

## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



### Строительство здания, отвечающего стандартам пассивного дома

Д.О. Советников<sup>1</sup>

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

#### Информация о статье

УДК 69

Статья о новом оборудовании, материалах, технике и технологиях

#### История

Подана в редакцию 6 июня 2014  
Принята 20 августа 2014

#### Ключевые слова

пассивный дом,  
здание с низким потреблением энергии,  
энергоэффективность,  
теплоизоляция,  
герметичность

#### АННОТАЦИЯ



В статье рассмотрены архитектурные и пространственно-планировочные решения, направленные на создание дома, наиболее полно отвечающего принятым в мире стандартам пассивного строительства. Предложены возможные подходы к разработке архитектурного проекта здания и установке дополнительного инженерного оборудования, призванного максимально снизить затраты по энергопотреблению здания и повысить его экологичность. Отмечено, что основополагающими факторами для создания энергоэффективного здания с соблюдением теплового баланса являются герметичность оболочки здания, максимально возможный уровень теплоизоляции ограждающих конструкций, а так же устройство приточно-вытяжной вентиляционной системы с утилизацией затрат энергии на подогрев и охлаждение приточного воздуха.

#### Содержание

1.	Введение	12
2.	Обзор литературы	13
3.	Постановка задачи	14
4.1.	Определение	14
4.3.	Инженерные системы	16
4.4.	Герметичность и теплоизоляция ограждающих конструкций	18
5.	Заключение	20

<sup>1</sup>

Контактный автор:  
+7 (911) 901 9058, [sovet96@yandex.ru](mailto:sovet96@yandex.ru) (Советников Даниил Олегович, студент)

## 1. Введение

Рост энергопотребления, связанный с естественным приростом населения планеты, а также развитием экономики, увеличение затрат на приобретение энергоресурсов, постепенное уменьшение конечных запасов ископаемых энергетических ресурсов заставляют задуматься о создании более энергоэффективных методах строительства, призванных снизить объемы потребляемых ресурсов. Возникает необходимость разработки концепций, направленных на рациональное энергопотребление, а также переход на возобновляемые источники энергии, так как строительство является одной из отраслей экономики, имеющей большой потенциал в плане возможной реализации программ энергосбережения.

Кроме того, выбрасываемые в атмосферу при сгорании топлива парниковые газы ведут к изменению экологического состояния планеты, и как результат – к значительному ухудшению условий для жизнедеятельности человека. Вследствие этого крайне важно позаботиться о принятии эффективных и качественных мер, направленных на защиту окружающей среды, за счёт уменьшения объемов производства загрязняющих веществ.

Исходя из вышесказанного, не может возникнуть никаких сомнений в полезности и актуальности организации строительства зданий, использующих экологически чистые, возобновляемые источники энергии. Переход к такому типу зданий может существенно сократить потребление топливно-энергетических ресурсов, снизить расходы на энергообеспечение и уменьшить выбросы парниковых газов.

Строительство зданий подобного типа находится на стадии активного развития во многих европейских странах, ведущих политику энергосбережения. Фактически строительство подобного типа зданий в Европе регулируется и поощряется на государственном уровне: принятая в 2002 г. Директива European Energy Performance of Buildings Directive 2002/91/EC (EPBD) предусматривает ряд мер, направленных на снижение энергозатрат при строительстве, установления минимальных требований к энергетической эффективности зданий.

Согласно принятой директиве (Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU), в государствах-членах Евросоюза к 31 декабря 2020 года для всех новых зданий должны быть обеспечены условия строительства в соответствии с параметрами здания с близким к нулевому энергетическим балансом, а также разработаны национальные планы увеличения количества эксплуатируемых зданий, отвечающих этим критериям.

Кроме того, в целях ограничения энергопотребления во многих странах Европы введено ограничение теплотребления строящихся домов не более  $60\text{--}70 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ .

Стоит также отметить приоритет выполнения европейскими странами Киотского договора, призванного стабилизировать и снизить количество выбросов парниковых газов в атмосферу.

