы. Они могут накапливать энергию от возобновляемых источников (через солнечные батареи и ветровые генераторы) и от городской электросети в ночное время, когда энергия стоит дешевле. Затем накопленная таким образом электроэнергия может быть использована в часы пик. Аккумулятор электромобиля также может быть использован в качестве накопителя энергии в доме. (Twidell & Weir, 2006)

Механические аккумуляторы

Механические системы накопления энергии, как правило, стоят дорого и занимают много места. Тем не менее коммерческие предприятия в своих зданиях иногда используют именно их.

Одним из примеров таких систем является подъем воды на определенный уровень, чтобы в час высокого потребления энергии под действием силы тяжести она крутила турбину электрогенератора, производя электричество. Другие варианты механических аккумуляторов энергии включают в свою конструкцию маховики и хранилища сжатого воздуха. (Twidell & Weir, 2006) ■

7 Энергоаудит и учет затрат

Во многих европейских странах Директива ЕС об энергоэффективности стимулирует людей к увеличению объемов производства энергоэффективных домов. В соответствии с Директивой, энергоэффективность должна быть улучшена не только в новостройках, но и в уже существующих зданиях. Также она требует, чтобы все общественные здания к 2019 году были переоборудованы под «активные дома», а к 2020 году должно быть «активным» каждое новое строящееся здание. (Ympäristöministeriö, 2012a)

В этом сложном вопросе энергоаудит играет важную роль. С его помощью жители могут получить информацию о количестве энергии, потребляемой зданием. Он позволяет получить информацию об объеме потребляемой энергии конкретными системами. Все это упрощает процесс внедрения энергоэффективных решений. С помощью энергоаудита можно выявить недостатки конструкции (например, изоляция). Для его выполнения требуется специальная аппаратура, такая как инфракрасные камеры (тепловизоры), измерители освещенности (люксметры), термометры, вольтметры, измерители скорости воздушного потока, а также специальные модели расчетов. (Tuner & Doty, 2007)

7.1 Класс энергоэффективности

Энергоаудит предоставляет информацию об общем потреблении энергии в здании, в том числе о всем потребляемом отоплении, охлаждении и электроэнергии (кВт/м²/год). В финском законодательстве энергети-

ческая эффективность здания описывается коэффициентом E. Значение этого коэффициента определяет энергетический класс здания, который может быть от A до G (в России от A до E), где A является показателем наибольшей энергоэффективности, а G наибольшей энергозатратности. Обычные здания в Финляндии, как правило, имеют энергетический класс D. Различные виды энергии имеют различные коэффициенты, которые связаны с вычислением коэффициента E. Как правило, при постройке каждого нового дома в Финляндии требуется проведение энергоаудита. (Ympäristöministeriö, 2012b)

Процедура проведения энергоаудита определяется типом здания. Каждому типу соответствуют свои правила и процедуры расчета (внутренней температуры, теплопроводности стен, скорости воздушных потоков и т.д.), как показано в таблице 2.

Для расчета коэффициента E требуется следующая информация (Motiva 2013):

- **о здании**, включая тип, расположение, год постройки и количество комнат в здании, общую площадь поверхностей (м²), объем помещений (м³), площадь поверхностей помещений (м²), объем воздуха (м³) и количество проживающих людей.
- **о строительных конструкциях**, включая коэффициенты теплопередачи, площадь поверхности и тепловые потери через наружные стены. Также необходима информация о материалах пола, крыши, дверей, окон и о наличии температурных мостов. Кроме того, важно знать расположение здания от-

Таблица 2. Тип зданий и показатели температур для них (Ympäristöministeriö, 2012b)

Класс	Тип здания	Объем забираемого наружного воздуха (дм ³ /см ²)	Температурный минимум (С°)	Температурный максимум (С°)
Класс 1	Частные и блокированные дома	0,4	21	27
Класс 2	Многоквартирные дома	0,5	21	27
Класс 3	Офисные здания	2	21	25
Класс 4	Магазины, торговые центры	2	18	25
Класс 5	Отели	2	21	25
Класс 6	Образовательные здания, детские сады	3	21	25
Класс 7	Спортивные помещения, кроме бассейнов и ледовых дворцов	2	18	25
Класс 8	Больницы	4	22	25
Класс 9	Другие здания	-	-	-

носительно сторон света, теплопроницаемость стекла, отношение площади окон к площади стен и теплоемкость здания.

