



---

**ПРОЕКТ ПРООН/ГЭФ 00077154**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ  
ЗДАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

---

**Отчет 05480/5/01/3-06**

(Контракт № IC: 2013-098-01)

Рекомендации по экономически эффективному снижению энергопотребления в различных типах жилых домов (Деятельность 6)

Ingenieurgesellschaft BVP Bauconsulting mbH  
Wolfener Straße 36  
D-12681 Berlin

В сотрудничестве с

Initiative Wohnungswirtschaft Ost (IWO) e.V.  
Friedrichstraße 95  
D-10117 Berlin

В этом документе всего 32 страниц.

Берлин, 19.05.2014

**Инж. Александр Шеллхардт (Alexander Schellhardt)**  
Эксперт по энергоэффективности зданий

## Содержание

Страница

<b>1</b>	<b>Предисловие – Устойчивость</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Факты и цели</b>	<b>7</b>
2.1	Мотивация	7
2.1.1	Мощности	7
2.1.2	Зависимость	8
<b>3</b>	<b>Экономическая устойчивость</b>	<b>8</b>
3.1	Выбросы и испарения	8
3.2	Тепловой комфорт	9
3.2.1	Отопление	9
3.2.2	Охлаждение - защита от солнца - дневное освещение	10
<b>4</b>	<b>Экономическая эффективность</b>	<b>10</b>
4.1	Анализ затрат на срок службы здания	11
4.2	Новые здания	12
4.2.1	Размещение здания	13
4.2.2	Компактность	13
4.2.3	Оболочка здания	14
4.2.4	Мостики холода	18
4.2.5	Герметичность	19
4.2.6	Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ)	20
4.2.7	Сравнение различных технологий	24
4.2.8	Вентиляция	25
4.2.9	Отопление	26
4.2.10	Охлаждение	27
4.2.11	Подогрев воды	27
4.2.12	Освещение	27
4.3	Пример: Модернизация существующих зданий	27
<b>5</b>	<b>Вывод</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Источники</b>	<b>31</b>

## 1 Предисловие – Устойчивость

Первое упоминание устойчивости можно отнести к середине 17-го столетия, когда древесина была одним из главных источников топлива и, кроме того, необходимым сырьевым материалом. В то время запасы древесины во всей Европе начали истощаться. Немецкий камералист, советник по горному делу и глава отдела горных работ Ore Mountains Ганс Карл фон Карловиц занялся этим вопросом и в 1713 году сочинил труд под названием “*Sylvicultura oeconomica*” – “Лесная растительность или рассуждения о деревьях в лесу и получении больших объемов древесины во владениях Его Величества”, в котором он заложил основы экологического лесоводства. Принцип его учения состоит в том, что можно вырубать только такое количество деревьев, которые могут вырасти при лесоразведении путем высева и посадки саженцев деревьев. То есть первоначально термин “устойчивость” означал нечто большее.

Само слово устойчивость (по английский “sustainability”) происходит от латинского “sus - tenere” и означает держать (что-либо) высоко. С точки зрения лесоводства он означает такое ведение лесного хозяйства, при котором обеспечивается постоянный объем продукции на протяжении поколений. Карловиц призывал использовать древесину бережно и сознательно, и при этом избегать расточительности.

В итоге получаем преимущество в использовании даров природы на протяжении многих лет и идею о разделении и сбережении ресурсов. Сегодня этот принцип применим более или менее ко всем сторонам нашей повседневной жизни, в особенности, если речь идет о ведении хозяйства.

Сегодня древесина уже не используется как единственный источник топлива. Существует множество других ресурсов: ископаемых и возобновляемых. Тем не менее, ископаемые источники топлива не вечны, а поэтому снова придет время, когда ресурсы станут редкостью, точно как возобновляемая древесина в начале 17-го века. К сожалению, ни природный газ, ни нефть нельзя ни посеять, ни посадить.

Не говоря уже о том, что следующим поколениям вообще придется жить без ископаемых топливных ресурсов, также существует проблема изменения климата, которая, среди прочего, вызвана выбросами парниковых газов, которые образуются при сгорании ископаемых видов топлива.

За последние 50 – 100 лет возрастающие уровни индустриализация и деятельность человека (например, промышленность, сельское хозяйство и транспорт) стали влиять на естественный климатический баланс. Эти виды деятельности повышают содержание парниковых газов в атмосфере, из-за чего Земля не только нагревается, но и нагревается с невиданной скоростью. С начала промышленной революции (около 1750 года) влияние человеческой деятельности на климат выразилось в повышении температуры. Влияние человека на климат в этот период намного превышало влияние естественных процессов, таких как изменение солнечной активности и извержения вулканов. Сегодня ученые отмечают изменения, свидетельствующие о том, что климат стал, в целом, теплее и более изменчивым. Частично такая изменчивость связана с повышенным содержанием диоксида углерода в атмосфере Земли. Согласно научным исследованиям, за последние 650000 лет на планете

никогда не отмечалось такого содержания диоксида углерода в атмосфере, как сегодня, и оно продолжает расти.<sup>1</sup>

Тем не менее, особенно важны несколько элементов естественного углеродного цикла. Основные пути поступления углерода в атмосферу и его стока – это растворение газа в океане и из океана, фотосинтез, при котором поглощается CO<sub>2</sub> (из атмосферы) и дыхание, при котором образуется диоксид углерода (поступление в атмосферу).<sup>2</sup>

Экологическая система основательно нарушена человеческим вмешательством, как говорилось выше. Однако это связано не только с обильными выбросами газа, но еще и с тем, что нарушен естественный природный баланс и способность поглощать CO<sub>2</sub> из-за вырубки дождевых лесов и других видов сведения лесов, а также сдерживания фотосинтеза.

Измерения уровня CO<sub>2</sub> в обсерватории Мауна Лоа показывают, что концентрация газа возросла с 313 частей на миллион в 1960 году до 389 частей на миллион в 2010 году<sup>3</sup>. Этот уровень достиг порогового значения 400 частей на миллион 9 мая 2013 года<sup>4</sup>.

Глобальное потепление – это не только нарушение экологического равновесия, флоры и фауны, оно также усугубляет негативное влияние на здоровье человека. В последнее время количество природных катастроф постоянно возрастает во всем мире, как показано на графике ниже.

---

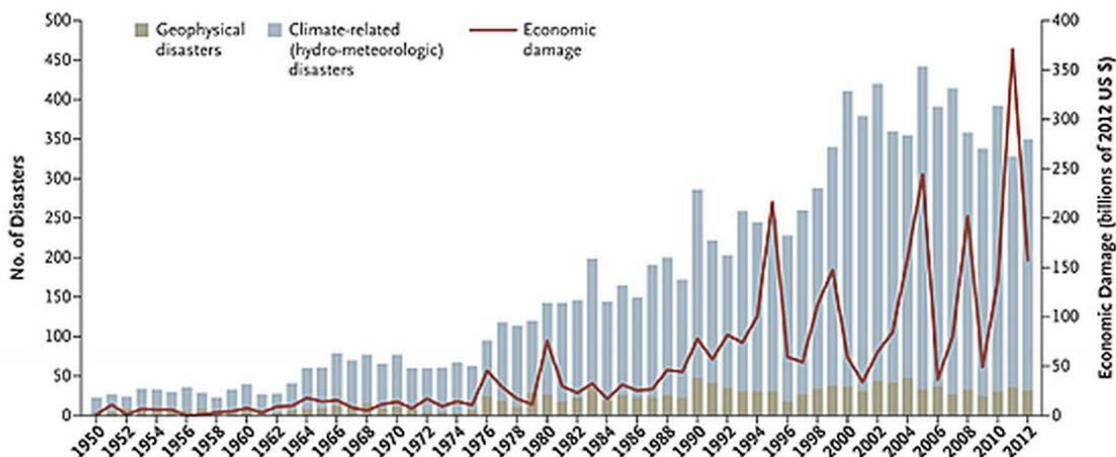
<sup>1</sup> Министерство окружающей среды, Новая Зеландия (<http://www.climatechange.govt.nz>)

<sup>2</sup> Исследования Университета Мичигана (<http://www.globalchange.umich.edu>)

<sup>3</sup> "Atmospheric Carbon Dioxide – Mauna Loa". NOAA.

<sup>4</sup> <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2013/05/130510-earth-co2-milestone-400-ppm>

**Рисунок 1 Количество природных катастроф в период с 1950 по 2012 год в пересчете на экономический ущерб**



Center for Research on Epidemiology of Disasters, University of Louvain

No. of Disasters	Кол-во катастроф
Geophysical disasters	Геофизические катастрофы
Climate-related disasters	Катастрофы, связанные с изменениями климата (гидрометеорологические)
Economic damage	Экономический ущерб
Economic Damage (billions of 2012 US\$)	Экономический ущерб (млрд. долл. США 2012 года)

Эти катастрофы не только вызвали потери миллиардов долларов, но что еще важнее, унесли много жизней. Помимо этого, участвовавшие и более продолжительные периоды сильной жары как следствие глобального потепления могут увеличить число болезней, связанных с жарой, например, теплового удара или обезвоживания со смертельным исходом, высокой концентрацией загрязняющих веществ в воздухе и воде, создающих повышенную опасность распространения болезней через бактерии и насекомых.

