



**Последние международные разработки, опыт и
знания, полученные в области политики
строительства, норм и стандартов энергетической
эффективности зданий и экологически устойчивому
строительству**

***Политика, нормы и стандарты
энергетической
эффективности зданий***

Автор:

Дзинтарс Яунземс

октябрь 2014 г.

Акронимы и сокращения

русский	англ.	значение
	AT	Австрия
ЕКС	BPIE	Европейский институт строительных характеристик зданий
	CEN	Европейский комитет по стандартизации
	CEN-EPB	Европейский комитет по стандартизации – энергетические характеристики зданий
	CEPH	Сертифицированные европейский дизайнер по технологии Passive House
	CZ	Чехия
	DK	Дания
ДЭХЗ	EPBD	Директива по энергетическим характеристикам зданий
СЭХ	EPC	Сертификат энергетических характеристик
ЭК	ESCO	Энергетическая компания
ЕС	EU	Европейский союз
ПГ	GHG	Парниковые газы
СВКО	HVAC	Система вентиляции, кондиционирования и обогрева
МЭА	IEA	Международное энергетическое агентство
	IPHA	Международная ассоциация технологий Passive House
ИСО	ISO	Международная организация стандартизации
	MS	Страна-участница, государство-член
	MVHR	Система искусственной вентиляции с восстановлением тепла
	Net-ZEB	Здание с нулевым чистым показателем энергопотребления
	nZCB	Здание с практически нулевым выбросом углеводородов
	nZEB	Здание с практически нулевым энергопотреблением
ГЭК	PESCO	Государственная энергетическая компания
	PH	Технология Passive House
НИОКР	R&D	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
ФЕАСВКО	REHVA	Федерация европейский ассоциаций СВКО
ВИЭ	RES	Возобновляемый источник энергии
	UK	Великобритания
США	US	Соединенные Штаты Америки

Содержание

Акронимы и сокращения	Ошибка! Закладка не определена.
Предисловие	Ошибка! Закладка не определена.
1. Политика, нормы и стандарты	6
1.1. Историческое развитие	Ошибка! Закладка не определена.
1.2. Директивный подход	Ошибка! Закладка не определена.
1.3. Функциональный подход.....	Ошибка! Закладка не определена.
2. Международные разработки и направления в области строительства энергоэффективных зданий	Ошибка! Закладка не определена.
2.1. Определение энергоэффективного / высокофункционального здания	Ошибка! Закладка не определена.
2.2. Требования к энергетическим показателям новых зданий в Европе ...	Ошибка! Закладка не определена.
2.2.1. Требования к системам вентиляции, кондиционирования и обогрева ...	Ошибка! Закладка не определена.
3.1. Сертификация/ маркировка энергетических показателей зданий.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1.1. Сертификация энергетических показателей в ЕС	Ошибка! Закладка не определена.
3.2. Подход ЕС – здания с практически нулевым энергопотреблением	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.1. Оптимизация затрат	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.2. Гармонизация и стандартизация	Ошибка! Закладка не определена.
3.3. Концепция технологии Passive house	Ошибка! Закладка не определена.
3.4. Здание с (нулевым чистым) показателем энергопотребления	Ошибка! Закладка не определена.
3.5. Здание с нулевым уровнем выбросов.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.5.1. Стандарт нулевого уровня углеводородных выбросов	Ошибка! Закладка не определена.
3.6. Активные здания / здания с дополнительной энергией	Ошибка! Закладка не определена.
4. Переход к высокофункциональным и устойчивым зданиям	Ошибка! Закладка не определена.
4.1. Вопросы качества.....	Ошибка! Закладка не определена.

4.2. Процесс интегрированного проектирования **Ошибка! Залкадка не определена.**

5. Список использованных источников (на английском языке)**Ошибка! Залкадка не определена.**

Предисловие

Все чаще и чаще глобальное сообщество и различные организации (например, *Международное энергетическое агентство, Европейский комитет по стандартизации, Международная организация стандартизации, национальные энергетические агентства, научно-исследовательские организации и т.д.*) представляют и обсуждают актуальные вопросы, связанные с переходом от традиционной экономики к экономике с низким уровнем выбросов углерода путем сокращения выбросов парниковых газов и углеводородов и за счет снижения потребления энергии, а также использования имеющихся возобновляемых источников энергии самым оптимальным образом. Глобальные вопросы изменения климата требуют международного сотрудничества и разработки стратегии "думай глобально - действуй локально".

Здания являются крупнейшими потребителями энергии во всем мире. Сектор жилых зданий составляет более 40% потребления первичной энергии. Во всем мире конечное потребление этого сектора увеличилось в два раза в период с 1971 г. по 2010 г., в основном, за счет увеличения численности населения и экономического роста. Количество зданий будет продолжать расти, оказывая дополнительное давление на сферу снабжения энергоносителей во всем мире. Глобальный спрос на энергию зданий по прогнозам вырастет еще на 30% к 2035 году.

Источник: Обновление Энергетических кодексов зданий для обеспечения будущего глобального энергетического сектора, Международное энергетическое агентство, 2013 г.

Несмотря на значительный потенциал для сокращения потребления энергии в жилищном фонде, переход от традиционных до высокопроизводительных зданий все еще очень медленный и неудовлетворительный. Из-за увеличения затрат и спроса на энергию широко распространены экономически эффективные возможности для повышения энергоэффективности зданий. Независимо от нескольких успешно реализованных политических мер (политика была направлена на решение вопросов энергоэффективности зданий, по крайней мере, уже на протяжении 30 лет), общее потребление энергии в зданиях продолжает расти.

Продолжительные сроки эксплуатации зданий (20-50 лет и более) делают разработку и реализацию высокопроизводительных (энергоэффективных) зданий актуальными. Таким образом, политика должна поддерживать строительство энергоэффективных зданий, поощрять спрос на высокофункциональные здания и дальнейшее содействие применению данного подхода для достижения целей энергосбережения.

„Инновации всегда были врагом тех, кто преуспел в старых условиях, и всегда находят приверженных сторонников среди тех, кто будет преуспевать в новых условиях.“

Макиавелли

Большую часть нашей жизни мы проводим в зданиях, поэтому не только энергосбережение, но и климат в помещении, качество воздуха и вопросы здоровья имеют также очень большое значение. Использование экологически чистых и натуральных стройматериалов сейчас не только желательно, но и является обязательным требованием. Распространение энергоэффективных зданий учитывает понимание не только потенциала энергосбережения, но и рассмотрение политических, финансовых и технических вопросов.

Дорожная карта по эффективному использованию ресурсов Европы, принятая в 2011 году показала, что питание, мобильность и жилье являются самыми основными источниками 70-80% всех воздействий на окружающую среду в развитых странах. Можно сделать вывод, что существующая политика по повышению энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии в зданиях должна быть дополнена соответствующими политическими мерами в области повышения эффективности использования ресурсов, что будет предусматривать более широкий учет воздействия на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла зданий. Кроме того, такая политика будет способствовать созданию конкурентоспособного строительного сектора и развития фонда ресурсосберегающих зданий. Это означает, что "устойчивые" здания являются одним из путей к строительству устойчивого будущего.

На сегодняшний день можно перечислить множество концепций и подходов (в том числе, комплексные, учитывающие несколько подходов), связанных с энергоэффективными зданиями, но все еще отсутствует согласованная и стандартизованная терминология и методология. В целом, большинство действий являются добровольными, таким образом, предоставляя довольно высокую гибкость в реализации, и не рассматриваются как обязательные. Какие подходы и технологии могут быть использованы для достижения целей строительства высокофункциональных зданий, прежде всего, вопрос о местоположении здания: например, хорошая теплоизоляция изнашивается быстрее в Швеции, чем в Испании, а использование коллекторов солнечного света или солнечных батарей имеет больше смысла в южных странах.

Требования по сохранению тепловой энергии в здании сильно зависят от климатических условий (температура, ветер, дневной свет, солнечное излучение и т.д.), которые значительно различаются по всему миру, и эти изменения нельзя просто игнорировать. Поэтому экономически оптимальные решения для Италии или, например, Норвегии будут отличаться в связи с данными климатическими условиями. На пути к энергоэффективным зданиям, экономически оптимальные решения с правовой и технической точки зрения должны учитывать местные условия.

Новостройки, или новые здания, находятся в центре внимания этого учебного материала. Также почти все (в какой-то степени) меры или решения могут быть поэтапно реализованы для ремонта или реконструкции существующего фонда жилых зданий. Вопрос остается открытым: "Как построить высокопроизводительное и устойчивое здание?"

1. Политика, нормы и стандарты

Адекватная политика (или пакет политических документов, система мер) может повлиять на каждый этап строительства нового здания; в результате правильно сделанных акцентов в политике можно уменьшить, например, выбросы ПГ или негативное воздействие на окружающую среду, обеспечить энергосбережение и сокращение расходов и т.д.

Необходимо принимать во внимание особые условия каждой страны, чтобы понять реальные препятствия для успешной реализации политики энергоэффективности. Простых и правильных определений для идеальной политики в области энергоэффективности для всех стран и географических регионов просто не существует из-за сложности и динамики строительной отрасли.

Весь процесс строительства (от проекта до сноса здания) является более или менее регулируемым, и в каждой стране есть определенные законы, правила и нормативные акты, которые являются обязательными для любого вида зданий. Они охватывают все этапы жизненного цикла зданий, а также государственные требования и описание обязанностей всех сторон.

Сегодня почти все страны мира разработали или приняли национальные или местные правила, касающиеся проектирования зданий и их использования. В некоторых странах (особенно в ЕС) наблюдается тенденция перехода от подхода стандартов строительства элемента здания и оборудования здания к строительству целого здания / здания как системы. Продукт (например, компонент здания или элемент) больше не оценивается как продукт, а как часть системы.

1.1. Историческое развитие

В большинстве стран мира (например, в Европе, США, Канаде и т.д.) строительство зданий регулировалось с 19 века, в целом, из соображений безопасности и охраны здоровья (например, учитывались санитарные нормы канализации или сточных вод), нормы пожарной безопасности (использование менее легковоспламеняющихся материалов) и структурную целостность (внешний вид и архитектурный дизайн).

Исторически строительные нормы и правила обычно возникали в ответ на стихийные бедствия, например, пожар, эпидемии и землетрясения. Первые строительные нормы и правила, таким образом, касались строительства и пожарной безопасности, а также здоровья жильцов. В двадцатом веке правительства начали включать положения относительно энергии сначала в существующие строительные нормы и правила, а затем - в отдельный документ, который обычно называют "энергетическим кодексом зданий".

Источник: Обновление Энергетических кодексов зданий. МЭА, 2013 г.

После нефтяных кризисов 1970-х годов устанавливалось и добавлялось все больше и больше предписаний / требований по вопросам энергоэффективности зданий.

Несомненно есть крайняя необходимость политического вмешательства на международном и местном уровнях, чтобы внедрять высокопроизводительные и энергоэффективные здания в будущем. Должно быть принято политическое решение и проявлена политическая воля, чтобы перейти от традиционных к высокофункциональным зданиям (и даже дальше - к зданиям, которые будут генерировать энергию). Все усилия должны охватывать широкий спектр сфер - технических, социальных и финансовых.

МЭА рекомендует в своих 25 Рекомендациях по энергетической эффективной политике, чтобы правительства "требовали, чтобы все новые здания, а также здания, подвергающиеся ремонту и реконструкции, соответствовали положениям энергетических кодексов и отвечали минимальным стандартам энергоэффективности, направленных на минимизацию затрат жизненного цикла здания. Энергетические кодексы и минимальные стандарты энергетической эффективности должны исполняться, регулярно усиливаться и принять целостный подход, который затем будет включать в себя оболочку здания и оборудование".

Полученные знания о строительной физике и проблемы, связанные с глобальным изменением климата требуют новых или улучшенных (более строгих) норм, которые затрагивают обеспечение устойчивости, особенно в эффективности использования энергии и ресурсов.

Все строительные нормы и правила с течением времени меняются и развиваются. Наблюдается переход от простых директивных стандартов и требований о создании компонентов здания к более сложным и динамическим функциональным стандартам. Все стандарты / подходы реализуются в двух направлениях. Развитие и хронология строительных стандартов и норм отражены на рис. 1.