- **о вентиляции.** Необходимы данные о воздухообмене в помещениях (л/ч) (при разности давления 50 Па) и годовой объем рекуперации тепла через систему вентиляции (%).

- **о потреблении воды.** Необходимы данные о потреблении горячей воды (м³/год). На этом этапе могут потребоваться данные о существующих водомерных узлах и платежных механизмах.

- **о системе отопления.** Требуется данные о работе существующей системы отопления. Необходимо знать, какое оборудование используется для распределения тепла по помещениям.

- **о потреблении электричества.** Требуется данные об электричестве, потребляемом для освещения. (Количество потребляемой электроэнергии эквивалентно термической нагрузке от электро- и осветительных приборов) (кВт·ч/м²)

Данными, необходимыми для расчета коэффициента E, являются (Ympäristöministeriö, 2012b):

- потери тепла, включая теплотери через ограждающие конструкции и с утечками воздуха;
- энергия, потребляемая для нагрева воды (кВт);

• потери тепла в системе отопления – включая энергию, идущую на нагрев помещений, кондиционирование и нагрев воды;

• потребление электроэнергии системой вентиляции, осветительными и другими электроприборами;

• отопительная нагрузка - включая тепло, выделяемое людьми, осветительными и электроприборами, солнечную энергию, поступающую через окна и потери тепла в отопительных системах;

• необходимость энергии охлаждения и определение внутренней температуры в летнее время – для определения необходимой энергии охлаждения. Кроме того, данные о среднемесячной температуре внутри помещений в теплые сезоны необходима для того, чтобы избежать перегрева помещений и рассчитать количество энергии, которая потребуется для охлаждения;

• потребление тепловой энергии – количество тепловой энергии, необходимой для нагрева помещений и воды (пункт б). Также должно учитываться рекуперируемое тепло.

Сумма всех этих факторов определяет энергопотребление здания. Значение коэффициента E (кВт·ч/м²) рассчитывается путем деления общего годового потребления энергии в зданиях на общую площадь здания и умножением результата на коэффициенты различных видов энергии, перечисленные в таблице 3.

Таблица 3. Коэффициенты для разных видов потребляемой энергии (Ympäristöministeriö, 2012b)

Вид потребляемой энергии	Коэффициент
Электричество	1,7
Централизованное отопление	0,7
Централизованное охлаждение	0,4
Ископаемое топливо	1
Возобновляемое топливо	0,5

Для различных источников энергии в здании, таких как централизованное отопление, электричество и ископаемое топливо используются различные коэффициенты, влияющие на конечный результат. Расчет коэффициента E учитывает только ту энергию, которая расходуется внутри здания (строительные конструкции определяют границы системы). (Ympäristöministeriö, 2012b)

7.2 Экономические показатели

Энергоэффективные здания пользуются большим спросом из-за экономических преимуществ. На практике такие здания требуют высоких первоначальных вложений, ко-

торые окупаются в процессе эксплуатации. К тому же они в меньшей степени влияют на окружающую среду и имеют более комфортный для человека внутренний микроклимат. Если зданием производится избыточная энергия, ее можно продавать городской электрической сети. Предполагается, что такая процедура получит распространение в будущем. Таким образом, при минимальных энергозатратах возможно включить оценку экономических показателей в процедуру энергоаудита. (CIBSE, 2004)

Как отмечалось ранее, начальная стоимость энергоэффективного оборудования зачастую выше, по сравнению со стандартными решениями, но ситуация может быть и обратной. Например, установка системы рекуперации дешевле, по сравнению с обычными системами. Период окупаемости используется как общий экономический показатель системы. Еще одним необходимым показателем для оценки экономической эффективности является жизненный цикл. Например, оценка жизненного цикла системы отопления включает сбор данных о стоимости ее покупки, обслуживания, эксплуатации и стоимости энергии. (CIBSE, 2004) ■



8 Требования жильцов и внутренний микроклимат

Энергоэффективные здания должны обеспечивать комфортный микроклимат в помещениях. Действительно, многие решения по повышению энергоэффективности в зданиях способствуют улучшению качества воздуха в помещениях и, как следствие, улучшению качества жизни. Технические приспособления и устройства, такие как системы вентиляции, предназначены для удовлетворения потребности человека в чистом воздухе в помещениях. Обычно эти потребности накладывают ограничения на конструкцию системы.