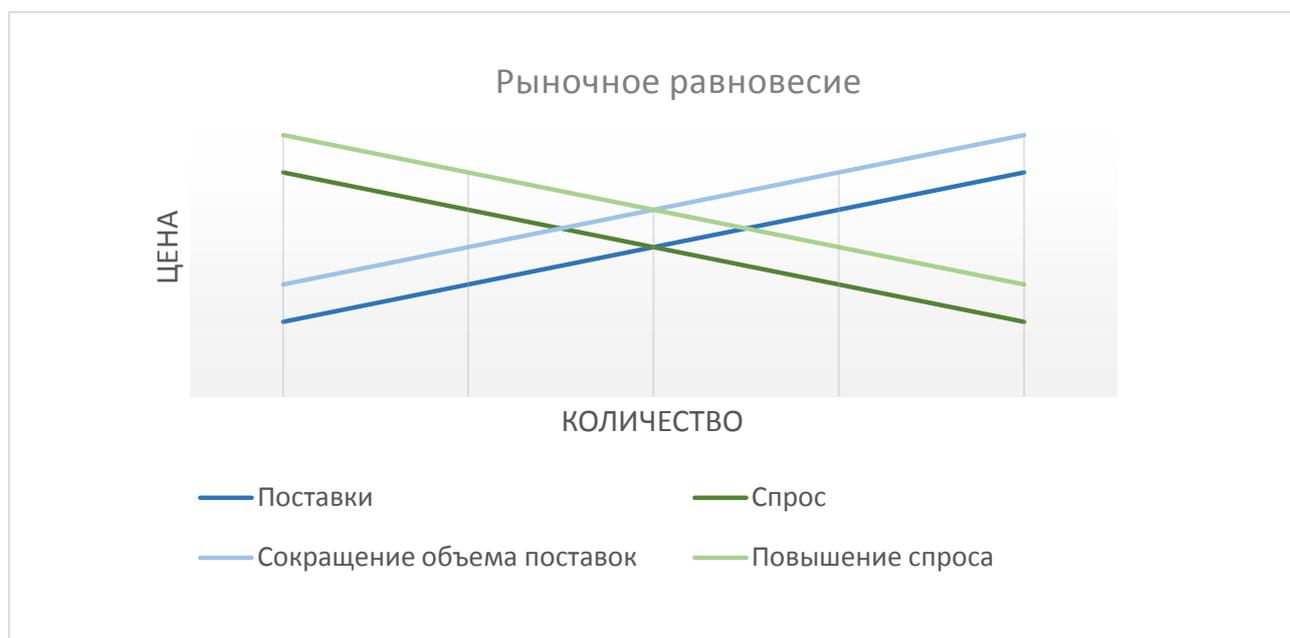
Ученые прогнозируют, что повышение температуры в связи с изменением климата приведет к тому, что дней с нездоровым уровнем приземного озона – вредного загрязняющего вещества и одного из составляющих смога, который может повреждать легочную ткань и нарушать функции легких и вызывать такие респираторные заболевания, как астма, – станет больше.<sup>5</sup>

Кроме экологического и социального аспекта устойчивости существует третий и, наверное, более веский аргумент в пользу сокращения энергопотребления и снижения зависимости от ископаемых видов топлива - экономический фактор.

<sup>5</sup> CCSP (2008). Analyses of the effects of global change on human health and welfare and human systems. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA

Но даже существующая сегодня экономическая система не характеризуется устойчивым равновесием. Она обеспечивает линейное общество потребителей, которое использует все больше сырья, эксплуатирует почвы и ландшафты, а отходы не перерабатываются и не включаются в стабилизирующий баланс экосистемы. В результате, ископаемые ресурсы, от которых мы сегодня зависим, становятся в итоге более редкими, а с сокращением поставок на рынок повышаются цены – это простой закон рыночного равновесия, как видно из приведенной ниже схемы.

Рисунок 2 Рыночное равновесие



Светло-голубая линия показывает сокращающийся объем поставок, о котором говорилось ранее. По сравнению с графиком стандартных поставок (темно-синего цвета) он проходит выше относительно оси ординат, которая отражает рыночные цены.

Учитывая этот факт и при условии, что спрос останется на том же уровне, для стабилизации цен на рынке необходимо поддерживать объем поставок на стабильном уровне.

В следующих главах будет рассказано о долгосрочных и экономически эффективных мерах снижения энергопотребления в различных типах жилых зданий.

## 2 Факты и цели

Республика Беларусь поставила перед собой цель сократить выбросы CO<sub>2</sub> и обеспечить устойчивое и экономически эффективное будущее, в частности, в области жилищного строительства. Кроме **экономического, Besides the economic**

### 2.1 Мотивация

Впервые юридические обязательства о сокращении выбросов были приняты 11 декабря 1997 года на конференции ООН по вопросам климата в японском городе Киото и закреплены в Киотском протоколе. 55 государств первоначально должны были сократить к 2012 году объем выбросов CO<sub>2</sub> более чем на 55% по сравнению с 1990 годом. В итоге протокол смог вступить в силу после присоединения России в 2005 году. Основной целью сокращения выбросов было противодействие изменению климата после того, как Научный форум Конференции по изменению климата предсказал, что к 2100 году температура повысится с 1°C до 3,5°C. В этом контексте Беларусь согласилась сократить выбросы парниковых газов (ПГ) на 8%.<sup>6</sup>

#### 2.1.1 Мощности

В соответствии со стратегической программой, согласно статистике Международного энергетического агентства, в Беларуси в 2008 году на долю жилищного сектора приходилось более 20% потребления электроэнергии и более 40% измеренного потребления тепла. Потребность многоэтажных зданий в отоплении и горячем водоснабжении более чем на 95% обеспечивается системами централизованного отопления, подсоединенных преимущественно к ТЭЦ на природном газу и котельным. В 2009 году тепло, полученное при совместной выработке тепла и электроэнергии, использовалось для покрытия около 50% общей потребности в тепле в централизованной сети, а остальную потребность удовлетворяют котельные. КПД бойлеров обычно составляет 80-85%, а теплотери при передаче в централизованной сети оцениваются в 10%.

В 2008 году завершена реализация проекта ПРООН/ГЭФ “Применение биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь”, направленного на сокращение выбросов ПГ в Беларуси за счет устранения препятствий к экономически выгодному использованию древесины и древесных отходов для отопления и горячего водоснабжения. В настоящее время в стране действуют:

- 1 установка на свалочном газе
- 4 биогазовые установки
- 8 мини-ТЭЦ на газу (комбинированная выработка тепла и электроэнергии)
- 3000 котлов на древесном топливе

Стратегия включает снижение потребности в тепле в жилищном секторе и расширение системы централизованного теплоснабжения. Согласно программе повышения энергоэффективности этой цели можно достичь за счет четкого следования стандартам в области тепловой защиты, начиная с 2010 года, благодаря чему по прогнозам к 2020 году потребность в тепле для новых зданий сократится примерно на 30%. Существующие в стране жилые зда-

---

<sup>6</sup> ПРООН (2012) – „Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь“ **Ошибка!**  
**Источник ссылки не найден.**

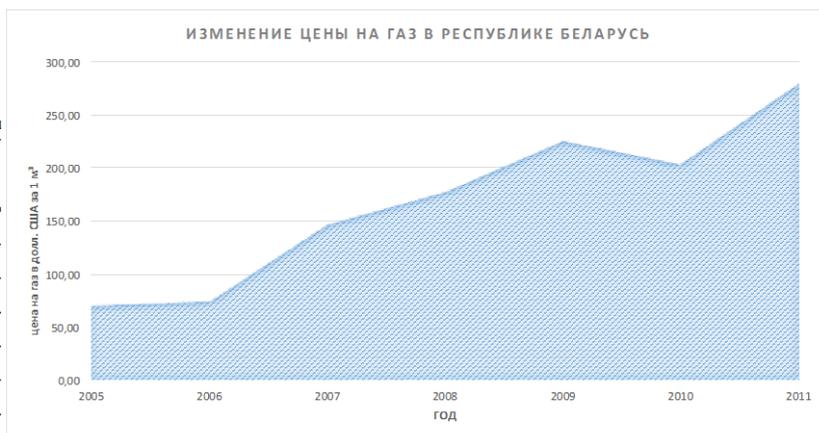
ния, построенные до 1993 года в соответствии с устаревшей практикой, потребляют порядка 120-170 кВт-ч/м<sup>2</sup> в год.

### 2.1.2 Зависимость

В Республике Беларусь крайне мало месторождений природного газа, и поэтому значительная доля потребности в электроэнергии покрывается за счет систем совместной выработки электроэнергии и тепла, работающих на газовом топливе. Поставки энергоносителей почти полностью зависят от импорта. Как показано на схеме внизу, цены на газ растут постоянно, приблизительно на 30% в год.

Изменение цены на газ в Республике Б

год	цена на газ в долл. США за 1 м <sup>3</sup>
2005	69
2006	74
2007	146
2008	177
2009	225
2010	203
2011	280



Для сокращения зависимости и снижения затрат настоятельно рекомендуется ограничить энергопотребление за счет оптимизации оболочки существующих зданий и строительства новых зданий в соответствии с нормами повышения энергоэффективности.

## 3 Экономическая устойчивость

При проектировании жилых зданий с низким уровнем энергопотребления и, в частности, зданий, которые предполагается сдавать внаем или продавать, огромную роль играет социальный аспект. Жилье должно оставаться привлекательным для потенциальных потребителей, что обеспечит постоянное поступление арендной платы или вложение инвестиций. Существует несколько подходов к установлению высоких стандартов качества, то есть комфорта в сочетании с мерами повышения энергоэффективности, которые не приведут к негативным последствиям. Эти меры перечислены в последующих главах.

### 3.1 Выбросы и испарения

В целом, и люди и окружающая среда нуждаются в защите от загрязняющих веществ. Любое синтезированное устройство со временем начинает выделять испарения. Обычно не только сами структурные элементы покрывают краской или обоями, но и большая часть мебели в доме испаряют вредные для здоровья вещества.