В России на данный момент полностью отсутствуют меры политики по продвижению пассивных домов и домов с нулевым потреблением энергии. Вследствие этого, а также длительного срока окупаемости, большой стоимости строительных конструкций, необходимости применения высокотехнологичных и высококачественных материалов, привлечения высококвалифицированной рабочей силы при строительстве, в России нет объектов, удовлетворяющих стандартам данного типа зданий.

Тем не менее построено несколько зданий, использующих принципы энергоэффективности, уровень электропотребления которых не превышает  $45 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ , к примеру, такие как «Активный дом» (Московская обл., д. Большое Свинорье) (рисунок 1), дом с ультранизким потреблением энергии в Нижнем Новгороде (Нижегородская обл., с. Шава) (рисунок 2).

В целом политика повышения энергоэффективности в России вплоть до 2009 года имела несистематизированный характер. Ситуация несколько изменилась после принятия федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». И вышедшим вслед за ним распоряжением от 27 декабря 2010 г. № 2446-р «О государственной программе Российской Федерации “Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года”». Они ставят основной целью снижение энергоемкости валового внутреннего продукта Российской Федерации на 13,5 % за счет реализации мероприятий Программы, что в совокупности с другими факторами позволит обеспечить решение задачи по снижению энергоемкости валового внутреннего продукта на 40 % в 2007–2020 годах.



Рисунок 1. «Активный дом» (Московская обл.) [34]



Рисунок 2. Дом с ультранизким потреблением энергии (Нижегородская обл.) [35]

«Положение об экономическом стимулировании проектирования и строительства энергоэффективных зданий и выпуска для них энергосберегающей продукции» устанавливает механизм экономического поощрения проектирования и строительства зданий, проектная энергоэффективность которых превышает стандартный уровень за счёт снижения удельного расхода энергоресурсов не менее чем на 15%.

## 2. Обзор литературы

Горшков А.С. в работе [1] проводит сравнительный анализ строительства зданий с нулевым потреблением энергии в России и за рубежом. Проводится анализ эффективности строительства данного типа зданий и разработки наименее затратной технологии при возведении.

Горшков А.С., Ватин Н.И. и Немова Д.В. в статье [2] рассматривают влияние формы и размеров здания, теплозащитных свойств ограждающих конструкций, а также герметичности оболочки здания на параметры энергопотребления. В результате исследования были установлены основные конструктивные требования при проектировании и конструировании для зданий с низким потреблением энергии, такие как высокий уровень теплоизоляции наружных ограждающих конструкций, герметичность наружной оболочки, компактность здания.

Бродач М.М. и Ливчак В.И. в статье [3] приводят перспективные планы по развитию и строительству в Европе зданий с низким энергопотреблением, а также сопоставляют европейские требования к показателям энергоэффективности многоквартирного дома с российскими с учётом местных климатических условий.

Шойхет Б.М. в исследовании [4] рассматривает европейский опыт по снижению тепловых затрат и повышению энергоэффективности сооружений, оценивая возможности применения рассмотренных концепций в российских условиях.

Смоляго Г.А. и Дронова А.В. в исследовании [5] предлагают конструктивные решения малоэтажных «пассивных» домов с каркасом из монолитного керамзитобетона и стенами из монолитного пенобетона в несъемной опалубке из стружечно-цементной плиты (СЦП), в котором оптимально разграничиваются несущие и ограждающие функции конструктивных элементов. Проведен сравнительный анализ удельных затрат при строительстве трех различных вариантах конструктивного решения вертикальных элементов «пассивного» дома.

Горшков А.С. и Гладких А.А. в работе [6] рассматривают вопрос повышения энергоэффективности при строительстве зданий и предлагают наиболее рациональные и экономически целесообразные решения данной проблемы. Авторы выделяют следующие способы уменьшения затрат энергии на отопление: увеличение теплозащитных свойств ограждающих конструкций (при условии, что срок эффективной эксплуатации внедряемых материалов превышает период их окупаемости) при одновременном использовании современных энергосберегающих методов и технологий, а также повышение степени соответствия расчетных и фактических затрат энергии на отопление зданий.