Очень важно поддерживать качество воздуха в помещениях на высоком уровне, так как люди проводят в них большую часть своей жизни. Многие проблемы со здоровьем у человека появляются именно из-за неправильного микроклимата в помещениях. Кроме того, производительность труда и настроенные тесно связаны с качеством комнатного воздуха. Исходя из этого, при повышении энергоэффективности необходимо учитывать требования потребителей и необходимый микроклимат в помещениях. В большинстве случаев требования к внутренним условиям в различных помещениях стандартизированы и являются общедоступными.

Тепловой комфорт и воздушные потоки

An adequate temperature in a room is essenОчень важно, чтобы температура воздуха в помещениях была комфортной. Температура в помещении, которую мы ощущаем нашим телом, называется рабочей температурой (на наши ощущения влияют конвекция и излучение). Другими факторами, влияющими на тепловой комфорт, являются

скорость обмена веществ каждого отдельного человека, одежда и влажность воздуха. Эти факторы должны быть приняты во внимание при регуляции и поддержании микроклиматических условий в помещении. В итоге большая часть внутреннего пространства здания (примерно 90 - 95%) должна быть комфортна для нахождения при установленной температуре. (ASHRAE, 2004)

Колебания температуры за короткий период времени не должны быть слишком высокими, так как это негативно сказывается на комфорте потребителей. Помимо этого, необходимо избегать сквозняков. Типичными источниками сквозняков являются плохо изолированные дверные и оконные проемы, большие застекленные поверхности, утечки воздуха через ограждающие конструкции, температурные «мостики» и неправильно работающая система вентиляции. Строительные конструкции должны быть герметичны, чтобы предотвратить движение воздуха снаружи внутрь здания, особенно в ветреную погоду. Плохая герметичность строительных конструкций приводит к потерям тепла и избыточному потреблению электроэнергии системой вентиляции. (Ympäristö ja Terveys, 2009)

Воздушные потоки должны быть равномерно распределены в пространстве, а перепад температур в помещении должен быть минимальным. Тепловой дискомфорт могут вызвать горячие и холодные поверхности или вентиляторы. Ориентация воздушного потока вентиляторов в лицо или на шею доставляет больше всего дискомфорта. Кро-

ме того, тепловой дискомфорт может вызвать вертикальный градиент температур. (ASHRAE, 2004)

В некоторых помещениях температуру можно регулировать индивидуально. К таким помещениям относятся, например, офисы, где температура регулируется термостатом вручную. Важно учитывать тот фактор, что некоторые факторы, как, например, незакрытая дверь при наличии разницы температур между офисными помещениями и коридором, могут быть причиной избыточной работы вентиляционной системы. Слишком высокая температура в помещении, в свою очередь, может привести к ухудшению качества воздуха, так как увеличивает химическую активность и рост микробов. (ASHRAE, 2004)

Свет и шум

Энергоэффективное освещение должно обеспечивать достаточное количество света. Его количество влияет на настроение, а также на производительность труда. В офисных помещениях уровень освещения должен быть около 500 люкс. В помещениях специального назначения может требоваться более высокий уровень освещения (например, в больницах – 1000 люкс). Доказано, что достаточное количество дневного света улучшает самочувствие людей. (Baier et al., 2010)

Уровень шума, в зависимости от типа здания, не должен превышать 30-55 дБ (рекомендуется придерживаться более низких значений). Шумовые эффекты от систем отопления, водоснабжения и вентиляции и



кондиционирования должны быть сведены к минимуму путем шумоизоляции. (Ympäristö ja Terveys, 2009)

Влажность

Слишком высокий или слишком низкий уровень влажности становится причиной ряда проблем со строительными конструкциями и вызывает дискомфорт людей. В зависимости от типа здания, нормативный уровень относительной влажности в помещениях колеблется от 20 до 60%. Так как наличие влаги в помещениях тесно связано с вентиляцией и другими энергозатратами, влажность нуждается в контроле. (Ympäristö ja Terveys, 2009)