Проектирование новых энергоэффективных зданий также означает необходимость обеспечить герметичность оболочки здания. Как следствие, вентиляция внутреннего пространства сводится к минимуму для ограничения потерь тепла, особенно в зимнее время, когда жильцы сокращают искусственную вентиляцию с помощью ручных приспособлений, держа окна закрытыми. В результате снижается качество воздуха, что оказывает негативное влияние на здоровье и повышает риск развития плесени из-за повышения влажности, что вредит как

жильцам, так и структурным элементам: болеют люди, и тратятся средства на техническое обслуживание конструкций с неизвестными затратами. В иных случаях жильцы начинают проветривать помещение слишком часто из-за низкого качества воздуха, что вызывает потери тепла и повышает потребности в отоплении.

Весьма эффективной мерой в данной ситуации является применение систем вентиляции с регенерацией тепла. При таком подходе качество воздуха в помещении постоянно поддерживается на высоком уровне и регулируется уровень влажности. С другой стороны, из-за регенерации тепла потребность в тепле и вместе с ней в первичном топливе сокращается, что означает меньшие затраты на отопление.

## 3.2 Тепловой комфорт

Основой общего благополучия человека является тепловой комфорт: и тепло и охлаждение. Кроме того, способ обеспечения теплового комфорта значительно влияет на энергопотребление и, таким образом, на связанные с этим затраты. Восприятие потребителем микроклимата в помещении, включая тепловой комфорт, качество воздуха, уровень шума и освещение, обычно определяется на самых разных уровнях, но все же тепловой комфорт прочно увязан с удовлетворенностью жильцов.

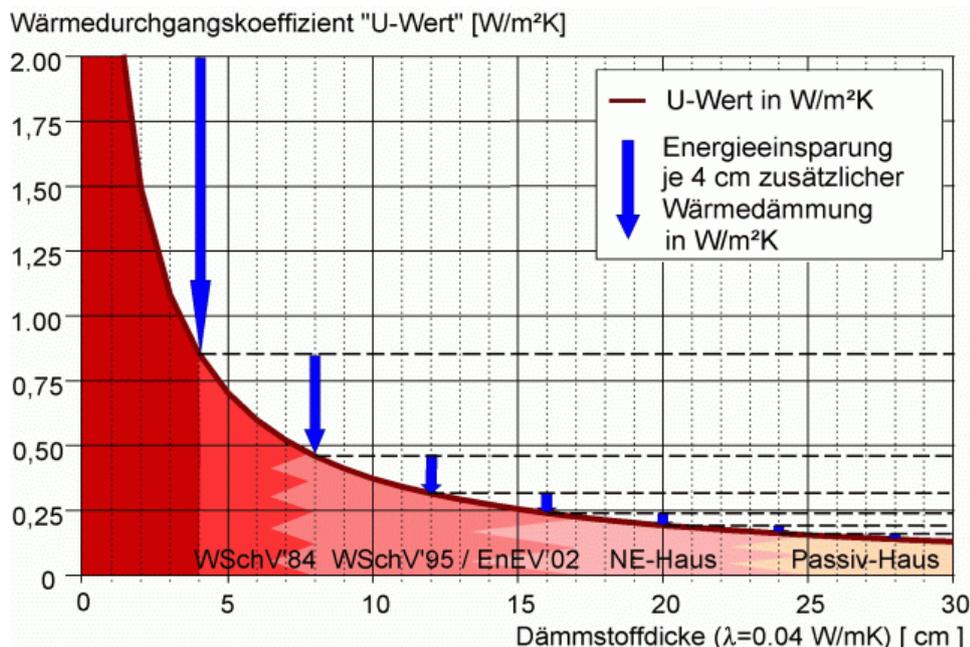
Таким образом, необходимо принять **пассивные** меры, обращая основное внимание на вопросы теплового комфорта, с целью обеспечить энергосбережение и вместе с этим – комфорт для жильцов. Если сказать проще, потребность в тепле и отоплении можно свести к минимуму только за счет оптимизации оболочки здания, в то время как другие меры будут дополнительным преимуществом.

### 3.2.1 Отопление

Как говорилось выше, первым шагом к обеспечению энергоэффективности здания будет оптимизация основной конструкции. При прикреплении тепловой изоляции необходимо тщательнейшим образом исследовать физические характеристики здания, чтобы избежать повреждений, вызванных влажностью. В особенности это касается модернизации существующих зданий, например, обычно общий коэффициент теплопроводности окон превышает коэффициент окружающих стен. В противном случае, точка росы сдвигается на стены и конденсированная вода вызывает образование плесени, что приводит к ненужным затратам на ремонт. Также необходимо, где это возможно, избегать образования температурных мостов, хотя для существующих зданий может быть несколько исключений. Такие температурные мосты могут вызвать повреждения из-за повышенной влажности и огромных тепловых потерь, что также повышает затраты.

Но даже тепловая изоляция имеет свои пределы, когда изоляция становится неэффективной и экономически нецелесообразной. На схеме ниже показано, как толщина изоляционного материала влияет на значение коэффициента теплопроводности. Обратите внимание, что начиная с толщины около 20 см изоляционный эффект значительно снижается.

**Рисунок 3** Значение коэффициента теплопроводности в зависимости от толщины изоляции



### 3.2.2 Охлаждение - защита от солнца - дневное освещение

Когда речь заходит об охлаждении, оболочка здания также играет огромную роль. Чем тяжелее основная конструкция, тем выше теплоемкость, которая определяет скорость передвижения воздуха внутрь здания и наружу. Внешние затеняющие устройства и низкий коэффициент пропускания окном солнечного излучения – вот основные факторы снижения затрат, особенно если учесть, как дорого обходятся кондиционеры, их эксплуатация и периодическое обслуживание. При проектировании нового здания средняя площадь окна не должна превышать 50%. В большинстве случаев последовательно спланированное остекление может помочь избежать дополнительного охлаждения и поддерживать объем тепловой энергии солнечного света, проходящей через окно, на оптимальном уровне. Кроме поглощения или затенения использование естественного освещения вместо искусственного отражается положительно на комфорте жильцов и позволяет сэкономить энергию и затраты на энергоснабжение. Существует несколько способов оптимизировать количество солнечного света, попадающего в здание. По возможности необходимо скорректировать планы таким образом, чтобы помещения, где необходимо больше дневного света, не были обращены на север и чтобы их глубина не превышала 5 м. Светлый цвет поверхностей, например, стен и пола, усиливает отражение излучения и, тем самым, излучение в помещении. Соблюдение определенных правил архитектуры в данном вопросе позволяет снизить объем инвестиций и получить сравнительно высокий уровень освещения.

## 4 Экономическая эффективность

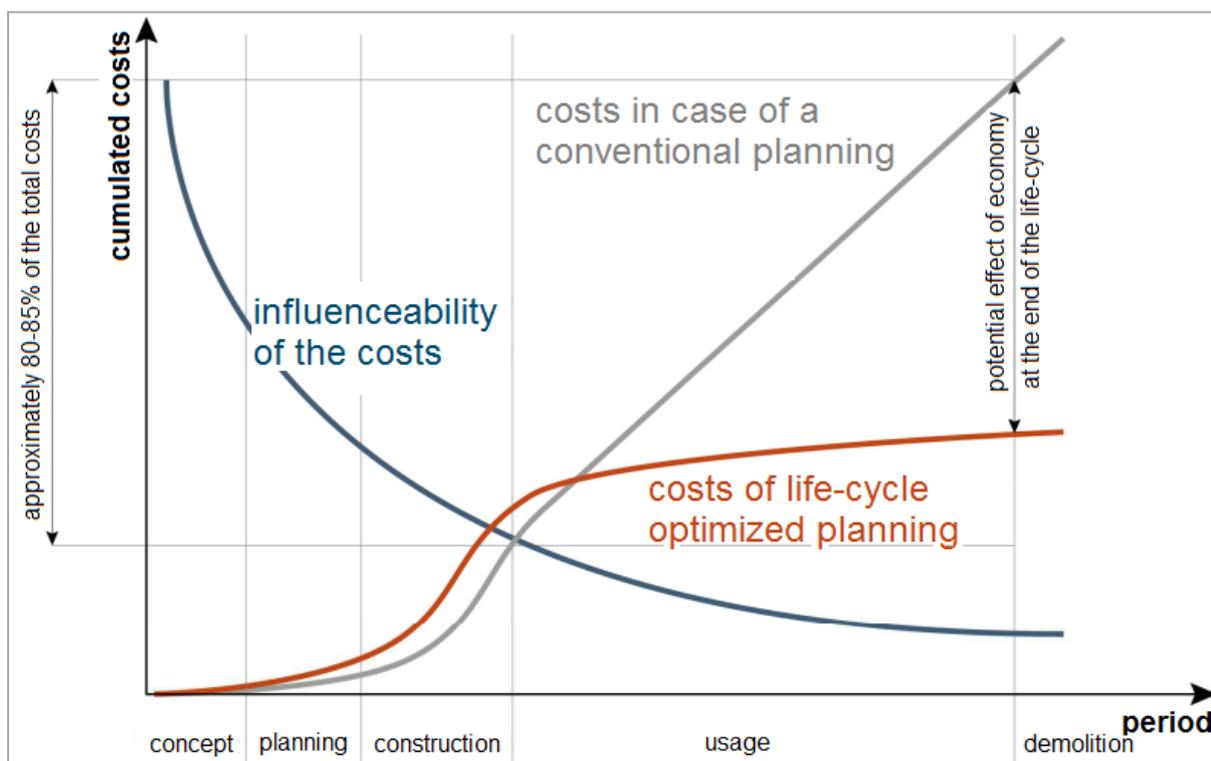
Экономическая эффективность обычно описывает финансовую выгодность инвестиционного проекта. Оценивается отношение вложенных ресурсов к полученному результату. Задача общего аудита – эффективное использование ресурсов с долгосрочной результативностью.