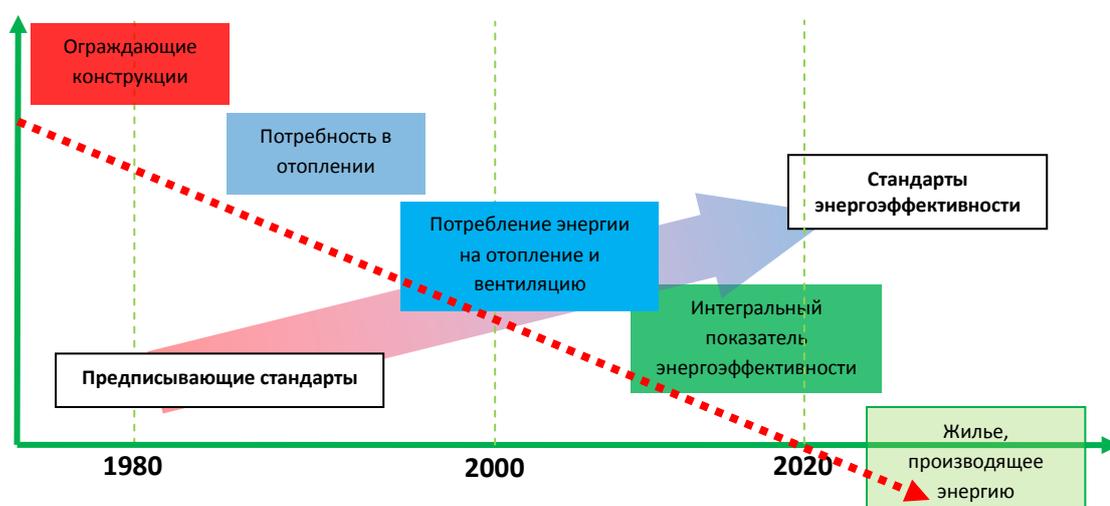


Рисунок 1. Историческое развитие введения норм и стандартов строительства

1.2. Директивный подход

Директивный подход был разработан в 1970-х г.г. и представляет собой самый простой способ установления минимальных требований к энергоэффективности зданий. Тем не менее, этот подход носит ограничительный характер и дает меньше возможностей и потенциала раскрыться для архитекторов и инженеров к использованию инновационных подходов, т.к. каждое отдельное требование должно быть выполнено [1].

Директивные энергетические и строительные нормы и правила устанавливают минимальные требования энергоэффективности для каждого строительного элемента. Эти виды кодексов обычно включают допустимые уровни потерь тепла для окон, крыш и стен, и / или уровня эффективности для нагревательного, охлаждающего и осветительного оборудования.

Источник: Обновление Энергетических кодексов зданий. МЭА, 2013 г.

С учетом этого, в 1980-х годах был введен способ согласования соответствия требованиям, чтобы обеспечить большую гибкость в проектировании зданий. Обычно согласование проходит между энергетическими потребностями оболочки здания и потребностями оборудования отопления и охлаждения. В общем, использование директивного подхода не позволяет дизайнерам максимизировать потенциал сбережения, т.к. не учитывается взаимодействие между компонентами различных зданий [1].

Один из наиболее широко используемых и общепринятых (особенно в постсоветских странах) директивным способом (стандартом или нормой) регулирования тепловой эффективности здания является определение минимальных U-значения для компонентов здания (например, стены, крыша и т.д.).

1.3. Функциональный подход

Функциональный подход: строительные энергетические нормы требуют, чтобы все здание рассматривалось как единая система. Необходимо хорошо понимать строительную науку и владеть современным программным обеспечением, чтобы решать вопросы, связанные с многочисленными факторами, которые влияют на энергетическую эффективность и их взаимодействие. Это требует применения комплексного проектирования и холистического подхода.

Факторы, которые необходимо учитывать в методике расчета, включают: форму здания и направление; дневной свет, солнечное освещение и тень; процент застекленных помещений; инертность здания; тепловые мосты; естественная и искусственная вентиляция; комфорт внутри здания; внутренние нагрузки в результате использования техники, оборудования и удовлетворения потребностей жильцов; характеристики различных компонентов и оборудования здания и использование

возобновляемых источников энергии, а также систем автоматического управления. Энергетическая эффективность здания рассчитывается на основе годовой энергии, необходимой для удовлетворения потребностей в комфортном проживании жильцов. Этот показатель может варьироваться в зависимости от типа здания (например, жилье, медицинское учреждение, учреждение образования), местной климатической зоны и режима использования здания. Энергоэффективности зданий, как правило, выражается либо в показателях первичной энергии на полезную площадь, заданной в значении кВтч / м² / год, или в показателях выбросов CO₂ на полезную площадь.

Функциональный подход позволяет обеспечить синергию, например, использование большего числа застекленных помещений там, где потребность в дневном освещении больше, при этом компенсация потерь энергии за счет выбора окон с хорошей теплоизоляцией.

Энергетические строительные нормы и правила также включают в себя нормативную минимальную энергетическую эффективность, или, наоборот, максимально допустимый уровень потребления энергии компонентами и системами зданий.

Достижения в строительной науке позволили, начиная с 1990-х годов, моделировать потребление энергии для отдельных зданий. Это привело к разработке модели соответствия энергетическим нормам.

Дизайнеры строят свою собственную модель здания, используя максимально допустимые значения требований энергоэффективности для каждого компонента и оборудования зданий; а программное обеспечение вычисляет максимально допустимое значение потребления энергии для модели здания. Потребление энергии проектируемого здания оценивается с использованием того же программного обеспечения, но, принимая во внимание характеристики компонентов и оборудования здания, которые были выбраны для строительства. Общее потребление энергии рассматриваемого здания не должно превышать энергии модели здания. Один из недостатков подхода моделирования - это изменение максимально допустимого уровня энергопотребления на модель здания. Вариант модели соответствия энергетическим нормам заключается в установлении минимальных требований к общей норме тепла. В этом случае подход моделирования называется подходом энергопроектирования.

В ответ на рост экологических и климатических проблем, подход моделирования превратился из минимальных требований энергетической эффективности, которые варьируются от одной модели здания к другой, в стандарт требований энергетической эффективности и допустимых выбросов CO₂ для каждого типа здания в каждом климатическом поясе. В рамках данного режима архитекторам и строителям рекомендуется использовать комплексное проектирование здания на основе целостной оценки требований стандарта энергетической эффективности, заранее определенных для каждого типа здания в каждом климатическом поясе [1].

2. Международные разработки и направления в области строительства энергоэффективных зданий

Невозможно показать "одну единственную наилучшую" политику по повышению энергоэффективности зданий. Все зависит от выбранных приоритетов и установленных первоочередных целей конкретной политики. Однако, как только приоритетные цели выбраны, некоторые подходы (правила, финансовые инициативы и т.д.) могут быть более подходящими, чем другие, в зависимости от местных условий. Существующий опыт показывает, что успех продвижения энергоэффективности зданий требует принятия комплексных политических мер и разнообразных правил, финансовых инициатив и свободного доступа к знаниям (пилотные проекты, опыт, полевые исследования и т.д.) и учета правильно определенных местных условий.

Разумную государственную политику по повышению энергоэффективности зданий можно разделить на три блока (рис. 2.).

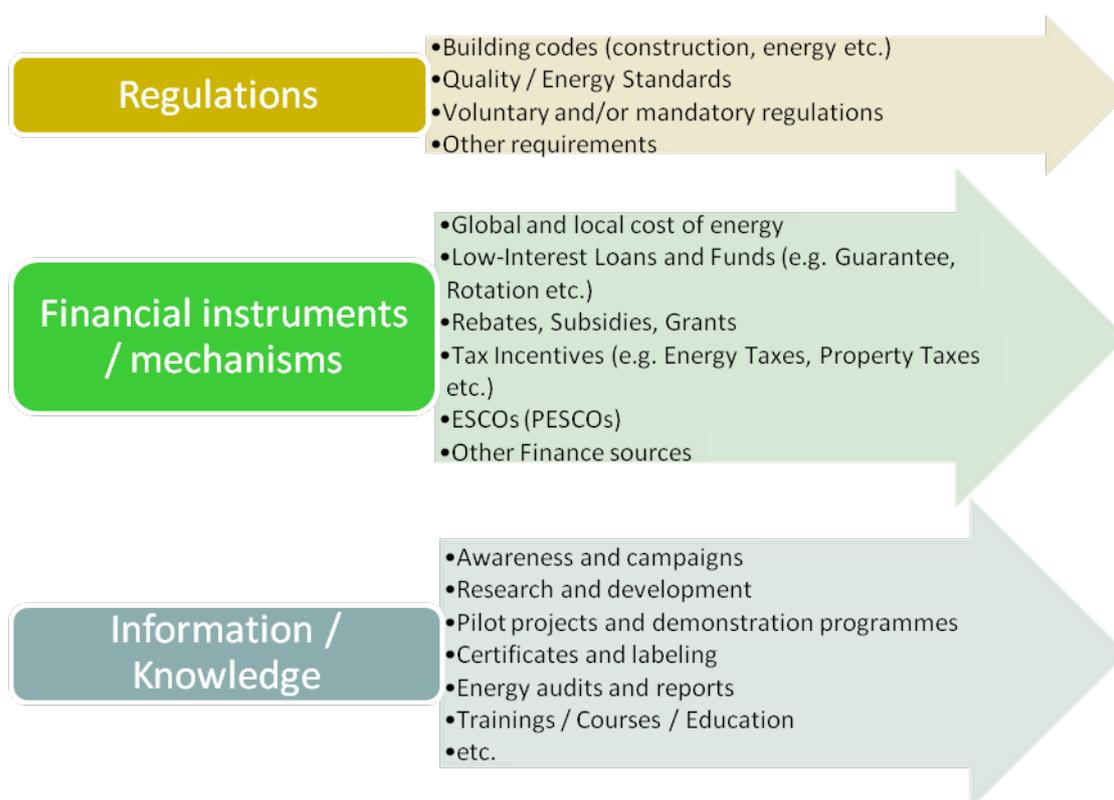


Рисунок 2. Три блока политики продвижения энергоэффективности зданий

В этом учебном материале, в основном, рассматриваются нормы и правила, которые являются частью государственной политики по повышению энергоэффективности зданий. Лучшие результаты достигаются, когда установлен ряд пакет мер (или принят пакет документов), которые соединяют эти активные инструменты. Тем не менее, следует подчеркнуть, что даже очень схожие инструменты могут иметь очень разные

результаты в различных странах и условиях. Необходимо предпринять значительные усилия на определение подходящего инструмента для конкретной ситуации, на его разработку и развитие и способы его реализации (в том числе непрерывного мониторинга и совершенствования).

ЕС имеет сложную политическую структуру (так называемые "рамочные" документы) по повышению энергоэффективности в строительной отрасли для обеспечения реализации целей ЕС до 2020 года. Эта платформа основана на 5 директивах, что можно назвать комплексным пакетом документов (или системой мер).

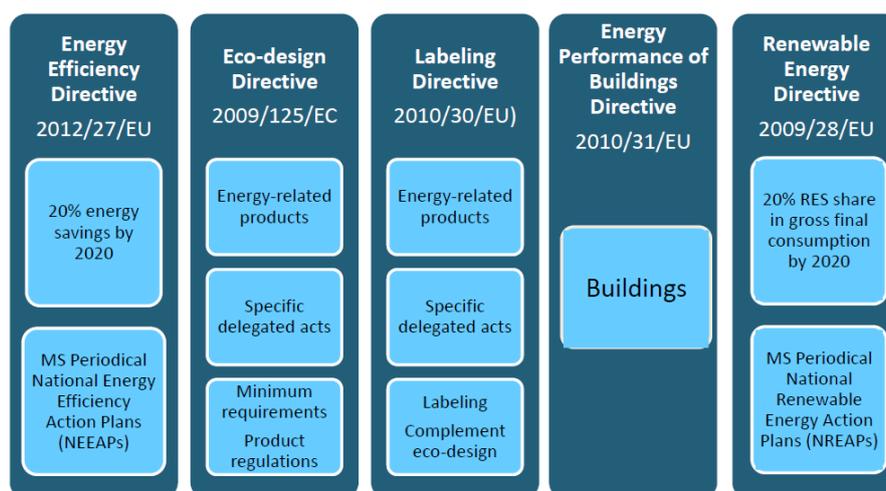


Рисунок 3 Комплексная политическая платформа (так называемые «зонтичные» документы) по энергоэффективности в строительной отрасли. [2,3].