Аверьянов В.К., Байкова С.А., Горшков А.С. и другие в статье [7] предлагают концепцию обеспечения энергоэффективности здания, отличающуюся от принятой в СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» в первую очередь учетом всех видов потребляемой энергии здания. Разрабатываемый специалистами региональный методический документ, комплексно оценивающий энергетическую эффективность здания – по всем видам потребляемой энергии, рассматривающий все возможные пути

снижения потребляемой энергии, а также объединяющий в себе все необходимые нормативные документы и законодательные акты в области энергосбережения, позволит добиться ощутимого повышения энергоэффективности жилых и общественных зданий. В случае успешности разрабатываемой концепции для конкретного региона с заданными климатическими параметрами (г. Санкт-Петербург), возможна реализация и продвижение документа в других регионах страны.

### 3. Постановка задачи

Целью работы является описание возможных объёмно-планировочных, конструктивных и прочих концептуальных решений, направленных на создание здания, отвечающего следующим параметрам:

- соответствие стандартам «пассивного дома»;
- экологичность;
- оптимальный тепловой режим в помещении;
- обеспечение комфортной влажности в помещении;
- установление оптимального состава воздуха в помещении;
- равномерная вентиляция помещений, отсутствие конвекционных потоков («сквозняков»);
- хорошие акустические характеристики и освещение.

### 4.1. Определение

Для лучшего представления об объекте исследования приведена европейская классификация энергоэффективных зданий (за неимением российских аналогов):

- Дом с низким потреблением энергии (low energy house) – дома с тепловым потреблением не более 60-70 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год).
- Пассивный дом (passive house) – удельное годовое потребление энергии не превышает 15 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), при этом удельная тепловая нагрузка на отопление не превышает 10 Вт/м<sup>2</sup>.
- Дом с нулевым потреблением энергии (zero-energy building) – здание, имеющее тот же архитектурный стандарт, что и Пассивный дом, но инженерно оборудованное таким образом, чтобы потреблять выработанную самостоятельно энергию. Удельное потребление – 0 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год).
- Активный дом/дом с плюсовой энергией (active house/energy plus house) – здание, вырабатывающее с помощью специальных инженерных систем большее количество энергии, чем оно потребляет.

Таким образом, два последних типа зданий должны полностью соответствовать стандартам Пассивного дома и иметь схожие архитектурно-планировочные и объёмно-пространственные решения, но с помощью установленного в них инженерного оборудования удовлетворять свои энергетические потребности (zero-energy building), и вырабатывать излишки энергии (active house).

Основные концепции «Пассивного дома»:

- компактность здания и высокий уровень теплозащиты;
- отсутствие необходимости отопления или малое энергопотребление на отопление;
- пассивное использование теплоты солнечной радиации за счёт правильного остекления и ориентации здания;
- использование возобновляемых источников энергии и экологически чистых материалов;
- высокая герметичность ограждающих конструкций;
- приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла;
- снижение электропотребления за счёт использования техники с низкими энергозатратами.

## 4.2. Архитектурно-планировочные и пространственно-планировочные решения

Комплекс архитектурно-пространственных и объемно-планировочных решений при строительстве сооружений подобного типа должен быть направлен в первую очередь в сторону повышения энергоэффективности здания. Подобные мероприятия предполагают разработку рациональных, энергетически выгодных концепций, применение инновационных инженерных систем, энергосберегающих технологий, использование высокоэффективных теплоизоляционных материалов, и, что немаловажно, высококвалифицированной рабочей силы.

Основным принципом дома, отвечающего стандартам Passivhaus, является экономия 80 % тепловой энергии только за счет соответствующего архитектурного проектирования, а также использования высокоэффективной утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного.

Ниже приведен ряд возможных мер, выполнение которых поможет значительно повысить энергоэффективность постройки, а также соблюсти ряд условий, обязательных для достижения стандартов Пассивного дома.