#### 4.1 Анализ затрат с учетом срока службы здания

Чтобы решить, что выгоднее с экономической точки зрения: ремонт или снос здания и строительство нового, необходимо провести анализ полного цикла службы здания. Целью экономического анализа всегда является комплексная оптимизация всех экономических параметров. Измерения для оптимизации затрат на содержание здания в течение всего срока службы должны подтверждаться документально и предлагать разумную ликвидационную стоимость объекта. Первоочередное внимание уделяется зданию, включая эксплуатацию здания.

При проведении анализа всего срока службы здания учитываются все затраты, начиная со строительства и заканчивая сносом. Таким образом, они включают стоимость строительства, эксплуатации, а также затраты на уборку, уход и техническое обслуживание здания, не забывая также о затратах на снос здания и утилизацию отходов. Так можно обеспечить оптимизацию затрат в течение всего срока службы здания. В результате получается совокупная сумма всех рассчитываемых затрат и рисков, в том числе, инфляция, и стоимость здания на данный момент времени определяется с использованием способа определения стоимости здания на момент проведения оценки. Что касается стоимости эксплуатации, существует несколько нестабильных параметров, например, тип использования, поведение потребителей и атмосферные условия. В таком случае может быть полезным стандарт BS ISO 15686<sup>7</sup>, который посвящен планированию срока службы и процессу принятия решения относительно срока службы элемента здания, здания или любого построенного объекта, например, моста или тоннеля.

Рисунок 4 Экономическая эффективность



<sup>7</sup> BS ISO 15686 Part 1-8 [10]

Approximately 80-85% of the total costs	Приблизительно 80-85% общей стоимости
Cumulated costs	Совокупные затраты
Influenceability of the costs	Возможность повлиять на стоимость
Costs in the case of a conventional building	Затраты для традиционного здания
Costs of life-cycle optimized planning	Затраты при проектировании с учетом срока службы
Potential effect of economy at the end of the life cycle	Потенциальный экономический эффект на конец срока службы
Concept	Концепция
Planning	Проектирование
Construction	Строительство
Usage	Использование
Demolition	Снос
Period	Период

Из приведенного выше рисунка видно, насколько высоки затраты на эксплуатацию здания по сравнению с фактическими затратами на строительство. Высокое качество проекта обычно приводит к значительному сокращению затрат на этапе эксплуатации, что, конечно, может потребовать больших усилий на этапе проектирования.

Эта теория в целом применима как к существующим, так и к новым зданиям. Благодаря общей оценке всего срока службы здания от начала строительного проекта можно определить эффективность калькуляции расходов и рентабельность в целом. Учитывая вышесказанное, чтобы найти оптимальное экономически выгодное решение, следует рассмотреть несколько вариантов.

## 4.2 Новые здания

Уже на ранних стадиях планирования закладываются основы дальнейшего устойчивого качества здания. Поэтому необходимо оптимизировать процесс планирования с точки зрения аспектов устойчивости. Соблюдение нескольких принципов планирования обеспечивает энергетическую и экономическую эффективность.

#### Принципы планирования:

- Подбор подходящей площадки для размещения здания
- Высокая компактность,
- Массивная структура,
- Отличная изоляция оболочки здания,
- Высокая герметичность,
- Концепция вентиляции
- Использование солнечного тепла, поступающего через остекление зданий
- Эффективные инженерные системы (малые потери при генерации, распределении и передаче), тепловая изоляция всех труб и фитингов, контроль, ориентированный на потребности в энергии

**Основной принцип проектирования: минимизация энергопотребления важнее оптимизации потребности в энергии.**

#### 4.2.1 Размещение здания

Основные условия потребления энергии зданием определяются уже на этапе выбора площадки для строительства. С одной стороны, на потери и приток тепла оказывают влияние местные климатические условия, а с другой стороны, топография местности, растительность и другие здания влияют на возможности использования солнечной энергии для отопления и освещения.

#### 4.2.2 Компактность

Основное требование к энергоэффективным зданиям – это компактный дизайн, при котором минимально возможная внешняя поверхность ограничивает максимально возможный объем. Таких компонентов как консоли и уступы следует избегать. Чем ниже степень компактности ( $A/V_e$ )<sup>8</sup>, тем меньше – по крайней мере, теоретически – потребность в отоплении. Однако такие влияния как дополнительные теплотери через температурные мосты, высокая инфильтрация из-за недостаточной герметичности, неиспользование солнечной энергии, проникающей сквозь остекление, из-за затенения подрывают преимущества компактной конструкции. В любом случае, крайне полезны целевое планирование и подробный расчет общей картины с учетом различных факторов.

Компактные здания строить проще и дешевле, если они строятся без фундамента. В данном случае внизу находится изолированная плита основания. Если без подвала обойтись нельзя, он должен быть полностью термически изолирован от здания, то есть в подвал должен быть отдельный вход снаружи. Однако неотопливаемый фундамент нуждается в вентиляции. Как вариант, его можно включить в объем здания, где происходит кондиционирование воздуха. В данном случае для всех помещений, находящихся ниже уровня земли, необходима тепловая изоляция. Если подвал включен в кондиционируемый объем здания, но не отапливается, обязательно необходима тепловая изоляция всех перегородок, в особенности, между отапливаемым и неотопливаемыми объемами здания. В данном случае температурные мосты создают особенно проблемные влияния.

Потенциал оптимизации лоджий и балконов мал. Опыт строительства многоквартирных домов показывает, что такие открытые помещения впоследствии закрываются жильцами (преобразовываются в зимний сад или аналогичные помещения). По этой причине следует оценить, можно ли внести изменения в проект.

---

<sup>8</sup> A: Heat transfer (gross) envelope [m<sup>2</sup>]; V<sub>e</sub>: Heated (gross) volume [m<sup>3</sup>]

### 4.2.3 Оболочка здания

Качество оболочки здания и его компонентов определяют потери тепла при передаче и вентиляции, а также поступление солнечной энергии через остекление.

Теплопотери при передаче определяются тепловым сопротивлением внешних компонентов. Требования к тепловой изоляции внешних компонентов приведены в Таблица 1<sup>9</sup>. Для сравнения приведены типичные значения для дома с низким потреблением энергии и пассивного дома.

Страна	Год принятия	Коэффициент сопротивления теплопередаче, м <sup>2</sup> ·К/Вт			
		Стены	Кровля	Окна	Пол
Франция	2005	2,78	5,00	0,56	3,7
Бельгия	2008	2,0	3,33	0,47	1,11
Нидерланды	2011	3,45	3,45	0,45	3,45
Германия	2009	3,57	5,00	0,77	2,86
Великобритания	2010	5,55	6,67	0,67	4,76
Италия	2010	3,03	3,45	0,5	3,12
Венгрия	2006	2,22	4,00	0,62	4,00
Румыния	2006	1,41	3,03	0,4	3,03
Дания	2006	5,00	6,67	0,67	6,67
Норвегия	2007	5,56	7,69	0,83	6,67
Швеция	2008	5,56	7,69	0,76	6,67
Финляндия	2010	5,88	11,11	1,0	5,88
Беларусь	2009	3,2	6,0	1,0	2,5
Здание с низким потреблением энергии	-	≈ 4,00	≈ 4,00	≈ 0,77	≈ 3,33
Пассивный дом	-	≈ 6,67	≈ 8,33	≈ 1,25	≈ 6,67

Таблица 1: Требуемые значения коэффициента сопротивления теплопередаче для типовых зданий в некоторых европейских странах и Республике Беларусь<sup>9</sup> и типичные данные для зданий с низким энергопотреблением и пассивного дома

Значения, приведенные в Таблица 1 могут быть получены за счет различных сочетаний материалов и сборки компонентов. Учитывая ежегодный объем строительства около 6 млн. кв. м., рекомендуется сборное строительство. В других случаях возможна кирпичная кладка, при которой можно использовать различные материалы.

Ниже будут рассмотрены различные конструкции, позволяющие достичь перечисленных ранее значений. Конечно, в данном случае встает вопрос наличия на рынке таких материалов и их стоимости, что определит, возможно ли превысить допустимые показатели сопротивления теплопередаче и как. Учитывая отсутствие данных о текущем положении вещей, пока никаких предложений в данной связи сделать невозможно. Тем не менее, рекомендуются монолитные конструкции с улучшенными энергетическими характеристиками, что позволит не только сократить потребление энергии в течение отопительного сезона, но и предотвратит перегрев здания летом. Для снижения солнечной

<sup>9</sup> cf. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** р. 12

нагрузки летом рекомендуется оснащать незатененные окна устройствами для защиты от солнца.

#### 4.2.3.1 Внешняя стена

Изменяются лишь изоляционные слои, и не рассматривается, оправданны ли те или иные варианты конструкции в Беларуси. Последнее следует рассматривать в контексте проектирования каждого конкретного здания.