Важно отметить, что директивы, в основном, отражают общее направление (политику) и не описывают конкретные решения и стандарты. Каждая страна-участница должна выполнить Директивы на основании анализа местной ситуации и местных условий.

2.1. Определение энергоэффективного / высокофункционального здания

Во всем мире существует большое разнообразие концепций, подходов и примеров очень энергоэффективных/ высокопродуктивных зданий. Кроме того, эти определения связаны с разными результатами и отраслями, например, потребление тепловой энергии, потребление первичной энергии, затраты или выбросы.

Ни одна из упомянутых концепций и ни один подход не стандартизирован или является обязательным. Некоторые из них носят добровольный характер и основаны на инициативах гражданского общества или научных организаций. Несмотря на большое количество броских слов, общая идея та же - использовать как можно меньше ресурсов и / или энергии в течение всего жизненного цикла здания (от проекта до сноса). Кроме того, существует некий установленный оптимальный уровень, например,

теплоизоляции или энергии, необходимой для конкретных климатических условий, который может быть реализован с относительно коротким период окупаемости.

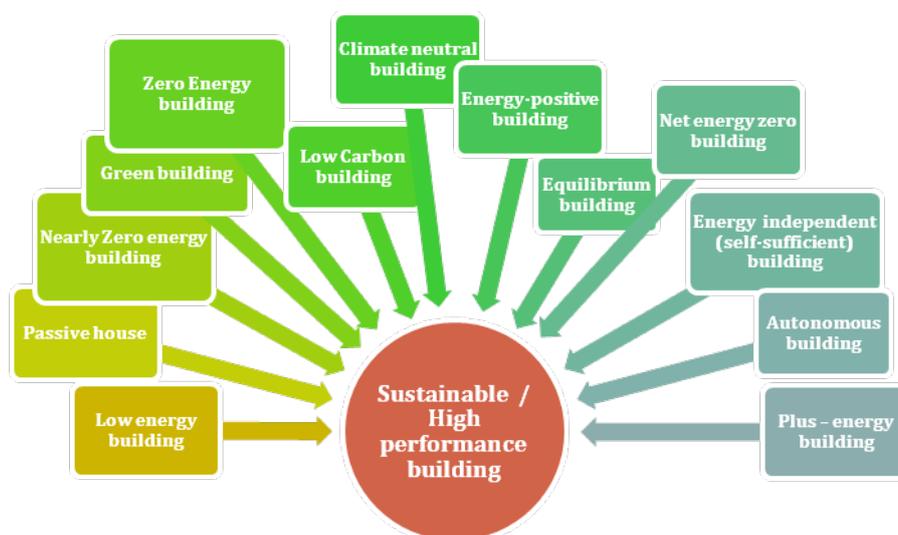


Рисунок 4. Разнообразие концепций и необязательных стандартов для высокопродуктивных зданий

Некоторые концепции более детальны и уже доказали свою состоятельность, например, Passive house (Пассивный дом). Некоторые концепции только определяют основное направление или тенденции, а не конкретные меры и технические решения, предоставляя простор архитекторам и инженерам по внедрению инноваций.

Кроме того, рассматриваются изменения в требованиях концепций / стандартов новых или существующих, жилых или нежилых. В настоящее время сильно отличаются мнения о том, как определить или охарактеризовать высокофункциональное здание, к какой отрасли отнести основу концепции, а также какие методы и приемы являются целесообразными.

Как видно на рис. 5, самые большие группы наблюдаются в Австрии, Чехии и Швейцарии, где реализация EPBD-2002 на государственном уровне продолжается до сих пор (например, в Чехии и Австрии), неоднородное распределение между регионами (Австрия). В большинстве случаев государственные или правительственные "определения" основаны на исходных демонстрационных программах, а не на законодательных инициативах. Только одно из найденных определений представляет собой действующую национальную директиву (например, в Дании) [4].

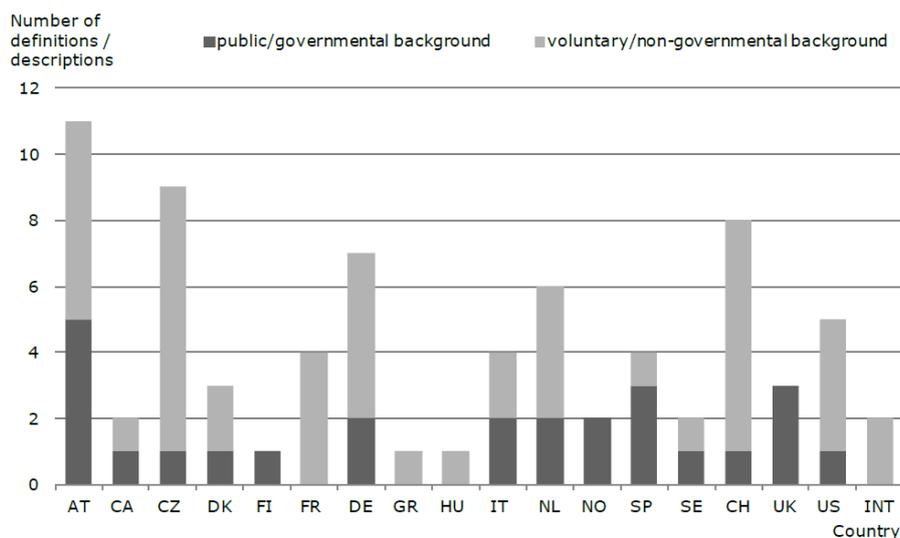


Рисунок 5 Число известных определений и описаний в государственных или добровольных/ негосударственных документах на страну[4].

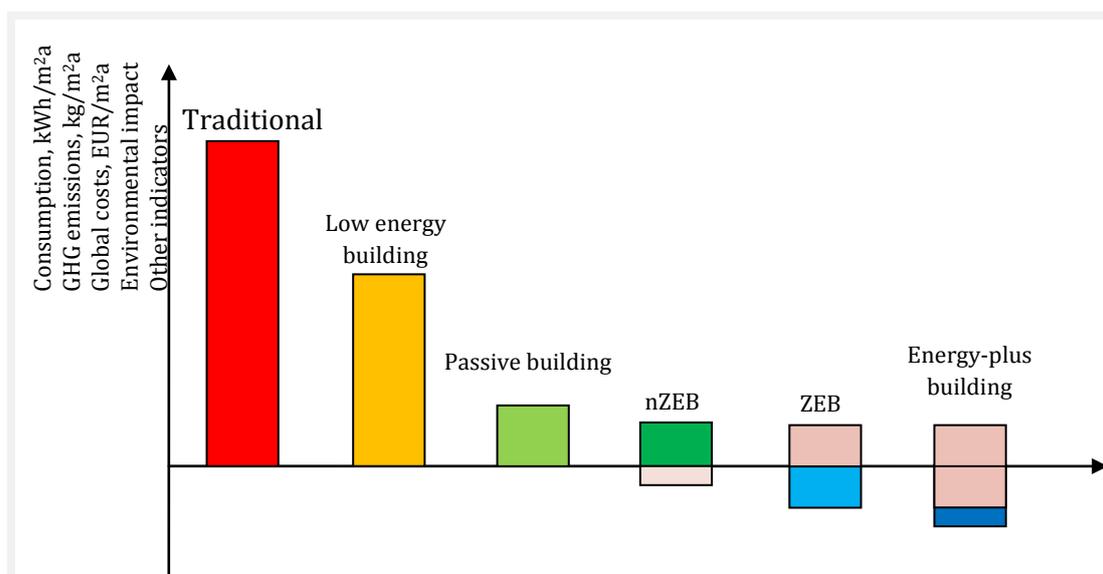


Рисунок 6. Основная диаграмма разных концепций зданий

Сегодня, энергетические нормы зданий осуществляются в новых и существующих жилых и нежилых зданиях в обязательном порядке, в добровольном порядке или с применением двух вышеупомянутых режимов (смешанная реализации).

2.2. Требования к энергетическим показателям новых зданий в Европе

Эти требования энергетических показателей могут применяться к оболочке зданий и / или системам и могут затрагивать конечные результаты использования отопления,

вентиляции, кондиционирования воздуха, освещения и нагрева воды. В настоящее время собраны сведения и проведена оценка информации о требованиях, связанных с энергией, в строительных нормах и правилах, принятых в некоторых государствах-членах Европейского союза.

Таблица 1

Требования по производительности новостроек в некоторых государствах ЕС[5]

	Дом для одной семьи	Многоквартирные дома
Австрия	Отопление: 66 кВтч/(м ² год) На основе общей площади половых покрытий и общего объема здания.	Отопление: 66 кВтч/(м ² год)
Бельгия – Брюссель	Электрическое отопление: 70 кВтч/(м ² год)	
Бельгия – район Валлон	Электро-отопление <100 кВтч/(м ² год) Электропотребление: <170 кВтч/(м ² год) Перегрев<17500 кВтч/год	Электро-отопление <100 кВтч/(м ² год) Электропотребление: <170 кВтч/(м ² год) Перегрев<17500 кВтч/год
Бельгия – Фламандский район	С 2012 года: электро-отопление: 70 кВтч/(м ² год) С 2014 года: электро-отопление: 60 кВтч/(м ² год)	С 2012 года: электро-отопление: 70 кВтч/(м ² год) С 2014 года: электро-отопление: 60 кВтч/(м ² год)
Болгария	Конечное энергопотребление:122-146 кВтч/(м ² год) Отопление и охлаждение: 82.5-102.5 кВтч/(м ² год) На основе следующих значений: <ul style="list-style-type: none"> • 2100 градусо-суток: средний показатель =0.2 для дома на 1 семью и =0.8 для остальных домов • 32% -доля остекления с верхним пределом при 330 градусо-сутках и средним показателем =1.2, 32% - нижний предел остекления 	Конечное энергопотребление: 90-146 кВтч/(м ² год) Отопление и охлаждение: 50.0-102.5 кВтч/(м ² год)
Швейцария	Отопление: 54 кВтч/м ² А	Отопление: 42 кВтч/м ² А
Чехия	Конечное энергопотребление: 142 кВтч/(м ² год)	Конечное энергопотребление: 120 кВтч/(м ² год)
Германия	Новые здания не должны превышать определенный спрос на энергию для отопления, горячего водоснабжения, вентиляции, охлаждения и осветительных приборов на основе модели здания тех же размеров, с той же площадью половых покрытий, выравниванием и использованием.	
Дания	Первичное энергопотребление: 52.5+1650/А кВтч/(м ² год) А – связан с общей площадью отапливаемых половых покрытий, например, 73.1 при 80 м ² ; 58 при 300 м ²	Первичное энергопотребление: 52.5+1650/А кВтч/(м ² год)
Эстония	Первичное энергопотребление: 180 кВтч/(м ² год) Отапливаемая площадь половых покрытий	Первичное энергопотребление: 150 кВтч/(м ² год)
Финляндия	На основе потери тепла. Для односемейного дома 134 W/K Для дома на 1 семью общим объемом здания 522 м ³ , общей площадью половых покрытий 163 м ² и высотой между этажами 3м.	
Франция-климатическая зона Н1	Первичное энергопотребление за счет топливных ресурсов: 130 кВтч/(м ² год) Первичное энергопотребление за счет электричества (включая тепловые насосы): 250 кВтч/(м ² год)	Первичное энергопотребление за счет топливных ресурсов: 130 кВтч/(м ² год) Первичное энергопотребление за счет электричества (включая тепловые насосы): 250 кВтч/(м ² год)