### *Ориентация здания:*

- Энергетически рациональная ориентация здания по сторонам света с учётом преобладающих направлений холодного ветра и максимального остекления южных фасадов.
- Максимально возможное снижение ориентирования поверхности фасадов в северном направлении.
- Ветрозащита северных фасадов здания, с использованием, к примеру, зеленых насаждений, открытость здания с юга, отсутствие затенения южных фасадов.

### *Объемно-планировочные решения:*

- Увеличение компактности здания, характеризуемой коэффициентом компактности – отношение площади наружных ограждающих конструкций отапливаемой части здания к отапливаемому объему здания. Рациональной компактности отвечают ширококорпусные дома, отличающиеся снижением теплопотерь, устойчивостью микроклимата.
- Сокращение площади наружных ограждающих конструкций, и возможный отказ от изрезанности фасадов, эркеров, балконов, всевозможных выступов и проемов. Выступающие части здания увеличивают отношение площади поверхности наружных ограждающих конструкций к строительному объему здания и таким образом увеличивают расход тепловой энергии на отопление.
- Устройство мансардных этажей с повышенными теплозащитными свойствами. Проектирование дополнительных тамбуров при входе в здание, а также разделение пространства дома на зоны: устройство вспомогательных помещений в северной части, жилых – в южной. Создание подобных буферных отсеков должно снизить возможные потери тепла.

### *Остекление фасадов*

Для установления требуемого теплового баланса внутри здания, необходимо добиться максимальной герметичности и светопропускной способности остекления, рационально используя естественный свет, для достижения комфортного уровня освещения и, как следствие, снижая затраты на электропотребление. Кроме того, расположение окон на южных фасадах приведет к дополнительному нагреву помещений за счет солнечной радиации. Размещение в образованной за остеклением воздушной прослойке мобильных экранирующих устройств позволит осуществлять регулирование поступления солнечной радиации, а также сокращать потери теплоты в ее отсутствие в холодные периоды времени.

Крайне эффективным является применение теплоизолированного тройного остекления, которое представляет собой стеклопакет с двумя камерами с заполнением инертным газом и двумя низкоэмиссионными покрытиями. В совокупности с хорошо утепленными оконными рамами использование подобных оконных конструкций значительно снизит теплопотери и повысит комфорт внутри помещения, вследствие устранения холодного излучения от окна и температурного расслоения воздуха. Экономия энергии по сравнению с обычным остеклением составляет 50%. Сравнения характеристик остекления приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнения различных видов остекления

Вид остекления	1 стекло	2 стекла	2 стекла с низкоэмиссионным покрытием и заплн.стеклопакета инертным газом	3 стекла с низкоэмиссионным покрытием и заплн.стеклопакета инертным газом
$U, \text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$	5,50	2,80	1,20	<b>0,65</b>
$R, (\text{м}^2\text{С})/\text{Вт}$	0,18	0,35	0,83	<b>1,54</b>
Температура на внутренней поверхности, °С	-1,8	9,1	15,3	<b>17,5</b>
$g$	0,92	0,80	0,62	<b>0,48</b>

Примечания к таблице 1:

1. данные рассчитаны для наружной температуры  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и внутренней  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
2.  $U$  – коэффициент теплопередачи;
3.  $R$  – сопротивление теплопередаче;
4.  $g$  – коэффициент общего пропускания солнечной энергии.

Кроме того, не стоит забывать о возможности чрезмерного нагревания помещений за счет солнечной радиации в летний период, что может привести к большим затратам электроэнергии на вентиляцию. Для решения этой проблемы возможно использование специальных оконных стекол, размещение затеняющих конструкций, свесов, козырьков, находящихся снаружи от утепленной оболочки здания.

Также возможна установка маркизетов – внешних солнцезащитных штор рулонного типа, состоящих из стеклоткани и ПВХ, что позволяет им пропускать 30% светового потока и отражать 80% тепла, что создает комфортное освещение и температуру в помещении. Маркизеты позволяют сэкономить до 35% затрат мощности на систему кондиционирования помещения в летнее время.