Слишком высокий уровень влажности в помещении способствует росту плесени и других микроорганизмов, что приводит к появлению запаха, проблемам со здоровьем и температурному дискомфорту. Наиболее вероятно образование плесени в помещениях с холодными поверхностями (мостики холода), дающими возможность для конденсации влаги. Наряду с этим высокий уровень влажности может наносить вред деревянным конструкциям. При правильной работе системы вентиляции влага эффективно удаляется. Необходимо избегать образования мостиков холода путем дополнительной теплоизоляции слабых участков. В структуре строительной конструкции должна присутствовать влаго- и ветрозащита. В местах с повышенной влажностью (ванны, кухни) необходимо размещать вытяжную вентиляцию. (Ympäristö ja Terveys, 2009)

Слишком низкая влажность приводит к раздражению слизистой оболочки и глаз. Сухой воздух может способствовать рассыханию деревянных конструкций, усадке мебели, а также образованию статического напряжения. Уровень влажности в помещениях регулируется системами рекуперации энергии, отдельным увлажняющим прибором или системой кондиционирования с блоком увлажнения, но следует учитывать, что отдельные увлажняющие устройства потребляют дополнительную электроэнергию. (Awbi, 2008)

Химические соединения и частицы

Воздух в зданиях может содержать различные вредные соединения, входящие в состав строительных конструкций или попавшие из окружающей среды, такие как аммиак, асбест, формальдегид, CO₂, CO, стирол, озон и различные ЛОС соединения. В помещениях с большим количеством людей, таких как учебные классы, концентрация углекислого газа может достигать очень высоких значений. Появления этих соединений возможно избежать, используя соответствующие строительные материалы, установив воздушные фильтры и обеспечив достаточную вентиляцию. (Binggeli, 2003)

Воздух в помещениях содержит некоторое количество частиц, которые поступают из внешней среды (пыльца, выхлопные газы и т.д.) или от строительных конструкций. Помимо этого, воздух может содержать комнатную пыль, неорганические волокна, асбест и микробы. Размер частиц воздуха в помещениях варьирует примерно между 2,5 и 10 мкм. Энергоэффективные здания должны сводить к минимуму количество нефильтрованного воздуха, взятого извне. Качественные строительные материалы и вентиляция также играют важную роль в очистке воздуха, поступающего в помещения. (Sisäilmayhdistys, 2012)

Микробы

Микробы существуют везде: как в строительных конструкциях, так и в воздухе. Чрезмерное количество влаги и высокие значения температуры могут способствовать их росту. Микроорганизмы, такие как дрожжи, могут вызвать неприятный запах, образование токсичных соединений и повреждения строительных конструкций. Предотвратить попадание микроорганизмов в здание возможно, держа окна закрытыми. Сократить рост микроорганизмов можно путем удаления избыточной влаги с помощью вентиляции и снижения температуры. Также необходимо предотвращать конденсацию влаги на холодных поверхностях. (Ympäristö ja Terveys, 2009) ■



9 Типы энергоэффективных зданий

Инструменты, действия и технологии, представленные в данной работе, играют важную роль при постройке энергоэффективных зданий. На данный момент можно выделить четыре класса энергоэффективных зданий:

- здание низкого потребления энергии (энергоэффективное здание)
- пассивный дом
- здание с нулевым потреблением энергии
- энергоизбыточный дом

Все эти виды зданий потребляют гораздо меньше энергии, чем обычные, и обладают лучшим внутренним микроклиматом. В Финляндии строительство зданий с низким потреблением энергии и пассивных домов уже не редкость. В таблице 4 представлены эталонные значения потребления энергии в домах этих типов в Финляндии.

60 - 90 кВт-ч/м²/год, в то время как обычные здания потребляют более 120 кВт-ч/м²/год.

Потребление энергии в пассивных домах в Финляндии разделено на три класса в зависимости от региона:

- южная Финляндия ≤ 130 кВт-ч/м²/год
- центральная Финляндия ≤ 135 кВт-ч/м²/год
- северная Финляндия ≤ 140 кВт-ч/м²/год

По финским нормам максимальный объем утечек воздуха в пассивных домах не должен превышать 0,6 л/ч. Строительство таких домов начинается с выбора его месторасположения и ориентации. Типичный пассивный дом имеет термически «тяжелую» структуру и компактную форму. Свое название они получили из-за применения пассивных методов регуляции температуры. Особое внимание в

Таблица 4. Эталонные значения потребления энергии в зданиях в Финляндии.