	Дом для одной семьи	Многоквартирные дома
Франция-климатическая зона Н2	Первичное энергопотребление за счет топливных ресурсов: 110 кВтч/(м ² год) Первичное энергопотребление за счет электричества (включая тепловые насосы): 190 кВтч/(м ² год)	Первичное энергопотребление за счет топливных ресурсов: 110 кВтч/(м ² год) Первичное энергопотребление за счет электричества (включая тепловые насосы): 190 кВтч/(м ² год)
Франция-климатическая зона Н3	Первичное энергопотребление за счет топливных ресурсов: 80 кВтч/(м ² год) Первичное энергопотребление за счет электричества (включая тепловые насосы): 130 кВтч/(м ² год)	Первичное энергопотребление за счет топливных ресурсов: 80 кВтч/(м ² год) Первичное энергопотребление за счет электричества (включая тепловые насосы): 130 кВтч/(м ² год)
Венгрия	Первичное энергопотребление: 110-230 кВтч/(м ² год)	Первичное энергопотребление: 110-230 кВтч/(м ² год)
Ирландия	Максимально допустимый коэф. энергоэффективности = 0.6 Максимально допустимый коэф. углеродных выбросов = 0.69	Максимально допустимый коэф. энергоэффективности = 0.6 Max Максимально допустимый коэф. углеродных выбросов = 0.69
Литва	Мин.значение для зданий класса С: 80 кВтч/м ² А для зданий 3000 м ² , 100 кВтч/м ² А для зданий 501-3000 м ² , 115 кВтч/м ² А для зданий до 500 м ² .	
Нидерланды	Первичное энергопотребление: 68388-68552 MJ/a	Первичное энергопотребление: 35595-36855 MJ/a
Норвегия	Общий чистый предел спроса на энергию (включая электричество для освещения и бытовых приборов): 120-173 кВтч/м ² А В небольших домах рассчитываемый общий чистый спрос на энергию ограничен до 120+1600/м ² отапливаемой площади половыx покрытий.	Общий чистый предел спроса на энергию (включая электричество для освещения и бытовых приборов): 115 кВтч/м ² А
Польша	Конечное энергопотребление: 142 кВтч/м ² А Отопление и охлаждение: 108 кВтч/м ² А	Конечное энергопотребление: 123 кВтч/м ² А Отопление и охлаждение: 99 кВтч/м ² А
Швеция	Конечное энергопотребление (для зданий с электрическим отоплением): 55-95 кВтч/м ² А Конечное энергопотребление (для зданий с неэлектрическим отоплением): 110-150 кВтч/м ² А	Конечное энергопотребление (для зданий с электрическим отоплением): 55-95 кВтч/м ² А Конечное энергопотребление (для зданий с неэлектрическим отоплением): 100-140 кВтч/м ² А
Словения	Первичное энергопотребление: 170-200 кВтч/м ² А Отопление и охлаждение: 50 кВтч/м ² А Здания с электрическим отоплением делятся в зависимости от трех климатических зон: 95, 75, 55 кВтч/м ² А	Первичное энергопотребление: 170-200 кВтч/м ² А Отопление и охлаждение: 50 кВтч/м ² А
Словакия	Первичное энергопотребление: 80-160 кВтч/м ² А Отопление и охлаждение 42-86 кВтч/м ² А На основании значений фактора формы здания, внутренней температуры воздуха, высоты между этажами, кратности воздухообмена, градусо-дней и т.д.	P: 63-126 kWh/м ² а Отопление и охлаждение: 27-53 кВтч/м ² А
Великобритания	17-20 кгСО ₂ /м ² А Требования в Великобритании основаны на достижении % сокращения выбросов СО ₂ в соотношении с известным зданием того же размера/ той же формы.	16-18 кгСО ₂ /м ² А

Можно утверждать, что использовались многие разнообразные подходы. Разнообразные методы расчета используются и существуют большие различия в определениях (например, определения первичной и конечной энергии, обогреваемой

площади пола, коэффициентов пересчета выбросов углерода, регулируемой энергии и общей потребности в энергии и т.д.).

Принятые требования строительных норм и правил с юридически обязательными целями, как правило, основаны либо на абсолютном (т.е. нельзя превышать) значении, которое, как правило, выражается в кВтч / м²а, или на требовании процентного улучшения на основе модели здания того же типа, размера, формы и направления [5].

Благодаря гармонизации стандартов энергетической эффективности, а также реализации принципа оптимальных затрат (для более глубокого понимания см. Главу 3.2.1. Оптимизация затрат), для определения требований энергетической эффективности для новых зданий в Европе, страны-участницы ЕС регулярно пересматривают эти требования. За счет активных встреч заинтересованных и ответственных органов в отношении требований энергетической эффективности зданий происходит увеличение объема информации и знаний в этой области.

2.2.1. Требования к системам вентиляции, кондиционирования и обогрева

Рассматривая вопросы новых зданий, большинство стран вводят требования, связанные с минимальными показателями эффективности (например, минимальные уровни эффективности котла, дополнительного расхода энергии для циркуляционных насосов или вентиляторов) котлов и систем кондиционирования воздуха. Большинство стран ввели требования для обеспечения минимального уровня вентиляции (кратность воздухообмена и воздушная плотность) внутри зданий.

Таблица 2

Примеры различных (неполных) требований, связанных с вентиляцией воздуха, в строительных нормах и правилах стран ЕС[5]

Австрия	Механические системы вентиляции должны быть оборудованы системой рекуперации тепла при установке в новых зданий или при ремонте здания. В крупных отремонтированных или недавно построенных нежилых зданиях, максимальное потребление тепловой энергии уменьшается на 2 кВт · ч / м ³ а или 1 кВт·ч / м ³ а, если не более половины полезной площади обеспечивается механической системой вентиляции с восстановлением тепла. В крупных отремонтированных жилых зданиях максимально допустимая расчетная потребляемая тепловая энергия уменьшается на 8 кВт / м ² а.
Дания	Системы механической вентиляции должны отвечать следующим требованиям удельного расхода электроэнергии на воздухообмен: <ul style="list-style-type: none"> • 0,5 Вт · ч / м³ в системах с постоянным расходом воздуха • 0,58 Вт · ч / м³ А макс. объем воздуха для систем с переменным объемом воздуха • 0,22 Вт · ч / м для вытяжных систем вентиляции • 0,28 Вт · ч / м для систем вентиляции в одном жилом помещении

Данные требования устанавливаются с тем, чтобы стимулировать использование эффективного оборудования.

Что касается плотности воздуха в новостройках, существуют различия между государствами-членами ЕС, а также небольшие различия в требованиях уровню перепада давления воздуха.

Таблица 3

Примеры разных требований к плотности воздуха в СНиП стран ЕС[5]

Австрия	В зданиях с естественной вентиляцией, максимум 3,0 ч-1 @ n50. В зданиях с искусственной вентиляции максимум 1,5 ч-1 @ n50.
Бельгия	Значение по умолчанию 12 м ³ / ч м используется в методологии, если отсутствует проверка давления. Фактический результат теста используется при расчете, если таковой имеется.
Болгария	В квартирах с высокой плотностью воздуха, <2,0 ч-1 @ n50, со средней плотностью воздуха 2,0-5,0 ч-1 @ n50 и с низкой > 5Н-1 @ n50. В доме для одной семьи с высокой плотностью воздуха, <4.0h-1 @ n50, со средней плотностью воздуха = 4.0-10.0 ч-1 @ n50 и с низкой плотностью воздуха = > 10,0 ч-1 @ n50.
Чехия	Рекомендуемый максимум для обычных зданий 4,5 ч-1, для зданий с низким энергопотреблением 1,5 ч-1 и "пассивных домов" 0,6 ч-1. Для зданий с механической вентиляцией без рекуперацией тепла 1,5 ч-1, с рекуперацией тепла 1,0 ч-1.
Германия	Для зданий с естественной вентиляцией- 3.0ч-1 @ n50 и с искусственной вентиляцией зданий=1,5 ч-1 @ n50.
Дания	Плотность воздуха <1,5 л / с ² , при проверке @ n50.
Испания	Воздухопроницаемость окон и дверей зависит от климатической зоны. Для зон А и В (класс 1, 2, 3 и 4), максимальная проницаемость воздуха 50 м ³ / ч м ² . Для зон С, D и E (класс 2, 3 и 4), максимальная проницаемость воздуха 27 м ³ / ч м ² .
Эстония	Для небольших зданий, максимальная плотность воздуха 6 м ³ / ч м ² (для новых зданий) и 9 м ³ / ч м ² (для существующих зданий). Для больших зданий, максимальная плотность воздуха 3 м ³ / ч м ² (для новых зданий) и 6 м ³ / ч м ² (для существующих зданий).
Финляндия	Скорость воздухообмена в новых квартирах должна быть не менее 0,5 ч-1.
Франция	Плотность воздуха до 4 Па оболочки здания ограничивается 0,8 м ³ / ч м ² для дома для 1 семьи, 1,2 м ³ / ч м ² для других жилых зданий, офисов, гостиниц, учреждений образования и здравоохранения и 2,5 м ³ / ч м ² для других зданий.
Литва	Для зданий с естественной вентиляцией максимум 3 ч-1 @ n50, для зданий с искусственной вентиляцией, максимум = 1,5 ч-1 @ n50.
Латвия	Максимальная величина в жилых помещениях 3 м ³ / ч м ² @ n50, 4 м ³ / ч м ² в общественных зданиях, 6 м ³ / ч м ² в промышленных зданиях. Для вентилируемых зданий, максимум 3 м ³ / ч м ² @ n50.
Нидерланды	Для жилых зданий, 200 дм З/ с @ 10 Па и нежилых зданий 200 дм З / с на 500 м ³ @ 10 Па.
Норвегия	Максимум 3 ч-1 @ n50.
Словакия	Для дома для одной семьи с высоким качеством окон, максимум 4 ч-1 @ n50 и для всех других зданий 2 ч-1. Другие значения применяются для зданий с окнами с двойным остеклением с уплотнениями или с окнами с одинарным остеклением без уплотнений.
Великобритания	Максимум 10 м ³ / ч / м ² @ n50

Что касается источника тепла (в основном, котлов), только в некоторых государствах-членах ЕС установлены минимальные требования эффективности.

Примеры разных (неполных) требований к системам отопления в СНиП стран ЕС[5]

Болгария	Минимальные требования к эффективности котлов в% и функции номинальной мощности котла (Pn) в кВт: 1. Стандартные котлы - 87 + 2 Pn; 2. Низкотемпературные котлы - 90 + 2 Pn; 3. конденсационные котлы - 93 + 2 Pn.
Германия	Запрещается использование котлов, наполненных жидкими или газообразными видами топлива, которые были установлены или созданы до 1 октября 1978 года. Запрещается использование электрических систем аккумулирования тепла в соответствии с положениями, если отопление в зданиях производится исключительно за счет электрических систем аккумулирования тепла.
Дания	Водонагреватели на жидком топливе должны иметь эффективность в соответствии со схемой SE-маркировки не менее 93% при полной нагрузке и 98% при частичной нагрузке. Газовые котлы должны иметь эффективность в соответствии со схемой SE-маркировки не менее 96% при полной нагрузке и 105% при частичной нагрузке.
Великобритания	Газовые котлы (основные системы отопления, используемые в домах в Великобритании) должны соответствовать минимальным КПД 86% по методологии SEDBUK.

1.1. Сертификация/ маркировка энергетических показателей зданий

Сертификация энергетических показателей или маркировка здания может быть определена как политика повышения энергетической эффективности. Как и маркировка бытовой техники (например, холодильников, стиральных машин и т.д.) в зависимости от их уровня производительности, сертификация энергетической эффективности зданий должна давать четкое представление об энергетической эффективности конкретного здания.

Сертификация энергетических показателей может использоваться для новых и существующих зданий, как на добровольных, так и обязательных основаниях. Схемы сертификации могут быть обязательными, например, в Европейском союзе на основе директивы EPBD, или добровольными, например, Energy Smart (в Сингапуре) или ENERGY STAR (в США).



(a)



(b)

Рисунок 7. (a) маркировка ENERGY SMART в Сингапуре¹; (b) маркировка ENERGY STAR в США²

Добровольная сертификация часто рассматривается как вид "позитивного брендинга" для строителей, которые заинтересованы в "рекламе" высоких показателей энергетической эффективности их зданий. Но т.к. строители зданий с более низкими показателями энергоэффективности "не претендуют", добровольные схемы, как правило, определяют только самые эффективные здания. В отличие от этого, обязательные схемы, применяемые для максимального количества зданий, помогают определить самые неэффективные здания - и часто обеспечивают рекомендации и консультации о том, как улучшить рейтинги энергоэффективности [6].

Чтобы быть успешным, необходимо выполнить некоторые условия, связанные с EPC. Домовладельцы должны:

- Знать о его существовании,
- Понимать информацию о нем,
- Доверять информации о нем,
- Считать эту информацию полезной [7].

На рис. 8 приводится пример рейтинга энергоэффективности (сертификата) в Ирландии.