#### Аккумуляция тепла

Эффективный пассивный способ сохранения тепла, полученного от солнечной радиации и внутренних источников тепла – установка массивных аккумулирующих элементов внутри здания. Подобными элементами могут служить стены из полнотелого кирпича или бетона.

На южных фасадах также возможно использование стены Тромба-Мишеля, которая предназначена для улавливания и накопления солнечного излучения и представляет собой стену, изготовленную из материала, обладающего высокой теплоемкостью, окрашенного в темный цвет. Расположенная на расстоянии 0,6–1 м от остекления, стена в дневное время активно нагревается и запасает тепло, которое распределяется по помещениям в темное время суток. Данная конструкция совмещает в себе коллектор и аккумулятор тепла, а также выполняет функцию термостабилизации.

## 4.3. Инженерные системы

### Вентиляция

Важнейшим критерием для установления теплового комфорта внутри помещений является обеспечение помещений качественным воздухом, вне зависимости от погодных условий.

Вентиляция, осуществляемая посредством инфильтрации воздуха через неплотности в ограждающей оболочке недопустима для зданий, отвечающих пассивным стандартам, вследствие нарушения герметичности ограждающих конструкций и неконтролируемости процесса проветривания, вплоть до возникновения сквозняков.

Основные методы правильной вентиляции (рисунок 3):

- приток свежего воздуха в жилые зоны
- вытяжка воздуха из влажных помещений (кухня, ванная, санузел)
- распределение и рекуперация тепла по всему пространству дома



Рисунок 3. Принцип работы правильной вентиляции [36]

Достигнуть подобного результата можно при соблюдении необходимой герметизации ограждающих конструкций в совокупности с использованием системы контролируемой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла или грунтовых теплообменников для пассивного предварительного подогрева (охлаждения) воздуха.

При недостаточной герметичности ограждающих конструкций приток воздуха будет плохо контролируемым, возникнут сквозняки, возможно конденсирование влаги на внутренних поверхностях конструкций внутри помещений или в самих конструкциях, что ведёт к их разрушению, образованию плесени и грибков.

#### *Противоточный теплообменник (рекуператор)*

Принцип таких установок заключается в том, что при прохождении вытяжного воздуха через канал теплообменника он отдает тепло верхней и нижней пластине рекуператора. Полученный в результате охлажденный воздух удаляется из помещения. С другой стороны пластины теплообменника пропускается свежий воздух с улицы, который получает тепло от предварительно нагретых пластин. Подогретый таким образом приточный воздух подается в жилые помещения (рисунок 4).

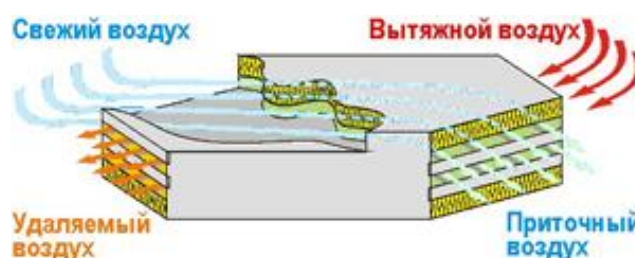


Рисунок 4. Схема работы приточно-вытяжного теплообменника [35]

Максимально эффективное использование теплоты удаляемого воздуха посредством теплообменников, с учётом избегания трансмиссионных потерь, при условии эффективной теплоизоляции, значительно (в пределах 70–90%) снижает затраты на подогрев и охлаждение приточного воздуха, что позволяет существенно сократить использование отдельных систем отоплений. Это является немаловажным аспектом уменьшения энергопотребления строения, ввиду того, что затраты на вентиляцию современных зданий оцениваются в 40–50% всех затрат на отопление.