Вариант 1: Сборные железобетонные конструкции

Слои (изнутри наружу)	Толщина слоя (см) для		
	Беларуси	здания с низким потреблением энергии	пассивного дома
Опорный слой (бетон)	16		
Тепловая изоляция 0,040 Вт/(мК)	12	15	26
Слой, защищающий от атмосферных воздействий (бетон)	6		
Коэффициент теплового сопротивления ( $m^2 \cdot K / Вт$ )	3,27	4,02	6,77

Вариант 2: Двойная кирпичная кладка

Слои (изнутри наружу)	Толщина слоя (см) для		
	Беларуси	здания с низким потреблением энергии	пассивного дома
Внутренняя штукатурка	1,5		
Кирпичная кладка	24		
Тепловая изоляция 0,040 Вт/(мК)	12	14	25
Зазор	1,0		
Внешняя стенка (кирпичная кладка)	11,5		
Коэффициент теплового сопротивления ( $m^2 \cdot K / Вт$ )	3,57	4,07	6,82

Вариант 3: Двойная кирпичная кладка и вспененный бетон

Слои (изнутри наружу)	Толщина слоя (см) для		
	Беларус и	здания с низким потреблением энергии	пассивного дома
Внутренняя штукатурка	1,5		
Вспененный бетон	20		
Тепловая изоляция 0,040 Вт/(мК)	8	10	22
Зазор	1,0		
Внешняя стенка (кирпичная кладка)	11,5		
Коэффициент теплового сопротивления (м <sup>2</sup> К/Вт)	3,53	4,03	7,03

Вариант 4: Однослойная стена из пористого кирпича

Слои (изнутри наружу)	Толщина слоя (см) для		
	Беларус и	здания с низким потреблением энергии	пассивного дома
Внутренняя штукатурка	1,5		
Кирпичная кладка из пористого кирпича 0,080 Вт/(мК)	20	30	30
Тепловая изоляция 0,040 Вт/(мК)	0	0	11
Коэффициент теплового сопротивления (м <sup>2</sup> К/Вт)	3,19	4,19	6,69

#### 4.2.3.2 Окна

Энергетические характеристики окон зависят от свойств остекления, рамы и свойств оконной замазки, а также от геометрии стеклянного окна. В итоге существует множество вариаций.

Кроме того, для окон также важен общий коэффициент пропускания солнечного излучения остеклением (величина g). Эта величина отражает полезную долю солнечной энергии, поступающей сквозь остекление зимой и влияет на солнечную нагрузку в летний период, которая может приводить к нежелательному перегреву, что необходимо предотвращать соответствующими мерами.

В следующих таблицах приводятся возможные сочетания параметров, при которых можно добиться соответствия указанным выше требованиям.

Компоненты	Параметры для		
	Беларус и	здания с низким потреблением энергии	пассивного дома
Остекление, $U_g$ [Вт/(мК)]	0,8	1,1	0,7
Остекление, $g$ [%]	60	60	50
Рама, $U_g$ [Вт/(мК)]	1,0	1,3	0,8
Оконная замазка $\Psi$ Вт/(мК)	0,06	0,06	0,04
Коэффициент теплопередачи, $U_w$ [Вт/(м <sup>2</sup> К)]	1,0	1,3	0,8
Коэффициент теплового сопротивления $R$ (м <sup>2</sup> ·К/Вт)	1,0	0,77	1,25

В настоящее время при значении коэффициента теплопередачи для остекления ниже 1,0 Вт/(м<sup>2</sup>К) требуется тройное остекление.

#### 4.2.3.3 Кровля

Следующие модели предполагают холодную крышу. Она может быть устроена и как крутая, и как плоская крыша. Более того, в принципе, возможно устройство теплой крыши.

В принципе, в любом случае, чтобы избежать образования мостиков холода и «холодных пальцев», необходим наружный дренаж.

Вариант 1: Сборные железобетонные конструкции

Слои (изнутри наружу)	Толщина слоя (см) для		
	Беларус и	здания с низким потреблением энергии	пассивного дома
Потолок (железобетон)	16		
Тепловая изоляция 0,040 Вт/(мК)	23	16	33
Коэффициент теплового сопротивления (м <sup>2</sup> ·К/Вт)	6,02	4,27	8,52

Вариант 2: Многослойная железобетонная плита

Слои (изнутри наружу)	Толщина слоя (см) для		
	Беларус и	здания с низким потреблением энергии	пассивного дома
Потолок (многослойная железобетонная плита 0,15 м <sup>2</sup> К/Вт)	10		
Тепловая изоляция 0,040 Вт/(мК)	23	15	32
Коэффициент теплового сопротивления (м <sup>2</sup> К/Вт)	6,10	4,10	8,35

#### 4.2.3.4 Пол

Вариант 1: Изоляция на верхней стороне плиты основания

Слои (изнутри наружу)	Толщина слоя (см) для		
	Беларуси	здания с низким потреблением энергии	пассивного дома
Цементная стяжка	4		
Тепловая изоляция 0,040 Вт/(мК)	10	14	26
Гидроизоляция	Слои от гидроизоляции вниз не рассматриваются		
Плита основания (бетон)			
Коэффициент теплового сопротивления (м <sup>2</sup> К/Вт)	2,70	3,70	6,70

Если теплоизоляционный материал укладывается на верхнюю часть плиты основания, необходимы специальные меры, чтобы избежать образования температурных мостов у вертикальных внутренней и внешней стен.

Вариант 2: Изоляция под плитой основания

Слои (изнутри наружу)	Толщина слоя (см) для		
	Беларуси	здания с низким потреблением энергии	пассивного дома
Цементная стяжка	4		
Изоляция ударного шума	1		
Гидроизоляция	0,4		
Плита основания (бетон)	16		
Тепловая изоляция 0,040 Вт/(мК)	8	12	25
Коэффициент теплового сопротивления (м <sup>2</sup> К/Вт)	2,54	3,54	6,79

#### 4.2.4 Мостики холода

Мостики холода или температурные мосты – это области тепловой оболочки, где тепловой поток между внутренним и внешним пространством ведет себя иначе, чем в примыкающих областях. Различаются:

Конструктивные температурные мосты Например, примыкание потолка к внешней стене, дубеля и т.д.

Геометрические температурные мосты Например, внутренние или внешние углы

**Материальные температурные мосты** Например, стальные балки в потолке, бетонные перемычки окон и дверей в кирпичной стене.

Мостики холода могут возникать как линейно, так и точечно. С точки зрения энергии преимущественно линейные температурные мосты имеют значение. Они могут привести к значительному повышению теплопотерь при передаче. Пожалуйста, обратите внимание: чем выше уровень энергетической эффективности, тем сильнее влияние температурных мостов.

На месте мостиков холода могут отмечаться изменения температуры и влажности, из-за которых может образовываться плесень и(или) конденсат.

Чтобы свести к минимуму влияние температурных мостов, разработана концепция, в рамках которой следует придерживаться нескольких простых правил:

**Правило предупреждения:** По возможности теплоизоляционный слой не следует нарушать.

**Правило пробы:** Если нарушения термоизоляционного слоя не избежать, необходимо использовать материал, который позволит свести к минимуму теплопотери в области разрыва.

**Правило соединения:** Соединяющиеся изоляционные слои должны полностью перекрываться.

**Правило геометрии:** Тупые углы следует делать как можно дальше.

При проектировании контур теплопроводной оболочки чертится на общем плане и во всех сечениях как непрерывная линия. Все участки, где линию невозможно провести с легкостью, следует выделить. В этих точках следует принимать во внимание возможность образования температурных мостов, вычертить детализированные чертежи и дать описание.

#### **4.2.5 Герметичность**

Ветер и термическая плавучесть создают разницу давлений по всей оболочке здания между его внутренней и наружной частью. Такая разница давлений вызывает образование воздушных потоков во всех местах соединения и прочих местах утечек. Приток снаружи внутрь (инfiltrация) не вызывает проблем для здания, компоненты остаются сухими. Потоки холодного воздуха приводят к повышенной потребности в отоплении и возможным сквознякам.

Поток воздуха изнутри наружу связан с риском, что влага, содержащаяся в вытекающем воздухе, будет конденсироваться внутри компонентов оболочки, что снова приводит к повреждениям конструкции. Если имеется вентиляционная система, то ее функционирование гарантируется лишь в тех случаях, когда утечки не приводят к крайне сильным потокам инfiltrации и эксfiltrации. Высокая герметичность конструкции сводит к минимуму воздействие ветра и теплопотерь.

По вышеперечисленным причинам подходить к герметичности при проектировании следует аналогично температурным мостам. Герметичный слой, в большинстве случаев тепловая оболочка, чертится на плане этажа и всех сечениях непрерывной линией. Отмечаются все соединения компонентов и разрывы/разрезы, например, для монтажа инженерного

оборудования, а также вычерчиваются детализировочные чертежи и дается описание. Кроме того, принимают во внимание технологические моменты, в связи с которыми может возникнуть необходимость перенести на более ранний срок изготовление, например, установок, находящихся внутри стен.

Контроль герметичности проводится методом измерения естественной инфильтрации воздуха в зданиях. Первую проверку рекомендуется проводить на самом раннем этапе строительства, чтобы обнаружить возможные ошибки и уязвимые места, которые можно легко устранить. Вторая проверка выполняется, когда здание полностью завершено.

#### 4.2.6 Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ)

Применимые инженерные системы для отопления и вентиляции здания ни в коей мере не зависят от энергетических характеристик здания. Как уже отмечалось выше, основной принцип проектирования таков: Свести к минимуму энергопотребление важнее, чем оптимизировать потребность в энергии.