¹ Источник: <http://www.nea.gov.sg/cms/ar2008/3-1-4.html?expandable=0>

² Источник: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/Energy_Star_logo.svg

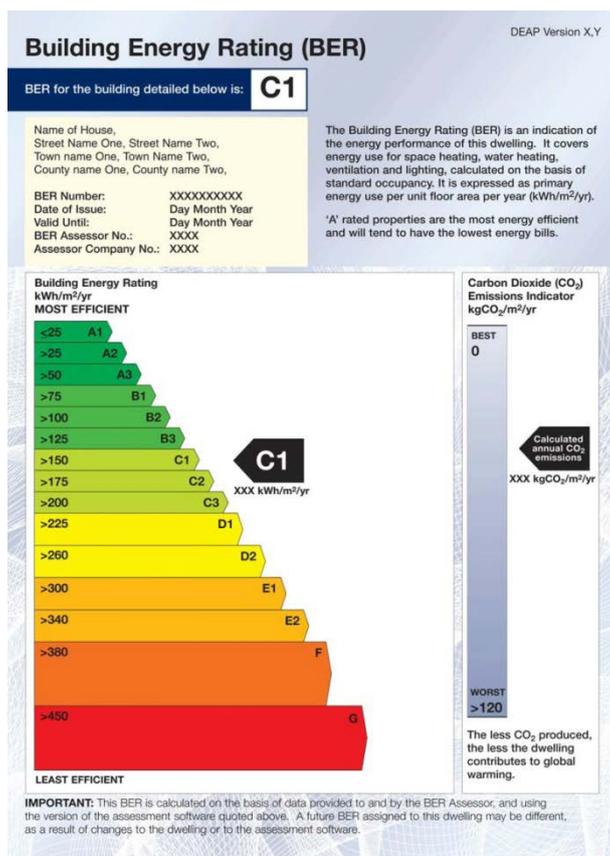


Рисунок 8. образец EPC для жилых зданий в Ирландии³

Для более глубокого изучения и практического использования, МЭА разработало политику по сертификации энергоэффективности зданий [6] на основе четырех стадий (*план-реализации-контроль-оценка*) и список из десяти основных элементов и 38 шагов, которые способствуют реализации или улучшению схемы энергетической сертификации зданий.

1.1.1. Сертификация энергетических показателей в ЕС

Сертификаты энергетической эффективности были впервые введены на европейском уровне в соответствии с директивой EPBD-2002. Немногие страны-участницы ЕС имели рейтинг энергоэффективности зданий или маркировку энергоэффективности зданий, и они решили ввести соответствие тексту Директивы. Сертификация стояла под вопросом в связи с неудовлетворительной реализацией в большинстве стран ЕС. Однако дополнения к Директиве EPBD в 2010 году четко усиливает значимость и роль сертификатов энергетической эффективности.

Согласно пересмотренной Директиве EPBD, страны-участницы должны реализовать обязательную сертификацию новых и существующих зданий, а также проводить периодическую сертификацию общественных зданий.

³ Источник: Бюро по устойчивой энергетике Ирландии, справка BER.

Страны-участницы ЕС должны создать систему сертификации энергетической эффективности зданий. Сертификаты энергетической эффективности:

- Выдаются для зданий или корпусов зданий, которые построены, проданы или сданы в аренду.
- Выдаются для общественных зданий с общей полезной площадью более 500м² (более 250м² с 2015) и часто посещаемых населением; сертификат должен быть представлен на здании.
- Должны включать рекомендации для экономически оптимального или экономически эффективного улучшения энергетической эффективности, предоставлять информацию о фактическом воздействии нагрева и охлаждения, на потреблении первичной энергии в здании и на выбросы CO₂.
- Могут обеспечить оценку периодов окупаемости или экономической выгоды в течение экономического жизненного цикла здания.
- Страны-участницы ЕС должны создать независимый механизм контроля.
- Срок действия EPC (сертификата) не более 10 лет [2].

Предстоит проделать еще немало работы, чтобы страны-участницы смогли создать свои системы EPC, потому что в этой области по-прежнему наблюдаются очень медленные темпы развития. Основные причины - это недостаточное внимание на стимулирование сертификации, отсутствие административной системы / системы регистрации (региональные или центральные базы данных) и отсутствие практического внедрения, например, отсутствие функционирующей системы штрафов.

1.2. Подход ЕС – здания с практически нулевым энергопотреблением

Совет ЕС и Европейский парламент приняли Директиву об энергетической эффективности зданий (EPBD) 2010/31 / ЕС (с дополнениями и изменениями) 19 мая 2010 года. Данная директива требует, чтобы с 2020 года все новые здания были **"зданиями с практически нулевым энергопотреблением"** и соответствовали стандартам высокой энергоэффективности, обеспечивали значительную долю своих потребностей в энергии из возобновляемых источников.

Здание с практически нулевым энергопотреблением (nZEB)

Здание с высоким уровнем энергетической эффективности по определению в соответствии с Приложением I в директиве EPBD с изменениями и дополнениями. Практически нулевой или очень низкий уровень потребления необходимой энергии должен быть в очень значительной степени обеспечен из возобновляемых источников энергии, в том числе энергии из возобновляемых источников, производимой в самом здании или на его территории [EPBD с дополнениями и изменениями 2010/31 / ЕС].

Внимание! Здание с практически нулевым энергопотреблением не является само по себе техническим стандартом или нормой, как и единым определением / походом, а представляет собой политическое требование, которое приводит к ужесточению требований строительных норм и правил.

В EPBD установлено, что nZEB (здания с практически нулевым энергопотреблением) должны быть определены на национальном уровне; следовательно, у стран-участниц ЕС есть разные возможности в принятии решений относительно конкретных определений и реализации, и поэтому подходы в каждой отдельно взятой стране ЕС значительно отличаются друг от друга. На рис. 9 показан график реализации по оптимизации затрат и требования EPBD в отношении зданий с практически нулевым энергопотреблением.

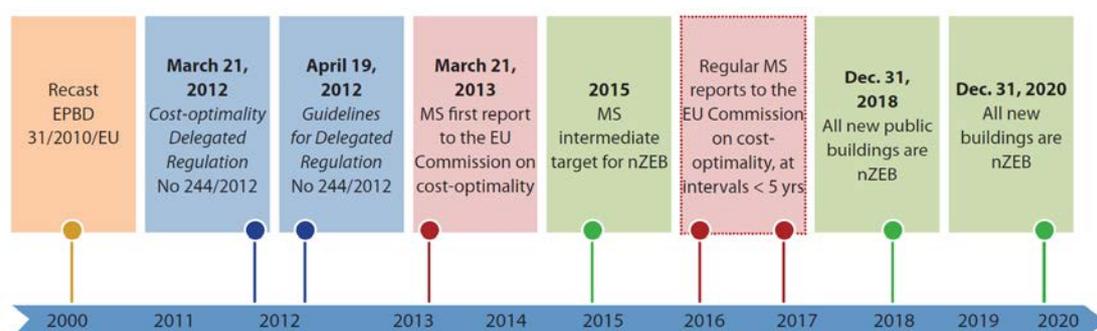


Рисунок 9. График реализации по оптимизации затрат и требований EPBD в отношении зданий с практически нулевым энергопотреблением [8]

Результаты исследования показывают, что принятие уже существующих определений зданий с практически нулевым энергопотреблением будет зависеть от региона и может оказаться очень сложным процессом с несколькими вопросами, которые вызывают противоречия. Необходимо, чтобы условия были четко определены и использовались на всех политических и маркетинговых уровнях. Рекомендуется повысить относительное преимущество, показательность, видимость и совместимость предпочитаемых определений при помощи политических инициатив [9].

Таким образом, представляется, что одним из главных препятствий для реализации Директивы по энергоэффективности зданий (EPBD 2010) является лингвистическая, межрегиональная и законодательная путаница, вызванная числом и разнообразием определений и их исторически определенным смыслом. Необходимо обеспечить более корректное руководство и общее понимание для реализации устойчивых, но реализуемых определений nZEB.

1.2.1. Оптимизация затрат

В соответствии с Директивой EPBD с изменениями и дополнениями, государства-члены (MS) должны "обеспечить установление минимальных требования энергетической эффективности зданий или корпусов зданий с целью достижения *оптимального уровня затрат*." Страны-участницы ЕС также должны "принять необходимые меры для обеспечения установления минимальных требований энергоэффективности в отношении элементов здания, которые образуют часть оболочки здания и которые оказывают существенное влияние на энергетические показатели оболочки здания, когда они заменяются или обновляются, с целью достижения *оптимизации затрат*" (EPBD ст. 4.1, а также в декларативной части пункт 14).

Оптимизация затрат относительно легко определяется для отдельных измерений в четко определенных условиях (например, оптимальной толщины изоляции для трубы, работающей при постоянной температуре при постоянной внешней температуре воздуха). Тем не менее, процесс значительно сложнее в отношении завершенных зданий, а тем более для групп зданий, таких как национальный фонд зданий.

Оптимальный уровень затрат определяется как "уровень энергетических показателей, который приводит к самой низкой стоимости в течение предполагаемого экономического жизненного цикла здания". Страны ЕС будут определять этот уровень, принимая во внимание самые разные расходы, включая инвестиции, техническое обслуживание, эксплуатационные расходы и энергосбережение [10].

На пути к строительству энергоэффективных зданий, экономически оптимальные решения (юридические и технические) должны принимать во внимание местные условия.

С этой целью применялся метод оптимизации затрат: сравнительная методологическая система для расчета стоимости уровня оптимальных затрат минимальных требований энергетической эффективности зданий и элементов здания. Общие цели были следующими:

1. Установить требования энергетических показателей, а также принять во внимание экономические аспекты как фактор улучшения технических строительных стандартов, норм и правил;
2. Переключить внимание с ожидаемых инвестиционных затрат на глобальные затраты жизненного цикла здания (включая затраты на электроэнергию).

Шаги по оптимизации затрат:

1. Выбор / определение моделей здания / систем.
2. Установление комплекса мер для зданий (повышение энергоэффективности и ВИЭ).
3. Расчет тепловых характеристик элементов и энергетической эффективности всего здания (как новых зданий, так и существующих).

4. Расчет затрат жизненного цикла здания с использованием оценки чистых затрат оптимального комплекса мер по оптимизации энергетических показателей модели здания в данной стране ЕС, в кВтч / (м² / А).
5. Сравнение результатов с действующими строительными нормами и правилами, и при необходимости, их модификация.

Оптимальная стоимость для использования ВИЭ на микро или макро-уровне (последний включает расходы на выбросы углерода) должны приниматься во внимание.

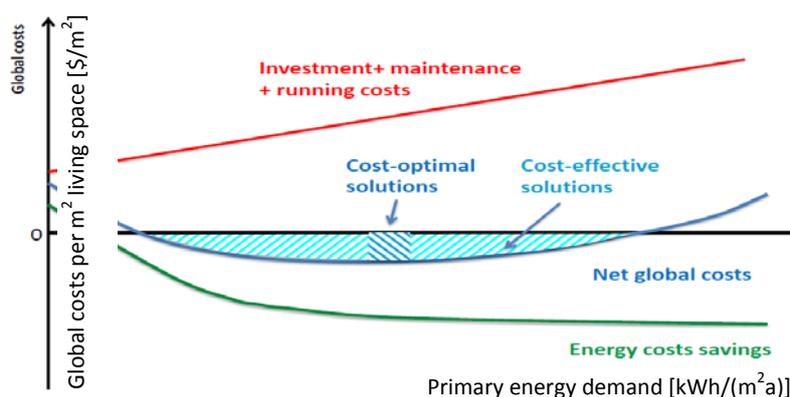


Рисунок 10. Принцип оптимизации затрат[2]

Методология оптимизации затрат должна принимать во внимание долгосрочные цели Европейского союза по декарбонизации (сокращению углеводородных выбросов). Если страны ЕС хотят достичь целей до 2050 года по сокращению выбросов CO₂, то предстоящие требования nZEB в отношении новых зданий должны быть nZCB, с соответствующим уровнем выбросов менее 3 кг CO₂ / м²А-1. Однако, в целях выполнения концепции устойчивого строительства, требование сокращения выбросов CO₂ не может быть целью самой по себе, не будучи связаны с требованиями по сокращению потребления энергии [10].

Реализация принципа оптимизации затрат в настоящее время позволяет выделить существующие пробелы, которые должны быть восполнены в течение следующих лет.