#### *Грунтовые теплообменники и тепловые насосы*

Грунтовый теплообменник представляет собой систему труб, расположенных под землей на глубине от 1,8 м и используемых для пассивного подогрева приточного воздуха (зимой) и охлаждения (летом). Различают каналные (трубные) теплообменники, в которых воздух поступает через закопанные в грунт трубы, и бесканальные, в которых воздух проходит через предварительно подготовленный подземный слой. Канальные теплообменники изготавливают из тонкостенных канализационных труб из ПВХ, либо из полипропилена, обладающего большей теплопроводностью. Оптимальный диаметр труб: 200–250 см, так

как с увеличением диаметра уменьшается количество частиц воздуха внутри трубы, участвующих в теплообмене; длина трубы 35–50 м, при дальнейшем удлинении будет происходить рост сопротивления протеканию и увеличение теплообмена будет незначительным. Укладывать трубы целесообразно параллельно, избегая большого количества изгибов, которые создают дополнительное сопротивление протеканию воздуха.

Принцип действия теплового насоса заключается в сборе тепла с большой площади грунтового массива, находящегося ниже глубины заморзания почвы, и использование его в целях отопления, вентиляции и нагрева воды.

Использование тепловых насосов даёт значительное снижение (до 70%) затрат электроэнергии по сравнению с электрическим котлом.

Включение тепловых насосов в единый замкнутый контур позволяет контролировать эффективный перенос энергии из помещений с избытком тепла, в помещения, которые нужно нагреть. Использовать тепловой насос для отопления дома можно, например, с помощью системы теплого пола. При помощи систем автоматизации, регулирующих процессы вентиляции, можно добиться оптимальной работы поддержания систем микроклимата и значительной экономии энергоресурсов.

#### *Солнечные коллекторы*

Коллекторы активно используют энергию солнца и обеспечивают около 60% всей энергии, необходимой для получения горячей воды в течение всего года, а также часть энергии для обогрева помещений (в частности в комбинации с геотермальным насосом). Рациональна установка коллекторов с южной стороны фасада, что позволит им получать максимальное количество энергии.

Солнечные коллекторы могут устанавливаться непосредственно в кровельное покрытие с помощью оклада либо монтироваться в комбинации с мансардными окнами. В техническом помещении размещается бак с насосной станцией, системой управления и дополнительной насосной станцией с системой управления. Теплоноситель нагревает воду в баке, отсюда она под управлением автоматики распределяется на горячее водоснабжение и на отопление.

### **4.4. Герметичность и теплоизоляция ограждающих конструкций**

Герметичность наружной оболочки здания является необходимым условием строительства зданий, отвечающих стандартам Пассивного дома. При недостаточной герметичности ограждающих конструкций теплый воздух, находящийся внутри здания, может проникать наружу, что может привести к обильному выпадению конденсата на холодных участках конструкций, и как следствие – повлечь повреждение строительных конструкций. Кроме того, проникновение воздуха с улицы, может стать причиной возникновения сквозняков и нарушения целостности вентиляции помещений, значительному уменьшению уровня комфорта.

Исходя из данных соображений, при строительстве целесообразно охватывать непрерывной и воздухонепроницаемой оболочкой весь отапливаемый объем здания, используя герметичные соединения, выполненные, к примеру, посредством пароизоляционной ленты, а также устраняя возможные разрывы в местах прокладки электропроводки или труб.

Требуемые показатели кратности воздухообмена зданий и помещений при закрытых приточно-вытяжных вентиляционных отверстиях в период испытаний при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па (значения могут варьироваться в зависимости от погодных условий и особенностей климата) представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Показатели кратности воздухообмена согласно принятым стандартам**

Тип вентиляции	Германия (Постановление по энергосбережению от 01.02.2001 (EnEV))	Россия (СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»)	Стандарт Passivhaus
Без механической вентиляции	$n_{50} \leq 3 \text{ ч}^{-1}$	$n_{50} \leq 4 \text{ ч}^{-1}$	$0,2 \leq n_{50} \leq 0,6 \text{ ч}^{-1}$
С механической вентиляцией	$n_{50} \leq 1,5 \text{ ч}^{-1}$	$n_{50} \leq 2 \text{ ч}^{-1}$	



Теплоизоляция – важнейший аспект энергоэффективности здания, а также определяющая характеристика комфорта внутри помещений и долговечности строительных конструкций. Теплопотери через наружные стены и кровлю составляют более 50% от общих теплопотерь, а, следовательно, являются одной из главных причин расходов энергии на отопление помещений. Сокращение теплопотерь через наружные конструкции до минимума значительно снижает уровень тепловой нагрузки и позволяет осуществлять отопление здания за счет использования теплообменников.