Потребление энергии	Обычные здания в 2010	Здания с низким потреблением энергии	Пассивные дома
Отопление помещений (кВт-ч/м ² /год)	100 - 110	26 - 50	15 - 25
Горячая вода (кВт-ч/м ² /год)	30	20 - 25	20 - 25
Электричество (кВт-ч/м ² /год)	25 - 35	30 - 35	25 - 35

Как видно из таблицы 4, в Финляндии энергоэффективные здания потребляют гораздо меньше энергии, чем обычные. Общий объем отопительной энергии, расходуемой энергоэффективными зданиями составляет около

этих зданиях уделяется системам отопления и вентиляции, а также тепловым потерям. В соответствии с информацией Центра технических исследований Финляндии (VTT), затраты на строительство пассивного дома

(без учета цены земельного участка) примерно на 5 - 10% выше, чем для обычных зданий.

В таблице 5 представлены общие справочные значения теплопотерь для ограждающих конструкций в Финляндии. (Motiva, 2012)

гоизбыточный дом, который вырабатывает больше энергии, чем потребляет. Этот тип зданий производит энергию, например, с помощью фотоэлементов, солнечных коллекторов, тепловых насосов и биотоплива. Возможно, что в течение лета такие здания производят избыточное количество энер-

Таблица 5. Основные эталонные значения теплопотерь для строительных конструкций в Финляндии.

Эталонный показатель	Обычные здания в 2010	Здание с низким потреблением	Пассивные дома
	энергии		
Стены λ (Вт/м ² К)	0,17 – 0,40	0,15 – 0,17	0,10 – 0,13
Потолок λ (Вт/м ² К)	0,09	0,10 – 0,15	0,06 – 0,08
Пол λ (Вт/м ² К)	0,09 – 0,16	0,12 – 0,15	0,08 – 0,12
Двери и окна λ (Вт/м ² К)	1,0	0,8 - 1,0	0,4 – 0,7
Герметичность, n_{50} (л/ч)	2,0	<1,0	<0,6
Годовая эффективность рекуперации тепла	45 %	>70 %	>80 %
Затраты электроэнергии на вентиляцию (кВт/м ³ /с)	<2,5	<2,0	<1,5

Зданием с нулевым потреблением энергии называется здание, которое в год затрачивает столько же энергии, сколько ее производит.

Конечной целью совершенствования энергоэффективности зданий является энер-

гии, а в течение зимы нуждаются в электричестве от городской электросети. Таким образом, даже для этого типа зданий необходимо подключение к внешним источникам электроэнергии. (Motiva, 2012) ■

10 Заключение

Энергоэффективные здания экономят топливо, отопительную, охлаждающую и электрическую энергию и обеспечивают комфортный микроклимат в помещениях. Посредством экономии энергии мы заботимся об окружающей среде и снижаем материальные затраты. Принимая во внимание требования потребителей и необходимое качество воздуха, возможно улучшить внутренний микроклимат и комфорт в помещениях.

На начальном этапе проектирования энергоэффективных зданий должны учитываться их размеры, место расположения и ориентация. Также нужно принимать во внимание местные источники возобновляемой энергии, климатические условия и возможность использования свободной энергии. В итоге, благодаря синтезу грамотных технологических и архитектурных решений, учитывающих привычки потребителей, возможно реализовать идею энергоэффективного дома. В холодном климате необходимо уделить особое внимание теплоизоляции и герметич-

ности строительных конструкций. Итоговое значение потребляемой энергии может быть получено в процессе энергоаудита.

Энергоэффективность существующих зданий иногда возможно улучшить при помощи небольших вложений: перепроектирование освещения, улучшение теплоизоляции окон и установка систем рекуперации тепла или тепловых насосов. В новостройках высокая энергоэффективность является обязательным условием. Целью совершенствования энергоэффективных технологий является создание энергоизбыточного дома.