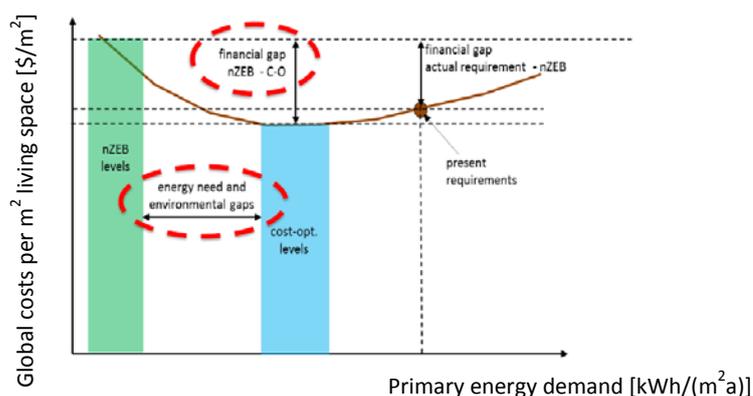


Рисунок 11. Пример финансовых, энергетических и экологических пробелов между уровнями действующих требований и требованиями оптимизации затрат и nZEB [10]

При оценке вариантов систем изоляции и отопления, ведущих к практически нулевому уровню nZEB по методологии оптимизации затрат можно выделить три вида потенциальных пробелов, которые необходимо восполнить до 2020 г. (рис. 11):

- Финансовый разрыв, то есть фактическая разница затрат между уровнем оптимальных затрат и практически нулевым энергопотреблением nZEB;
- Разрыв в энергетических показателях, то есть разница между первичной потребностью в энергии на уровне оптимальных затрат и уровне nZEB;
- Экологический разрыв, т.е. разница между сопутствующими выбросами CO₂ по отношению к первичной потребности в энергии на уровне оптимальных затрат и nZEB, при этом последний ставит целью сведение выбросов углерода к нулю (или <3 кг CO₂ / м² /) для того, чтобы соответствовать целям ЕС по декарбонизации до 2050 г.

Существующие пробелы между определениями уровней оптимальных затрат и практически нулевым уровнем энергопотребления nZEB, возможно, потребуется сократить (например, дополнительные политические меры и меры поддержки). Этот финансовый разрыв во многом зависит от будущего развития многочисленных экономических факторов, наиболее важными из которых являются технологические затраты как реакция на более сформированные рынки и более весомые объемы производства. Наиболее влиятельные факторы, которые необходимо учесть, включают: (1) технологии и; (2) затраты на монтаж (установку).

Необходимо стимулировать развитие рынка более энергоэффективных и возобновляемых технологий и материалов, поскольку это может привести к снижению затрат к 2020 году. Потребуется государственное вмешательство для достижения широкого охвата рынка. Большинство технологий, необходимых для преобразования сектора зданий, при этом может быть выгодным за счет соединения дополнительных НИОКР и эффекта масштаба, чтобы снизить затраты, повысить производительность и улучшить их доступность. Только небольшая часть технологий требуют серьезного стимулирования в отрасли НИОКР (R & D) [2,10].

В директиве EPBD, расчеты энергетического баланса принимают во внимание технические услуги по отоплению, охлаждению, вентиляции и горячему водоснабжению (и освещению в случае нежилых домов). Сюда не включены электричество и центральные службы не включены, но, как правило, они учитываются при измерении потребления энергии в точке поставки.

Источник: Здания с практически нулевым энергопотреблением, чистым нулевым энергопотреблением и с дополнительной энергией -- Как определения и нормы влияют на решения. Журнал REHVA - декабрь 2012 г.

Каждая страна-участница ЕС может установить свой уровень оптимальных затрат для зданий nZEB, принимая во внимание конкретные условия страны.

В целом, реализация методологии оптимизации затрат в странах ЕС приводит к более последовательной и согласованной строительной политике во всей Европе.

Методология оптимизации затрат вводит на всей территории ЕС оценку затрат на здание (в отличие от оценки исключительно инвестиционных затрат/ первоначальных затрат) в качестве инструмента для формирования энергетических требований для новых и существующих зданий. Таким образом, поверхностная оценка на уровне инвестиционных затрат должна быть заменена на более последовательную и устойчивую оценку всех затрат и поступлений, связанных с эксплуатацией здания.

1.2.2. Гармонизация и стандартизация

Директива EPBD оставляет за государствами-членами определенную свободу действий в отношении принятия точных правил (принцип subsidiarity). В Директиве EPBD устанавливаются цели, которые необходимо достичь, но она предоставляет государствам-членам широкую свободу реализовать эти цели, что связано с разницей в типах зданий, вентиляции и кондиционировании, климате, нормативном подходе и организации строительного рынка в Европе. В результате было очень трудно сравнить степень спроса на регулирование в двух разных странах, и такие упрощения мешают сделать прямое сравнение. Поэтому Европейская комиссия выпустила мандат CEN для поддержки реализации EPBD при помощи комплекса европейских стандартов, охватывающих множество тем, включая расчет поставляемой энергии, энергетических потребностей и энергетических затрат, проверки и определения.

Директива EPBD будет пересмотрена вновь в 2017 году после получения определенного опыта [11].

Европейский комитет по стандартизации в настоящее время работает на приведением энергетических стандартов, связанных с Директивой EPBD, в соответствии с этими требованиями. Для этого требуется рассмотрение технологий использования возобновляемых источников энергии, динамической природы энергетических потоков здания и поведения жильцов.

В мае 2014 года, Технический комитет CEN (Европейский комитет по стандартизации) - "Проектная группа по вопросам энергетической эффективности зданий" (CEN / TC 371) принял две технические характеристики:

1. Первая характеристика (Энергоэффективность зданий - Подробные технические правила EPB-стандартов) обеспечивает руководство в форме подробных технических правил по основным принципам, как для всеобщего стандарта, так и для каждого отдельного стандарта в комплексе стандартов EPB.
2. Вторая характеристика (Энергоэффективность зданий - Основные принципы комплекса стандартов EPBDi), охватывает основные принципы, которые должны соблюдаться при разработке стандартов, предназначенных для

поддержки оценки энергетической эффективности зданий с использованием комплексного подхода⁴.

Оба стандарта доступны с июля 2014 года⁵.

CEN сотрудничает с ISO (МОС), и ожидается, что в течение 2016 года все стандарты EPB будут готовы и доступны как EN (или EN-ISO). В случае необходимости, будут предприниматься дополнительные действия по распространению первых проектов среди различных рабочих групп и технических комитетов (CEN и ISO).

Подход практически нулевого энергопотребления nZEB будет изучаться и распространяться (адаптироваться) по всему миру. CEN и ЕС быстро разрабатывают процедуры и стандарты для зданий, систем и продуктов с целью введения зданий с низким энергопотреблением. Разработанные стандарты и процедуры обеспечивают гибкость в их применении по всей Европе и во всем мире. CEN и ISO сотрудничают для достижения общего комплекса стандартов EPB (для ISO серии 52000) [12]. Здесь учитывается новый принцип энергетической эффективности; он определяет Общие энергетические показатели здания (рис. 12): где элементы и изделия, используемые в здании, оцениваются как часть общей системы (здания), а не как продукт.

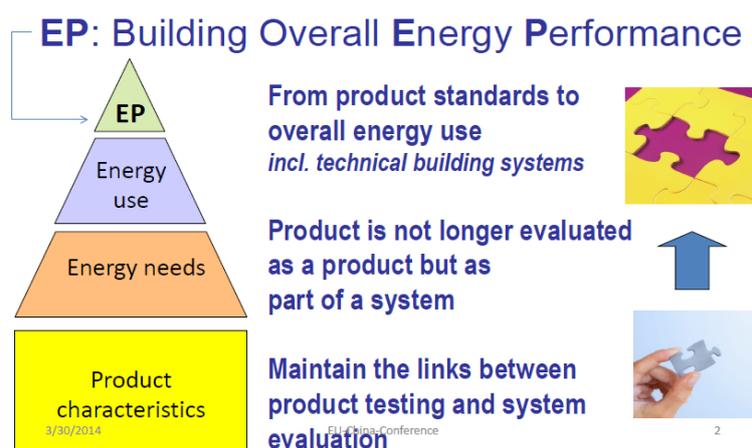


Рисунок 12. Общие энергетические показатели здания[12]

1.3. Концепция технологии Passive house

Технология Passive House (Пассивный дом) хорошо известна и зарекомендовала себя как всемирно признанный стандарт энергоэффективной архитектуры. Она была

⁴ Источник: <http://www.cembureau.eu/newsroom/article/energy-performance-buildings-standards-two-technical-specifications-adopted>

⁵ Источник:

http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:22:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:628909,25&cs=1D27AA0841962F20104AE752854B0FA4B

разработана в Германии, но тысячи домов по технологии Passive House были построены во всех странах Европы, а также увеличилось число таких зданий во всем мире в местах, охватывающих все виды зданий и все климатические зоны.

Принципы Passive house могут быть реализованы в том числе и в отношении ремонта / модернизации существующих зданий. Увеличение инвестиций для реализации принципов Passive House с целью повышения эффективности в существующих зданиях зачастую можно вернуть за счет значительной экономии эксплуатационных расходов.

Таблица 5

Технические характеристики Passive house[13]

Потребность в отоплении площади	<15 кВтч в год или 10Вт (пик спроса) на квадратный метр полезной жилплощади.
Потребность в охлаждении площади	Примерно соответствует потребности в тепле с дополнительным, зависимым от климата стимулированием для осушения.
Спрос на первичное энергопотребление	<120 кВтч в год для любых применений в быту (отопление, охлаждение, горячего водоснабжения и электричества в доме) на квадратный метр полезной жилплощади.
Плотность воздуха	Максимум 0,6 смен воздуха в час при давлении 50 Па (при проведенном тестировании в помещении в состоянии до оказания давления и после).
Тепловой комфорт	Должны быть выполнены в любых жилых помещений в течение года не более чем 10% от часов в любой год с показателем температуры 25 ° С.

Рекомендуемые температурные пределы пропускания по стандарту Passivhaus:

- стены, полы и крыши $U \leq 0,15 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ К}$;
- Полная оконная система $U \leq 0,85 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ К}$.

Концепция Passive house для дома, рассчитанного на одну семью, включая основные принципы Passive house, отражена на рис. 13.



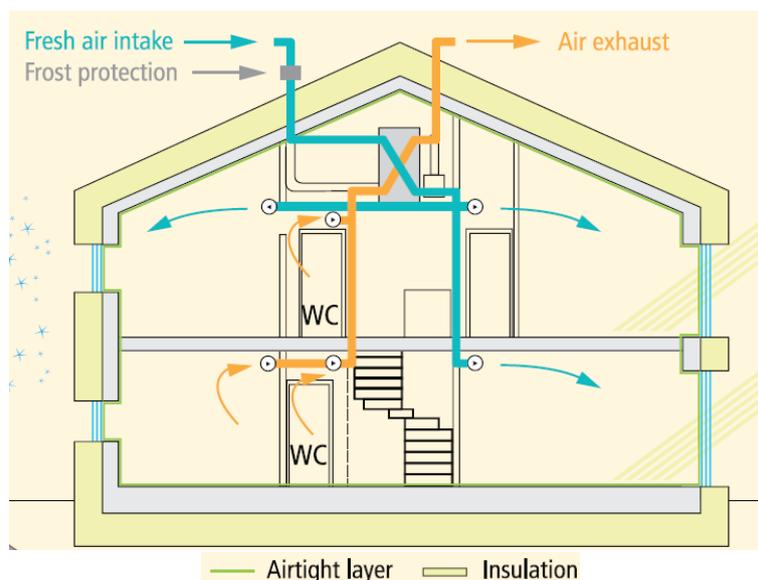


Рисунок 13. Пример концепции Passive House, адаптированной для холодного климата [13]

Для того, чтобы здание получило сертификат Passivhaus, оно должно соответствовать следующим критериям энергоэффективности (см. таблицу 6).