Технология	Носитель / источник энергии	Результат
Конденсационный бойлер	Природный газ/биогаз Древесные пеллеты/щепа Растительные масла	Тепло
Электрический водонагреватель	Электроэнергия	Тепло
Комбинированная выработка тепла и электричества + (Абсорбционный холодильник)	Природный газ/биогаз Древесные пеллеты/щепа Растительные масла	Тепло + (охлаждение) + электроэнергия
ТВЭЛ + (Абсорбционный холодильник)	Природный газ/биогаз Водород	Тепло + (охлаждение) + электроэнергия
Устройства для преобразования солнечной энергии в тепло + (Абсорбционный холодильник)	Солнечное излучение	Тепло + (охлаждение)
Устройства для преобразования солнечной энергии в электроэнергию	Солнечное излучение	Электроэнергия
Тепловой насос	Геотермическая близкая к поверхности / электроэнергия Подземные воды / электроэнергия Сточные воды / электроэнергия Внутренние источники тепла / электроэнергия Воздух / электроэнергия	Тепло + (охлаждение)
Прямая подача тепла + (Абсорбционный холодильник) + (Паровая турбина)	Горячая вода – геотермическая глубинная	Тепло + (охлаждение) + электроэнергия
Ветряной генератор	Ветер	Электроэнергия
Пассивное использование солнечной энергии	Солнечное излучение	Тепло + свет
Охлаждение ночным воздухом	Наружный воздух	Охлаждение

Ниже кратко описаны эти технологии с их преимуществами и недостатками, а также характерные показатели.

#### 4.2.6.1 Отопительная система, использующая пеллеты в качестве топлива

Выход	Тепло
Предпочтительное применение	Базовая нагрузка
Уровни температур	Возможно > 60°C
Эффективность	85%

В наше время автоматическое отопление котлами, для работы которых используются пеллеты, достигло такого же удобства пользования, как и при использовании котлов на жидком топливе или газу. КПД такого бойлера достигает 93%. Снабжение горючим обычно осуществляется с помощью винтового конвейера. Горючее обычно хранится в отдельном блоке. Золоудаление происходит полностью автоматически. По причине низкой плотности энергии топлива следует принимать во внимание соответствующие потребности в площадях, чтобы обеспечить хранение достаточного количества топлива. Такие системы преимущественно разрабатываются для базовой нагрузки или для подогрева воды.

#### 4.2.6.2 Установки для преобразования солнечной энергии в электроэнергию и тепло

Устройства для преобразования солнечной энергии в электроэнергию и тепло используют солнечное излучение для выработки электричества или тепла. Таким образом, выработка энергии в значительной мере зависит от солнечного излучения. В таком случае солнечное излучение, падающее на поверхность, ориентированную перпендикулярно направлению солнечного излучения, всегда больше, чем на горизонтальную поверхность. Таким образом, объем выработки также зависит от ориентации и наклона установок. Обычно рекомендуется ориентировать установки с востока и запад, а угол наклона должен составлять от 10 до 50°. Сокращение объемов генерации энергии в данном диапазоне достигает максимум 10%. И, наоборот, на крутых поверхностях, например, фасадах, излучение, соответственно, значительно ниже. И наоборот, выработка энергии этими поверхностями в зимнее время объясняется низким уровнем солнца. В целом, необходимо обеспечить незатененную установку систем.

#### Установки для преобразования солнечной энергии в электроэнергию

Выход	Электроэнергия
	100-130 кВт·ч/(м <sup>2</sup> * в год)
Электрические характеристики	около 0,14 кВт/пик/м <sup>2</sup>

Устройства для преобразования солнечной энергии в электроэнергию состоят из фотоэлементов, которые используют внутренний фотоэлектрический эффект в полупроводниках для превращения солнечной радиации напрямую в электроэнергию. Устройства для преобразования солнечной энергии в электроэнергию особенно подходят для децентрализованной выработки электроэнергии. Желательно достичь синергии за счет использования многофункциональных модулей (защита от непогоды, солнцезащитный экран и т.д.).

## Установки для преобразования солнечной энергии в тепло

Выход	Тепло
	300-500 кВт·ч/(м²а)
Предпочтительное применение	Горячее водоснабжение
Уровни температур	Возможно > 60°C

Системы для превращения солнечной энергии в тепло используют солнечное излучение для прямой выработки полезного тепла. Эта система преимущественно используется для горячего водоснабжения, но она также может использоваться в качестве дополнения к системе отопления. Тепло поставляется системами для превращения солнечной энергии в тепло, если они технически и экономически вписываются в общую концепцию. Необходимо обеспечить соответствующую техническую и конструкционную интеграцию в оболочку здания. Учитывая сезонный характер возобновляемых источников энергии, необходимо обеспечить накопление энергии.

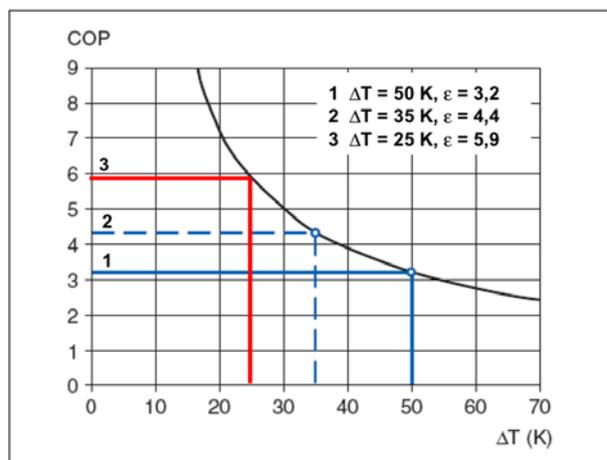
### 4.2.6.3 Тепловой насос (с электроприводом)

Результат	Тепло / охлаждение
Предпочтительное применение	Базовая нагрузка
Уровни температур	предпочтительно < 35°C
КПД	4-6

Тепловой насос использует тепловую энергию источника тепла более низкой температуры и подает ее в систему более высокой температуры. Эффективность теплового насоса серьезно зависит от уровня температур подающего источника. В целом, можно предположить, что использование тепловых насосов для теплоснабжения – в особенности в диапазоне низких температур – может быть энергетически и экономически выгодным, даже если это тепло не используется для подогрева воды.

На Рисунок 5 показано отношение между достижимым КПД тепловых насосов и разницей температур между источником тепла и необходимым уровнем температуры.

**Рисунок 5: Теоретический возможный график коэффициента производительности в зависимости от уровня температур**



- 1    Необходимая температура: 60 °C  
 ⇒ разница температур: 50 К  
 ⇒ **достижимый КПД: 3,2**
- 2    требуемый уровень температур: 45 °C  
 ⇒ разница температур: 35 К  
 ⇒ **достижимый КПД: 4,4**
- 3    требуемый уровень температур: 35 °C  
 ⇒ разница температур: 25 К  
 ⇒ **достижимый КПД: 5,9**

## Геотермальный источник тепла

Для системы с тепловым насосом в качестве источника может использоваться геотермальное тепло. Важным значением для определения размеров установки с геотермальными тепловыми зондами является удельная скорость отвода тепла (Вт/м). Это значение определяется геологическими условиями.

Использование геотермических зондов также позволяет осуществлять пассивное охлаждение здания в летний период. Таким образом, используется разница температур между прохладной землей и температурой окружающей среды здания. В качестве положительного побочного эффекта грунт летом может восстанавливаться за счет притока тепла летом. Чуть дороже продаются двусторонние тепловые насосы. Их преимущество состоит в том, что в летний период они обеспечивают активное охлаждение.

## Источник тепла – сточные воды

Для указанного выше теплового насоса в качестве источника тепла можно также использовать сточные воды. Однако для жилых зданий возможности применения ограничены из-за неравномерной подачи. Этот недостаток можно компенсировать за счет хранилищ воды. Также поток сточных вод, в частности, в системе канализации может использоваться в нагнетательных трубопроводах. Однако уровень температуры сточных вод нельзя использовать до бесконечности, в противном случае не смогут работать процессы биологической обработки.

## Энергия льда

Замороженная вода может использоваться для отопления, при этом используется большой бак для воды, абсорбционные установки для воздуха и солнечного излучения и тепловой насос. В режиме отопления тепловой насос отбирает энергию из бака с водой, который используется для отопления и горячего водоснабжения. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не образуется лед. А также в процессе преобразования воды в лед выделяется тепло кристаллизации, которое можно использовать. Солнечный и воздушный абсорберы, а также земля дают достаточно энергии для теплового насоса. Для растапливания льда используется энергия солнца, атмосферное тепло или тепло земли. Фазы регенерации и нагрева постоянно чередуются.

### 4.2.6.4 Комбинированная выработка тепла и электричества (биогаз)

Выход	Тепло / электроэнергия
Предпочтительное применение	Базовая нагрузка
Уровни температур	Возможно > 60°C
Выход	От 5 кВт <sub>th</sub> до > 2 МВт <sub>th</sub>

Установка для совместной выработки тепла и электричества – это небольшая компактная установка с двигателями внутреннего сгорания, которая одновременно вырабатывает тепловую и электрическую энергию. Благодаря активному применению отходящей теплоты этих двигателей общий КПД таких систем достигает в целом 85%. Электрический КПД в зависимости от принципа сгорания (бензин, дизельное топливо) составляет от 31% до 38%.

Охлаждающая жидкость двигателя проходит через теплообменник и повышает температуру отопительной воды до 110° С. Коленчатый вал двигателя активирует генератор через короб-

ку передач, которая преобразует механическую энергию в электрическую. Обычно в качестве топлива применяется природный газ. В системе, показанной выше в таблице, топливо – биогаз.

#### 4.2.6.5 Малые ветряные генераторы <sup>10</sup>

Выход	Электроэнергия
	1 – 12.5 МВт·ч/блок
Выработка электроэнергии	1,5 – 5 кВт/блок
Часы полной нагрузки	1,000 – 2,500

Малые ветрогенераторы категории эффективности I (микроветрогенераторы мощностью от 1,5 до 5 кВт) можно встраивать в здания. С технической точки зрения трудно предсказать наличие ветра в городе, а особенно на зданиях. Зачастую малые скорости ветра связывают с высокими уровнями турбулентности. Поэтому экономический эффект трудно предсказать. Кроме этого, конструктивные требования к зданию, а также шумовое загрязнение ограничивают возможности использования.