Для выполнения стандартов Пассивного дома при проектировании предполагается устройство сплошной непрерывной теплоизоляционной оболочки, и как результат – полное утепление наружных ограждающих конструкций (окон, стен, перекрытий, наружных дверей и т.д.)

Первоочередной целью является расчет достаточной толщины слоя теплоизоляции, снижающей до минимума теплопотери, проверка отсутствия щелей между её частями, стыками и швами. Важным параметром является отсутствие тепловых мостов – конструктивных узлов, в которых из-за нарушения непрерывности теплоизоляции оболочки здания происходит увеличение теплоотдачи. На рисунке 5 представлена принципиальная схема устройства теплоизоляционной оболочки здания.

Типичные места утечек:

- соединения и стыки конструктивных элементов;
- прохождение кабелей и труб сквозь воздухоизолирующую оболочку здания;
- стыки больших окон и дверей с полом;
- соединения различных строительных материалов;
- швы примыкания пристроек и эркеров;
- мансардные и слуховые окна, чердачные люки.



Рисунок 5. Схема непрерывной теплоизоляционной оболочки здания

Коэффициент теплопередачи ( $U$ ) – величина характеризующая количество теплоты, отдаваемой строительной конструкцией наружу в единицу времени при изменении температуры на 1 К.

Требования для коэффициента теплопередачи ( $U$ ) и сопротивления теплопередачи ( $R_0 = 1/U$ ):

- для плотных ограждающих конструкций (наружные стены, кровля, полы первого этажа)  $U \leq 0,15$  Вт/(м<sup>2</sup>К),  $R_0 \geq 6,7$  (м<sup>2</sup>С)/Вт;
- для остекления  $U \leq 0,7$  Вт/мК,  $R_0 \geq 1,4$  (м<sup>2</sup>С)/Вт;
- для оконного профиля  $U \leq 0,8$  Вт/мК,  $R_0 \geq 1,25$  (м<sup>2</sup>С)/Вт.

## 5. Заключение

Таким образом, можно выделить основные способы решения поставленной проблемы по строительству здания, отвечающего стандартам пассивного дома:

- Энергетически рациональная ориентация здания с расположением жилых зон с южной стороны и буферных отсеков с северной.
- Увеличение компактности здания за счёт отказа от излишней изрезанности фасадов и сокращения площади внешних ограждающих конструкций.
- Размещение остекления, отвечающего хорошим критериям теплоизоляции и герметичности, преимущественно на южных фасадах.
- Приточно-вытяжная вентиляция помещений с рекуперацией тепла.
- Устройство герметичной оболочки по всему отапливаемому объёму здания.
- Установка сплошной непрерывной достаточно толстой теплоизоляционной оболочки с отсутствием тепловых мостов.
- Использование возобновляемых источников энергии и специального оборудования для накопления энергии.

С помощью вышеперечисленных методов и оборудования, примененных при проектировании и строительстве, возможна значительная экономия энергии и приближение проекта к стандартам пассивного дома, который на эксплуатацию требует не более 20% затрат на теплоснабжение по сравнению с обычным зданием.

Необходимо отметить, что таких хороших показателей можно добиться в значительной мере «пассивным» образом, то есть за счёт хорошего поглощения, аккумулирования и сохранения тепла, в результате правильно выполненного архитектурного проекта здания. Приведенное же инженерное оборудование, работающее за счёт альтернативных источников энергии, «активно» экономит дополнительную энергию, и, что немаловажно, значительно снижает эксплуатационные затраты здания и его вредное воздействие на окружающую среду.