Таблица 6

Критерии энергоэффективности Passivhaus[13]

Энергоэффективность здания	
Удельный спрос на отопление	$\leq 15 \text{ кВтч/м}^2 \text{ А}$
Или удельная пиковая нагрузка	$\leq 10 \text{ Вт/м}^2$
Удельный спрос на охлаждение	$\leq 15 \text{ кВтч/м}^2 \text{ А}$
Спрос на первичное энергопотребление	$\leq 120 \text{ кВтч/м}^2 \text{ А}$
Требования к показателям элементов здания	
Плотность воздуха	$\leq 0.6 \text{ ас/ч (n50)}$
U-значение окна	$\leq 0.80 \text{ Вт/м}^2\text{К}$
U-значение установленного окна	$\leq 0.85 \text{ Вт/м}^2\text{К}$
Показатели обслуживания	
Эффективность восстановления тепловой энергии	$\geq 75\%*$
Электрическая эффективность	$\leq 0.45 \text{ Втч/м}^3$
Критерии теплового и акустического обслуживания	
Частота перегрева	$> 25^\circ\text{C} \leq 10\% \text{ в год}$
Максимальный звук из здания	35 dB(A)
Максимальная звукопроницаемость жилых комнат	25 dB(A)
* Обратите внимание на то, что энергоэффективность нулевого потребления должна рассчитываться по стандарту Passivhaus, а не по стандарту производителя	

Существует также возможность посетить быстрый курс обучения, результатом которого станет экзамен, который необходимо сдать, чтобы стать полноправным Сертифицированным европейским дизайнером по стандарту Passivhaus (CEPH). Эта квалификация признается в качестве отраслевого стандарта для тех, кто собирается профессионально работать в качестве дизайнера по технологии Passivhaus в Европе, а также в Великобритании.

1.4. Здание с (нулевым чистым) показателем энергопотребления

Здание с чистым показателем практически нулевого энергопотребления обладает энергоснабжением за счет возобновляемых источников, которое составляет потребность в энергии в годовом балансе [14].

Первые действия в отношении Net-ZEB предприняты в 2005-2006 г.г. Концепция Net-ZEB тогда носила общий характер, и в 2006 году не было общепринятого понятия о том, что представляет собой Здание с чистым показателем практически нулевого энергопотребления. Поэтому в рамках Международного энергетического агентства в 2008 году начался международный проект "К зданиям с чистым показателем нулевого энергопотребления за счет солнечной энергии [14].

Упрощенный энергетический баланс здания с нулевым энергопотреблением представлен на рис. 14.

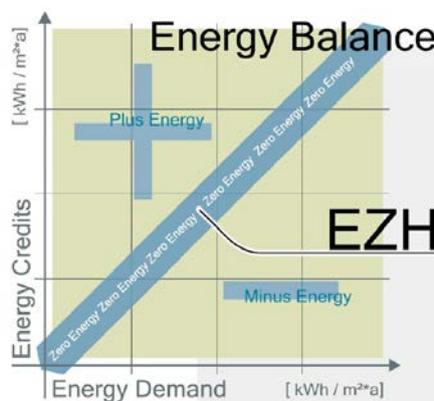


Рисунок 14. Энергетический баланс здания с нулевым энергопотреблением [15]

ZEB – это здание, в котором баланс общего спроса на энергию равен производству энергии из возобновляемых источников энергии.

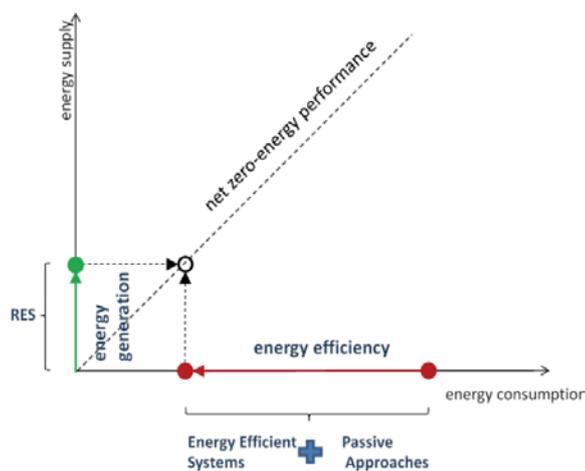


Рисунок 15. Энергетический баланс здания с чистым показателем нулевого энергопотребления [14]

Здание с чистым показателем нулевого энергопотребления - это здание с потреблением энергии 0 кВтч (первичная) / м2. "Чистый" в данном определении относится к годовому балансу. Использование энергии 0 кВтч (первичная) / м2 должно быть достигнуто за счет мер по повышению энергоэффективности и за счет возобновляемых источников энергии. Здание с чистым показателем нулевого энергопотребления, как правило, представляет собой здание с очень высокой энергетической эффективностью в сети. Чистая ZEB уравнивает свое первичное потребление энергии таким образом, что первичное снабжение энергии в сети или другой энергетической сети составляет уровень первичной энергии поставляемой в здании с чистым показателем нулевого энергопотребления.

1.5. Здание с нулевым уровнем выбросов

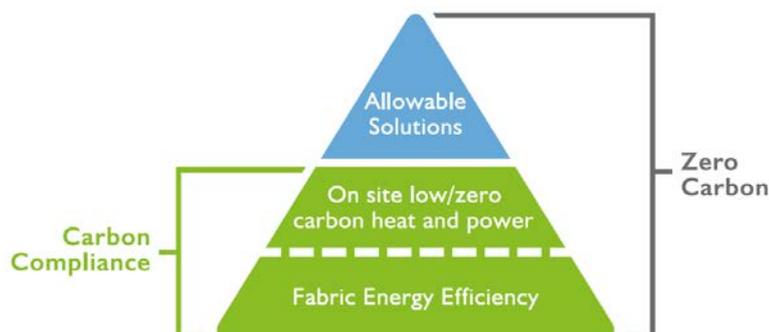
В настоящее время строятся здания с локальным возобновляемым энергоснабжением, которое исключает выбросы, связанные с производством материалов и условно вырабатываемой энергией, потребляемой зданием. Этот подход используется в Великобритании и называется Стандартом нулевого уровня выбросов углерода.

1.5.1. Стандарт нулевого уровня углеводородных выбросов

В 2007 правительство Великобритании ввело политику, в соответствии с которой с 2016 года все новые здания должны соответствовать Стандарту нулевого уровня углеродных выбросов. Это изменение, как ожидается, будет осуществляться в первую очередь за счет постепенного ужесточения строительных норм и правил.

Целью Великобритании является соответствие всех новых домов Стандарту нулевого уровня углеродных выбросов с 2016 года, и эта цель опередила цель Директивы по

энергетической эффективности зданий (EPBD) для всех новых зданий в ЕС обеспечить "практически нулевой уровень энергопотребления зданий" с 2020 года.



Proposed Zero Carbon home definition, Zero Carbon Hub

Рисунок 16. Определения здания с нулевым уровнем углеродных выбросов[16]

Чтобы здание получило сертификацию как "здание с нулевым уровнем углеродных выбросов" (Zero Carbon), оно должно соответствовать трем требованиям:

1. Сократить потребность в энергии при помощи энергоэффективности материалов. Энергетические показатели материалов должны, как минимум, соответствовать Стандарту энергоэффективности материалов (FEES).
2. Любые выбросы CO₂, которые остаются после рассмотрения энергоэффективности материалов, отопления, охлаждения, фиксированного освещения и вентиляции, должны быть меньше или равны пределу, устанавливаемому Регламентом углеродных выбросов для зданий с нулевым показателем выбросов углерода.
3. Любые оставшиеся выбросы CO₂ от использования регулируемых источников энергии в здании должны быть сведены к нулю.

Это требование можно выполнить либо за счет более высоких показателей по пунктам 1 и 2, либо за счет инвестиций в проекты по сокращению выбросов углерода с помощью допустимых решений [16].

Основная концепция здания с нулевым показателем углеродных выбросов заключается в том, что возобновляемые источники энергии, производимые или трансформированные в самом здании, должны компенсировать выбросы CO₂ от эксплуатации здания, а также производства, транспортировки и уничтожения всех строительных материалов и компонентов в течение жизненного цикла здания.

Источник: Арильд Густавсен. Научно-исследовательский центр зданий с нулевым уровнем углеродных выбросов. NUAS, 2013 г.

В любом случае, здание должно потреблять мало или очень мало энергии, в дополнение к той энергии (тепло, охлаждение и электричество), которая производится в самом здании или на его территории. Также необходимо учитывать ассоциированную энергию, например, материалов и т.д., которые используются в здании.

Здание с нулевым уровнем выбросов может иметь много различных архитектурных выражений и предоставляет множество архитектурных возможностей [17].

1.6. Активные здания / здания с дополнительной энергией

Активные здания

В активных зданиях основное внимание уделяется низкому энергопотреблению, использованию дневного света, стратегиям естественной вентиляции и возобновляемых энергоресурсов в здании. Активное здание не противопоставляется пассивному зданию (Passive house). Эти концепции не противоречат друг другу.

Active House основан на пассивных стратегиях проектирования, такое здание проектируется и строится, чтобы использовать как можно меньше энергии, но переходит на новый уровень, производя свою собственную энергию, часто с помощью фотоэлектрических панелей, включая солнечные водонагреватели и / или геотермальная тепловые насосы. Active house в большей мере по сравнению с домом с чистым показателем нулевого энергопотребления создает положительную энергию, которая может подаваться обратно в электросеть⁶.

Здания с дополнительной энергией

Здания с дополнительной энергией (Plus-energy) используют возобновляемые источники энергии для энергоснабжения, которое превышает спрос на энергию в годовом балансе.

Это здания, которые генерируют энергию в помещениях (например, фотоэлектрические элементы, ветряные турбины, микро ТЭЦ и т.д.) и подают энергию в городские сети энергоснабжения, откуда время от времени используют энергию; но ежегодно передавая больше энергии в сеть, чем потребляя из сети. В случае, если в здании системы возобновляемых источников энергии производят больше годового спроса на энергию, возможна доля возобновляемых источников энергии более 100%.

Функционирование здания в качестве поставщиков энергии создает сценарий, который открывает совершенно новые пути обеспечения энергоснабжения [18].

⁶Источник: <http://patch.com/massachusetts/winchester/bp--passive-house-vs-active-house-two-compelling-buil33c0960904#.U9pHFmPIx7s>

2. Переход к высокофункциональным и устойчивым зданиям

Текущий вопрос, который задет себе весь мир, связан с усилиями по сокращению потребления энергии и выбросов CO₂, которые, в основном, производятся в результате деятельности промышленности, транспорта, строительных работ. На строительный сектор приходится почти 40% потребления и выбросов парниковых газов. Две трети этих выбросов образуется в результате функционирования жилых зданий, которые в то же время имеют наибольший потенциал для энергосбережения.

Добиться значимого сокращения энергопотребления и выбросов CO₂ можно при сочетании наилучшей доступной технологии и разумной государственной политики. Обеспечение того, чтобы учитывались все доступные варианты, потребует беспрецедентных усилий и координации действий между разными заинтересованными сторонами, в том числе политиками, строителями, разработчиками технологий, производителями, монтажниками оборудования, финансовыми учреждениями, предприятиями и потребителями.

Для обеспечения перехода к высокофункциональным зданиям и для получения этих сбережений, необходимо, чтобы все ключевые заинтересованные стороны предприняли определенные действия (см. рис.17).

Все заинтересованные стороны подчеркивают необходимость того, чтобы энергоэффективность стояла выше политических мер, но до сих пор по этому вопросу не достигнуто согласия.

Поэтому подчеркивается важное значение демонстрационных проектов, т.к. они помогают усилить доверие относительно того, что можно сделать с точки зрения стоимости и технологий, и тем самым помогают стимулировать рынок и, в свою очередь, обеспечивают политическую волю для перехода к высокопроизводительным зданиям за счет принятия новых стандартов и более жестких строительных норм и правил [19].

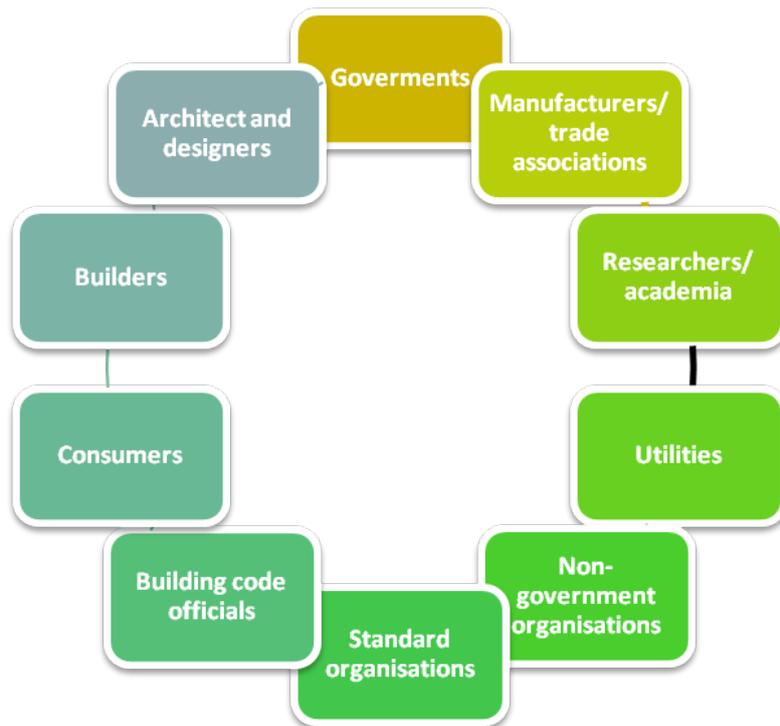


Рисунок 17. Все заинтересованные стороны, участвующие в переходе к высокопроизводительным зданиям

В то время как строительные нормы приближаются к (очень) низкому / почти нулевому уровню энергопотребления, вопрос затрат становится все более важным и необходимость в четкой / определенной методологии для демонстрации затрат и выгод от перехода к высокофункциональным зданиям становится все более актуальной.