Для поиска оптимального решения необходимо сотрудничество между инженерами, архитекторами и потребителями, а также рассмотрение всех достоинств и недостатков. В конечном счете, здание должно обеспечивать комфортную внутреннюю среду в помещениях и в то же время предоставлять возможность потребителям изменять интерьер под свои предпочтения. ■



Список литературы

- ASHRAE. (2004). ASHRAE Standard 55-2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE.
- Awbi, H. (2008). Ventilation Systems. Design and Performance. New York: Taylor & Francis.
- Bauer, M.; Möslle, P. & Schwarz, M. (2010). Green Building. Guidebook for Sustainable Architecture. London: Springer.
- Binggeli, C. (2003). Building systems for interior designer. John Wiley & Sons.
- CIBSE. (2004). CIBSE Guide F. Energy Efficiency in Buildings. Norwich: Page Bros Ltd.
- Duffie, J. A. & Beckman, W. A. (2006). Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley, third edition.
- Energy priorities. (20. 6 2012). Time of Use Electricity Billing: How Puget Sound Energy Reduced Peak Power Demands (Case Study). Retrieved 20.6.2012, URL: http://energypriorities.com/entries/2006/02/pse_tou_amr_case.php.
- Hagentoft, C.-E. (2001). Introduction to Building Physics. Lund: Studentlitteratur AB.
- Hirsilinna. (28. 6 2012). Savumax lämmön talteenottojärjestelmä. Haettu 28.6.2012 osoitteesta <http://www.hirsilinna.com/tag/energia/>.
- Kreider, J. F. (2001). Handbook of Heating, ventilation and air conditioning. New York: CRC press.
- Luque, A.;& Hegedus, S. (2003). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. John Wiley and Sons Ltd.
- Manwell, J.; McGowan, J. & Rogers, A. (2009). Wind Energy Explained. Theory, desing and application. Wiley.
- Martinkauppi, K. (2010). ERA 17. Energiaviihkaan rakennetun ympäristön aika 2017. Helsinki, Finland.
- Motiva. (2008). Hyvä talo. Rakennetaan energiatehokas pientalo. Retrieved 14.6.2012, URL: http://www.motiva.fi/files/2766/Hyva_talo_Rakennetaan_energiatehokas_pientalo.pdf.
- Motiva. (19.7.2012). Energiatehokas koti. Retrieved 19.7.2012, URL: <http://www.energiatehokaskoti.fi/perustieto/>.
- Seppänen, O. (2001). Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto Ry.
- Seppänen, O. & Seppänen, M. (2004). Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Sinopoli, J. (2010). Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders. Butterworth-Heinemann.
- Sisäilmayhdistys. (9.7.2012). Hiukkasmaiset epäpuhtaudet. Retrieved 9.7.2012, URL: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/hiukkasmaiset_epapuhtaudet/.

Ympäristö ja Terveys (2009). Asumisterveys opas. Pori: Ympäristö ja Terveys-lehti.

Turner, W. C. & Doty, S. (2007). Energy Management Handbook. Lilburn: The Fairmont Press.

Twidell, J. & Weir, T. (2006). Renewable Energy Resources. Second edition. Taylor & Francis.

Ympäristöministeriö. (2007). Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Haettu 26.6.2012.

Ympäristöministeriö. (2010). Rakennusten lämmöneristys. Helsinki.

Ympäristöministeriö (2012a). Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. Retrieved 19.7.2012, URL: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=14527&lan=fi>.

Ympäristöministeriö. (2012b). Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki. Retrieved 26.6.2012, URL: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. ■



Центр Северных Технологий Окружающей Среды (NorТех)
Институт Туле, почтовый ящик 7300
FI-90014 Университет Оулу, Финляндия
Тел. + 358 29 448 7417 Факс +358 8 553 3564

 nortech@oulu.fi

 <http://nortech.oulu.fi>

 <http://www.facebook.com/NorTechOulu>

Контакты

Лидер проекта: Ева Понграц, Доцент, Док. Тех. наук, Eva.Pongracz@oulu.fi

Менеджер проекта: Нико Хяннинен, лицензиат философии, Niko.Hanninen@oulu.fi

Координатор проекта: Елена Федорова, MBA, Elena.Fedorova@oulu.fi



Centre for Economic Development,
Transport and the Environment



Greensettle project is co-funded by the European Union,
the Russian Federation and the Republic of Finland