#### 4.2.7 Конкуренция между различными технологиями

Не все перечисленные выше технологии можно с пользой сочетать. Ниже приведено три варианта сочетаний.

**Конкуренция за место:**                    **Например, устройства для преобразования солнечной энергии в электроэнергию и тепло**

Обе системы располагают на крыше или фасаде с южной стороны

**Экономия:**                                    **Например, геотермальная энергия**

Геотермальная энергия представляет собой возобновляемый источник тепла высокой температуры - дополнительный тепловой генератор в таком случае не требуется, это только увеличит затраты.

**Периоды работы:**                    **Например, установки для комбинированной выработки тепла и электричества – устройства для преобразования солнечной энергии в тепло**

Поступление солнечной энергии сквозь остекление здания летом сокращает потенциальный срок службы комбинированных установок и, таким образом, выработку энергии. При более высоких финансовых вложениях они вырабатывают меньше энергии.

<sup>10</sup> cf. [4]

#### 4.2.8 Вентиляция

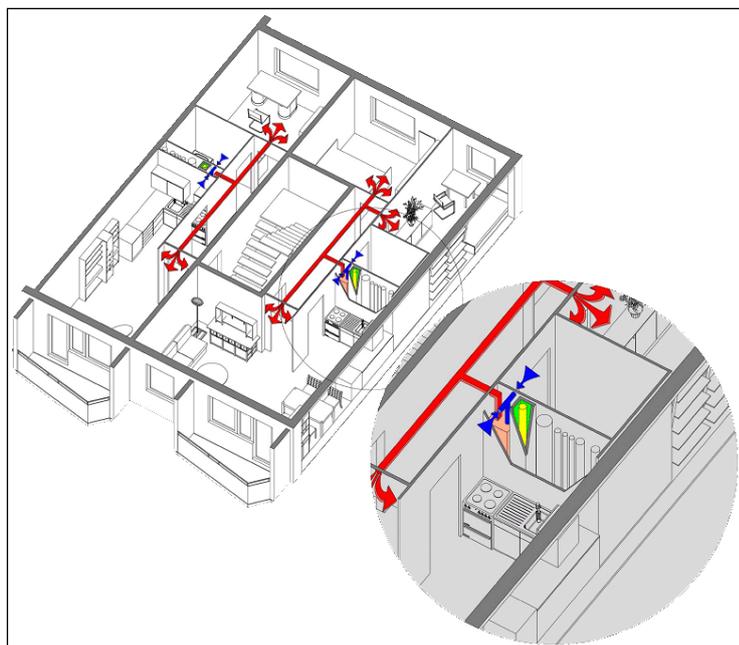
Вентиляционная система здания может представлять собой принудительную вентиляцию через вытяжную систему, или приточно-вытяжные установки с утилизацией тепла, или это может быть простое вентилирование помещения жильцами.

Наиболее широко распространена простая вентиляция через открытые окна. Преимущества очевидны. Не требуется активных приводов, жильцы управляют вентиляцией по своему усмотрению, ни капиталовложений, ни затрат на техническое обслуживание. Однако двигателями такого процесса выступают лишь давление ветра и термическая плавучесть в зависимости от преобладающих климатических условий. Снижается защита от внешних шумов и загрязненного наружного воздуха, а утилизация энергии из вытяжного воздуха практически невозможна. Изменения наветренной и подветренной сторон в зависимости от погодных условий может привести к тому, что вытяжной воздух из санузлов и кухни может попадать в жилые комнаты.

В целом, возможна естественная вентиляция через так называемые внешние воздухопроводы, но она также зависит от погоды.

Регулируемую вентиляцию, которая настраивается в соответствии с реальными потребностями жильцов, можно реализовать только в формате принудительной вентиляции. Что касается такого типа вентиляции, необходимая разница давлений вызывается механически. Соответствующие системы могут быть централизованными или локальными. Кондиционирование вытяжного воздуха образует в здании вакуум, вследствие чего наружный воздух проникает в помещение через вентиляционные отверстия и(или) просачивается внутрь оболочки здания в холлах. Потребление энергии системами естественной и вытяжной вентиляции практически одинаково, поскольку с меньшим воздухообменом связано более высокое потребление электроэнергии.

**Рисунок 6: Расположение в квартире централизованной системы подачи и отвода воздуха с утилизацией тепла**



рисунке 11 показано возможное распределение воздуховодов в квартире многоэтажного дома. На рис. 12 схематично представлена вентиляционная установка местной сборки на внешней стене.

Система вентиляции с утилизацией тепла сокращает теплопотери из-за вентиляции, превращая отработавшее тепло в подогретый воздух. Другие альтернативы – централизованные и децентрализованные системы. В особенности, когда речь идет о центральных вентиляционных установках, следует регулярно проводить осмотр и техническое обслуживание, чтобы обеспечить эффективность и соответствие гигиеническим требованиям. На Рисунке 6 показано возможное распределение воздуховодов в квартире многоэтажного дома. На Рисунке 7 схематично представлена вентиляционная установка местной сборки на внешней стене.

**Рисунок 7: Домашняя вентиляционная система с утилизацией тепла (источник: [www.lunos.de](http://www.lunos.de))**



Принудительная вентиляция, подключенная к системе предварительного подогрева воздуха грунтовыми или солнечными коллекторами, может быть целесообразна с энергетической и экономической точки зрения. Соответственно снижается отопительная нагрузка здания. Геотермальные теплообменники имеют преимущество: в зимний период они могут использоваться для предварительного нагрева, а в летний – для предварительного охлаждения воздуха.

#### **4.2.9 Отопление**

Размеры отопительной установки зависят от уровня энергоэффективности здания. В свете имеющегося опыта ассиметричное тепловое излучение за счет повышения температуры в помещении и одновременного охлаждения воздуха на поверхностях холодных компонентов в зданиях с высокой отопительной нагрузкой термически некомфортно для жильцов. Поэтому в зданиях с низкими отопительными нагрузками требуется оптимальное распределение тепла и контроль качества в целях достижения максимальной эффективности системы. При использовании пассивного солнечного тепла, проникающего в здание через остекление, отопительная нагрузка, то есть установленная мощность, не снижается, однако период времени, в течение которого необходимо максимальное количество энергии, сокращается, а вместе с ним – сокращается потребность в энергии.

Для эффективного использования возобновляемой энергии следует отдавать приоритет низкотемпературным системам. Это инновационные поверхностные отопительные системы

(пол, потолок, потолочные обогреватели) или даже активация железобетонного каркаса. В то же время такие системы также можно использовать для охлаждения.

Все компоненты системы необходимо размещать в непромерзающих помещениях внутри тепловой оболочки здания, чтобы предотвратить промерзание и избежать использования добавок к воде. Еще одно важное требование высокой энергоэффективности – это сведение к минимуму объемного расхода. Это требование относится к отоплению, охлаждению и горячему водоснабжению.

#### **4.2.10 Охлаждение**

Фактически, все отопительные системы также можно использовать для охлаждения. Однако при этом основная цель – удержать на минимальном уровне расход электроэнергии для активного охлаждения. Для этого необходимо свести к минимуму внешние охлаждающие нагрузки за счет эффективной теплоизоляции летом и соответствующего дизайна с максимальной массой, дающего возможность естественного охлаждения ночью и активации компонентов с естественным повторным охлаждением и применением геотермального холода.

#### **4.2.11 Подогрев воды**

Подогрев воды должен осуществляться генератором, используемым для отопления, или в дополнение может использоваться солнечный коллектор. Поэтому необходимо бивалентное хранилище, располагаемое внутри отапливаемой оболочки здания (см. выше).

#### **4.2.12 Освещение**

Конструкция здания должна обеспечивать возможность активного использования дневного света для естественного освещения помещений. Приемлемая глубина комнаты, оптимизированные перепады высот и специальные окна обязательны, чтобы свести к минимуму расход электроэнергии для искусственного освещения, с одной стороны, и более активного использования естественного освещения, с другой. Для лестничных клеток, проемов и лифтов необходимо предусмотреть установку энергоэффективных ламп и датчиков присутствия.

### **4.3 Пример: Модернизация существующих зданий**

В целом, существующие здания более выгодно модернизировать сразу. Если здание было отремонтировано наполовину, следует тщательно взвесить целесообразность инвестиций во второй раз. В большинстве случаев вложения во второй, более масштабный проект по модернизации здания не окупаются, поскольку повышение энергоэффективности за счет мер, используемых при второй модернизации, дает худшие результаты, чем в первый раз.

Ниже приведены расчеты по данным исследования<sup>11</sup> нескольких многоэтажных зданий в г. Котбус, Германия. Эти здания ближе всего к зданиям старого советского стандарта, встречающимся в Республике Беларусь. Сначала был определен объем строительных работ для

---

<sup>11</sup> Approaches and strategies of the local energy and climate change policy in large settlements, 2010 [8]

повышения энергоэффективности для каждого из зданий и составлена смета расходов. Это означает, что для существующих зданий предполагается постоянное проведение определенных работ по техническому обслуживанию, а поэтому на эти цели закладывается определенная доля затрат. Ниже на диаграмме приведено сравнение текущего положения и двух этапов модернизации. На схеме видно, что на определенном этапе изоляция оболочки здания не окупается в той мере, как в ходе первого этапа модернизации.