Рыночные ограничения в строительном секторе являются сложными и их сложно преодолеть, а потому успешная реализация государственной политики будет иметь важное значение для достижения высокого уровня диффузии рынка. Существует потребность в комплексных и всеобъемлющих стратегиях, чтобы помочь преодолеть ряд препятствий, например высокие первоначальные затраты, отсутствие осведомленности потребителей о технологиях и их потенциале, расхождение в стимулах и в том, что истинные затраты на выбросы CO₂ не отражаются на рыночных ценах.

Источник: Переход к устойчивым зданиям: стратегии и дорожные карты до 2050 года. МЭА, 2013 г.

Непосредственные приоритеты и будущие цели должны отражать энергоснабжение страны и энергопотребление. Большинство технологических вариантов и политических рекомендаций, описанных в этой книге, могут применяться во всех странах прямо сейчас или в будущем. Однако, учитывая ограничения на ресурсы существует необходимость установить приоритеты тех действий, которые оказывают наибольшее влияние в каждой стране. Первым важным шагом в улучшении глобального жилищного фонда является создание и соблюдение строгих строительных норм и

правил, которые включают минимальные требования энергетической эффективности новых и отремонтированных зданий. Некоторые здания в отдельных странах эксплуатируются более 100 лет, а потому их очень дорого обновлять, то есть необходимы срочные меры, чтобы гарантировать, что оболочки высокоэффективных зданий быстро получит долю рынка и быстро станет стандартом для всех новых зданий в глобальном масштабе [20].

2.1. Вопросы качества

Новые требования к высокопроизводительным зданиям, ориентированные в частности, путем регламентов для новых зданий, призывают к привлечению высококвалифицированных специалистов. И в связи с наличием большого разрыва между этим новым регламентом (и будущим) и предыдущим, строительные подрядчики должны быть очень хорошо подготовлены, чтобы построить настоящее здание с нулевым показателем энергопотребления nZEB. Всегда есть разница между проектом на бумаге и самим зданием: цель состоит в том, чтобы построить здание так, как оно запланировано на бумаге [21].

Наблюдается перспективная потребность в квалифицированном персонале в области nZEB и в профессиональной подготовке специалистов. Они должны понять, почему важно освоить основы строительства зданий с низким энергопотреблением.

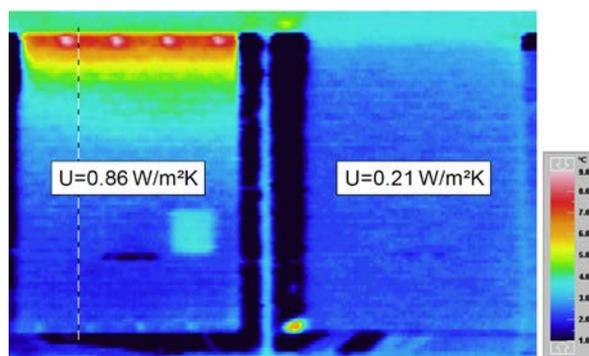


Рисунок 18. Инфракрасные снимки внешнего листа двух полномасштабных стен с максимальной теплоизоляцией в здании, проверенном VLJET в Левене.

Влияние вквалифицированных специалистов на тепловые характеристики стен отчетливо продемонстрировано (слева: работа плохих специалистов, в результате чего произошло воздушное закливание вокруг изоляции, справа: работа хороших специалистов). Цифры представляют общие измерения U-значения на месте, при этом проектируемое значение обеих стен составляет 0,2 Вт / м²К.

На рис. 18 показано воздействие воздушного закливания в результате плохо выполненной работы на U-значение полости стены [Hens и др., 2007 г.]. Хотя проектируемое U-значение соответствует высокому уровню изоляции ($U = 0,2 \text{ Вт} / \text{м}^2$

K), реальное значение на основе полномасштабной проверки составляет 0,8 Вт / м² К, что соответствует увеличению более чем на 300% [22].

На практике данные специалисты сталкиваются с рядом проблем, которые варьируются от последствий экономического кризиса до тяжелых социальных проблем и вопросов технической ответственности. Новые технологии развиваются слишком быстро, чтобы их можно было профессионально освоить при данных темпах развития рынка. Следующие профессии, связанные с решением нижеприведенных задач, считаются самыми проблемными:

- предотвращение проникновения влаги;
- тепловые мосты;
- выбор изоляционных материалов для стен и крыш;
- солнечные нагреватели воды;
- солнечное отопление;
- комбинированные энергетические системы;
- ужесточение минимальных требований к эффективности тепловых насосов, котлов, быстрых газовых обогревателей и других систем кондиционирования и вентиляции;
- системы прямого расширения переменного тока;
- программируемые автоматические системы управления и регулирования;
- управление вентиляцией;
- контрольные измерения;
- запрос на консультирование по вопросам оптимизации энергии и принятия альтернативных решений;
- обязательство конкретного специалиста для осмотра и обслуживания систем вентиляции и кондиционирования;
- ввод в эксплуатацию систем [21].

Компонент Директивы EPBD, который, кажется, в большей мере повлияет на будущую потребность в квалифицированном персонале, - это NZEB, а затем, возможно, требования к качеству воздуха в помещениях и предотвращению проникновения влаги [21].

Традиционный подход к созданию потенциала, основанный на строго вертикальной системе навыков (каменщик, электрик, гидротермальный техник, плотник и т.д.), должен расширяться с учетом более горизонтальной системы подходов к обучению. В

данном случае очень важно, чтобы здание рассматривалось в качестве комплексной концепции, где знания в разных областях имеют решающее значение. Это означает, что специалисты должны иметь возможность получения более широкого кругозора и выхода за пределы своей квалификации. В некоторых странах рекомендуется применение междотраслевого образования и дополнительного обучения помимо конкретного образования и профессиональной подготовки по определенной специальности.

2.2. Процесс интегрированного проектирования

Проектирование высокопроизводительных зданий требует применения междисциплинарного и инновационного подхода.

Комплексное (интегрированное) проектирование - это подход, который рассматривает процесс проектирования, а также физические решения, а общая цель заключается в оптимизации здания как целостной системы на протяжении его жизненного цикла. Во-первых, с целью достижения высоких показателей устойчивости комплексная многопрофильная группа должна разрабатывать и обсуждать альтернативные здания и технические решения. Комплексное проектирование выделяет процесс принятия решений на основе осознанного выбора с учетом целей проекта и систематической оценки проектных предложений [22].

Процесс интегрированного проектирования состоит из следующих 5 этапов. Более подробная схема отражена на рис. 19.

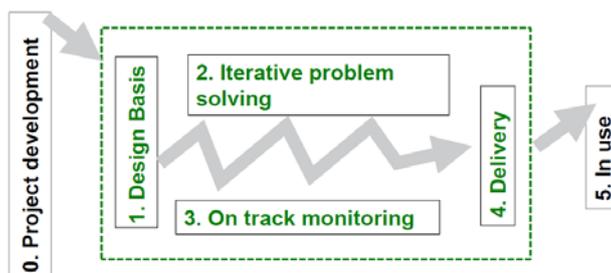


Рисунок 19. Этапы интегрированного проектирования⁷

Процесс интегрированного проектирования предполагает более тесное взаимодействие всех заинтересованных сторон.

⁷ Источник: Клеменс Лейтгоб. Введение в интегрированное проектирование. http://www.integrateddesign.eu/downloads/e7_what-is-ID.pdf

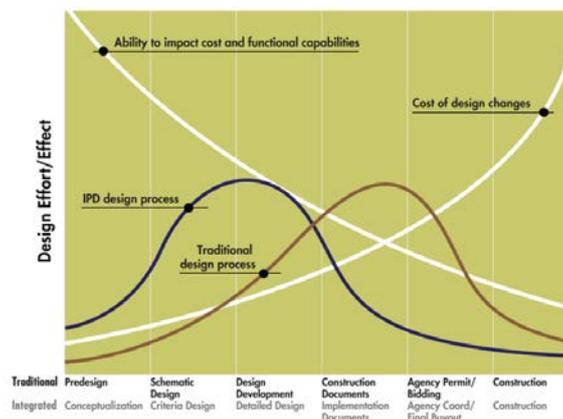


Рисунок 20. Процесс интегрированного проектирования[24]

Также очевидно, что должен быть определенный переходный период для подготовки строительной отрасли (разных заинтересованных сторон) и для обеспечения готовности к более жестким и системным строительным стандартам. Таким образом, для внедрения всех новых политических мер или комплексов норм и правил должна быть разработана система реализации и корректировки, а в случае необходимости - совершенствования, таких норм и правил.

5.Список использованных источников (на английском языке)

1. Modernising Building Energy Codes. IEA, 2013.
2. Bogdan Atanasiu. EU policies for increasing the energy performance of buildings. Buildings Performance Institute Europe. 2013
3. Gordon Sutherland. EU strategy and policy progress on energy- efficient buildings. 2014.
4. Towards nearly zero-energy buildings. Definition of common principles under the EPBD. Final report. Ecofys. 2013
5. Marina Economidou, Energy performance requirements for buildings in Europe. REHVA Journal – March 2012.
6. Energy Performance Certification of Buildings - A Policy Tool to Improve Energy Efficiency, IEA, 2010.
7. Julia Backhaus, Casper Tigchelaar, Marjolein de Best-Waldhober. Key findings & policy recommendations to improve effectiveness of Energy Performance Certificates & the Energy Performance of Buildings Directive. 2012.
8. Understanding (the very European concept of) Nearly Zero-Energy Buildings. the European Council for an Energy Efficient Economy, 2014.
9. Innovation Development for Highly Energy Efficiency housing - Opportunities and Challenges Related to the Adoption of PH.
10. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Lessons learned from three case studies. BPIE. 2013.
11. Eduardo Maldonado. The Way to Harmonization: EU Directive EPBD (Energy Performance of Buildings Directive). e European “Buildings Concerted Action”, 2011.
12. Jaap Hogeling, Progress towards the 2nd generation CEN-EPB s standards, first results and cooperation on ISO level, 2014.
13. Active for more comfort: Passive House. IPHA, 2014.
14. F. Garde at al. How to design a net zero energy building? Solution sets and case studies: experience and feedback of the IEA Task 40/Annex 52, 2013.
15. Jan Wienold. Zero Energy Building Concept for different climates. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. 2009.

16. Zero carbon homes and nearly Zero energy buildings. UK Building Regulations and EU Directives. Zero Carbon Hub.
17. Malcolm Bell. Achieving Near Zero Carbon Housing: The role of performance measurement in production processes. Workshop on High Performance Buildings; Design and Evaluation Methods, 24 – 26 June 2013, Belgium Building Research Institute, Brussels.
18. Hans Erhorn. The age of positive energy buildings has come. Fraunhofer Institute for Building Physics. 2013.
19. Designing and implementing best practice building codes: Insights from policy makers. IEA, 2014.
20. Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Roadmaps to 2050. IEA, 2013.
21. Towards improved quality in energy efficient buildings through better workers' skills and effective enforcement. A view of the Concerted Action EPBD on Challenges and Opportunities. CA EPBD, 2014.
22. Reliable building energy performance characterisation based on full scale dynamic measurements, IEA ECBCS Annex 58, 2014.
23. Theoni Karlessi at al. Adapting the principles of Integrated Design to achieve high performance goals: Nearly Zero Energy Building in the European market. IEECB, 2014.
24. S. Attia at al. Identifying and modeling the integrated design process of netZero energy buildings. Interdisciplinary Laboratory of Performance-Integrated Design (LIPID), School of Architecture, Civil and Environmental Engineering (ENAC), École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 2012.