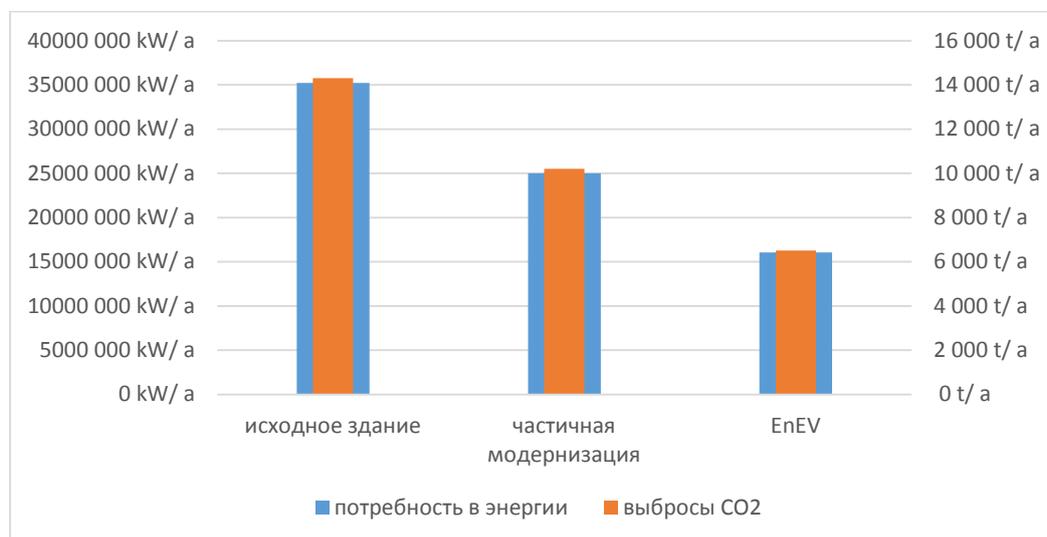
Меры:

1. Вариант: - Вариант 1 – существующее здание без модернизации
2. Вариант: - Второй вариант – частичная модернизация \*
3. Вариант: - Третий вариант – полная модернизация \*\*
4. Вариант: - Вариант 4: полная модернизация из первоначального состояния - здание, которое теперь соответствует немецкому стандарту Положения об энергосбережении (EnEV)
5. Вариант: - Вариант 5 – усовершенствование после частичной модернизации здания до соответствия стандарту EnEV
6. Вариант: - Последний вариант – это усовершенствование полностью модернизированного здания, соответствующего требованиям стандарта EnEV-Standard

* Частичная модернизация:	изоляция торцевых стен и крыши, частичная изоляция потолков подвала, замена окон, оптимизация системы отопления
** Полная модернизация:	все указанное выше, за исключением того, что изолируется вся оболочка здания

На рисунке ниже показано повышение энергетической эффективности в расчете на потребность в тепле в год (голубые столбцы), а также выбросы CO<sub>2</sub> (оранжевого цвета) для всех трех вариантов: здания без модернизации, здания после частичной и полной модернизации согласно требованиям стандарта EnEV:

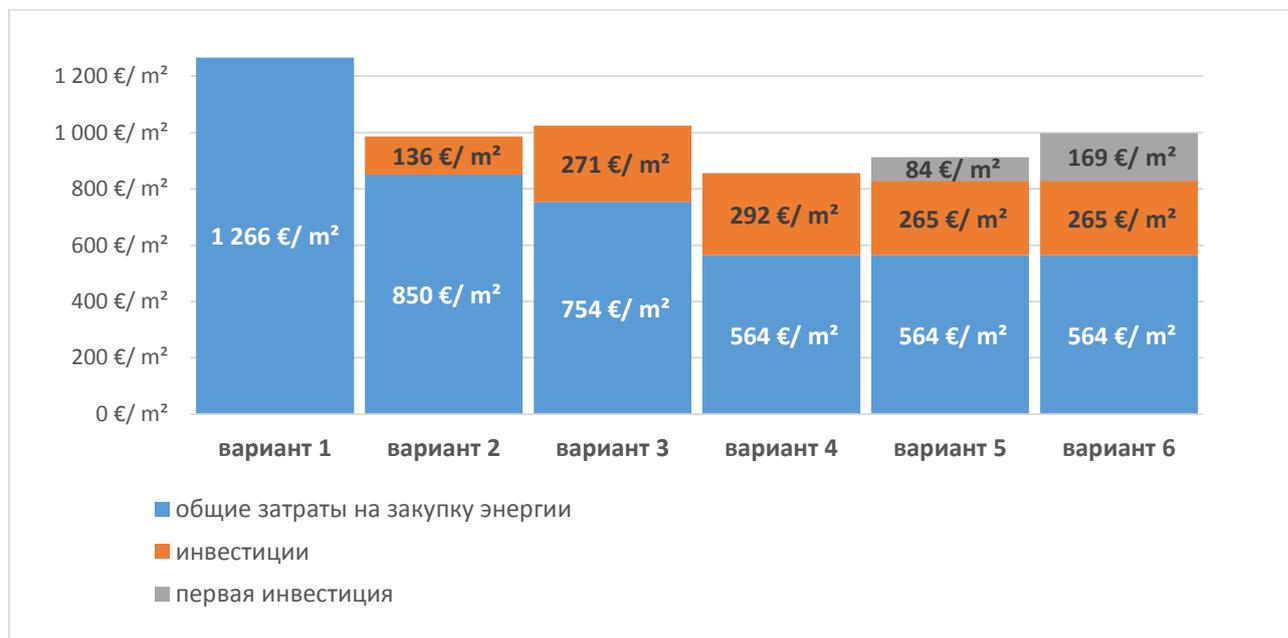
**Рисунок 8 Повышение энергетической эффективности для трех вариантов**



Экономические соображения исходят из следующих предположений:

Предполагаемый период:	30 лет		
Финансирование:	10 лет	и	0,89 % в год
	продление 20 лет	и	5,00 % в год
Средняя цена на энергию:	0,085 €/ кВт-ч		
Повышение цены на энергию:	6 % в год (1970 – 2010 гг.)		

**Рисунок 9 Варианты с экономической точки зрения**



Как видно из Рисунок 9 для вариантов 5 и 6 (когда частично модернизированное здание вторично модернизируется до достижения более высокого уровня энергоэффективности), затраты в долгосрочной перспективе не окупаются в той мере, как для зданий, которые модернизируются за один раз (варианты 2-4), поскольку первая сумма инвестиций превышает общие фактические затраты.

Однако иногда по ряду причин невозможно избежать поэтапной модернизации.

Именно в таких случаях для достижения оптимального соотношения затрат с точки зрения экономической эффективности следует придерживаться следующего порядка действий:

1. Изоляция водопроводов и тепломагистралей
2. (Дополнительная) изоляция крыши вместе с герметизацией крыши
3. Изоляция торцевых стен
4. Изоляция фасадов
5. Новые окна с тепловой защитой
6. Изоляция потолка подвала

## 7. Термостаты

## 8. Обновление жилищного хозяйства и устройств

Если действовать в таком порядке, в первую очередь, сводятся к минимуму теплопотери, то есть снижается потребность в тепле, и можно сократить расход энергии.

## 5 Вывод

Если подвести итог, то для достижения определенной финансовой и материальной независимости, в первую очередь, следует принимать меры по энергосбережению в жилищном секторе, поскольку именно на жилищный сектор приходится до 40% общего измеренного потребления тепла в стране. Поэтому для любого строящегося объекта необходимо разработать четкий план действий на этапе проектирования, что позволит явно показать экономические выгоды и обеспечить высококачественное использование. Что касается новых зданий, система мониторинга всегда очень полезна. Благодаря мониторингу можно быстро выявить слабые места и вовремя их скорректировать или устранить недостатки, не допустив дополнительного ущерба.

## 6 Источники

- [1] ПРООН в Беларуси  
Проект «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» 00077154  
Техническое задание  
получено: 27 мая 2013 г.
- [2] ПРООН/ГЭФ Программа развития ООН  
страна Беларусь  
Проектный документ
- [3] А.Ф. Молочко,  
Проект ПРООН/ГЭФ 00077154  
«Результаты анализа существующих методологий и практик для осуществления мониторинга интегральных энергетических характеристик зданий»  
Минск, 2013 г.
- [4] Bundesverband WindEnergie e.V.  
Efficiency and remuneration of small wind turbines (2010)
- [5] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council  
of 19 May 2010  
on the energy performance of Buildings (recast)  
Official Journal of the European Union, 18.06.2010
- [6] Ingenieuresellschaft BBP Bauconsulting mbH  
Draft Inception Report 05480/5/01/3-01  
21.06.2013
- [7] Ingenieuresellschaft BBP Bauconsulting mbH  
Отчет 05480/5/01/3-04 (Контракт № IC: 2013-098-01)  
Методические рекомендации по мониторингу и расчету энергетической эффективности для жилых зданий (Деятельность 4)  
29.01.2014
- [8] Ingenieuresellschaft BBP Bauconsulting mbH  
insar consult PartG  
Approaches and strategies of the local energy and climate change policy in large settlements (Handlungsansätze und Strategien der lokalen Energie- und Klimaschutzpolitik in Großsiedlungen)  
29.07.2010
- [9] Concerted Action  
Implementing the Energy Performance of Building Directive (EPBD)  
Featuring Country Reports 2012  
Electronic Version October 2013  
[www.epbd-ca.eu](http://www.epbd-ca.eu)

[10]	BS ISO 15686	
	Buildings and constructed assets. Service life planning.	
	Part 1: General principles and framework	2011-07-31
	Part 2: Service life prediction procedures	2012-08-31
	Part 3: Performance audits and reviews	2002-09-02
	Part 4: Service Life Planning using Building Information Modelling	2014-01-31
	Part 5: Life cycle costing	2008-07-31
	Part 6: Procedures for considering environmental impacts	2004-09-21
	Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice	2006-03-31
	Part 8: Reference service life and service-life estimation	2008-08-29