Соблюдение основных концепций пассивного дома позволит создать здание, соблюдающее энергодолговесие между потерями тепла и теплопоступлениями, обладающее высокими показателями комфорта и качества микроклимата, а также низкими эксплуатационными затратами при строительстве.

Одна из главных проблем в России, препятствующая стремительному развитию пассивного строительства – завышенная стоимость строительства энергоэффективных домов. Переход стандартов и технологий пассивного дома требует как освоения специалистами новых энергоэффективных методик, так и применения высокотехнологичных и высококачественных строительных материалов, изделий и оборудования.

Поэтому основной задачей отечественных специалистов является адаптация европейских наработок и практик к местным условиям, попытка перенести и внедрить проверенные энергоэффективные стандарты и технологии и попытаться разработать собственные технические решения.

## Литература

- [1]. Горшков А. С., Дерунов Д. В., Завгородний В. В. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений. №3 (8). 2013. С. 12-23.
- [2]. Горшков А. С., Ватин Н. И., Немова Д. В. Формула энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 7 (12). С. 49-63.
- [3]. Бродач М. М., Ливчак В. И. Здание с близким к нулевому энергетическим балансом // АВОК №5 2011 С. 4-11.
- [4]. Шойхет Б.М. Концепция энергоэффективного здания. Европейский опыт // Энергосбережение. 2007. №7 С. 62-65.
- [5]. Смоляго Г.А., Дронова А.В. Возможности совершенствования качеств наружных стен при возведении и эксплуатации малоэтажных «пассивных» домов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2010. № 3. С. 66-70.
- [6]. Горшков А.С., Гладких А.А. Мероприятия по повышению энергоэффективности в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 246-250.
- [7]. Аверьянов В.К., Байкова С.А., Горшков А.С., Гришкевич А.В., Кочнев А.П., Леонтьев Д.Н., Мележик А.А., Михайлов А.Г., Рымкевич П.П., Тютюнников А.И. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий // Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 2-4.
- [8]. Петров К. В., Следь И. А., Орлов О. А., Рысь И. В., Урустимов А. И. Конкурс «Архитектурная концепция здания с нулевым потреблением энергии» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. №1. С.54-61.
- [9]. Гертис К. Здания XXI века — здания с нулевым потреблением энергии // Энергосбережение. 2007. № 3. С. 36-47.
- [10]. Дмитриев А. Н. Пассивные здания. Перспективы проектирования и строительства зданий с низким уровнем энергопотребления // СтройПРОФИЛЬ. 2005. №2. С.1-5.
- [11]. Шилкин Н.В. «Пассивные» здания: возможности современного строительства // Энергосбережение, 2011. №4. С. 34–40.
- [12]. Щукина Т.В., Кассим А. Инновационные пассивные гелиосистемы для энергосберегающей эксплуатации зданий // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2011. № 1. С. 158-163.
- [13]. Семенова Э.Е., Котова К.С. Разработка мероприятия по повышению энергоэффективности зданий // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2012. № 1. С. 193-196
- [14]. Башмаков И.А., Башмаков В.И. Политика повышения энергоэффективности России // Энергосбережение. 2012. № 4. С. 10-15.
- [15]. Елохов А.Е. Общие принципы проектирования и строительства пассивного дома // СПб.: СтройПРОФИЛЬ, 2010. №2–1 С. 34-45.
- [16]. Елохов А.Е. Пассивный дом: комфорт, энергосбережение, экономия // Коммунальный комплекс России. 2013. №2 (104). С. 1-5.
- [17]. Смирнова Т.А. Опыт и эксплуатация «пассивных» домов в России и Западной Европе // Строительные науки 2009. №5. С. 430-432.
- [18]. Adhikari R.S., Aste N., Del Pero C., Manfren M. Net Zero Energy Buildings: Expense or Investment? (2012) Energy Procedia. Vol. 14. pp. 1331–1336.
- [19]. Marszal A.J., Heiselberg P., Bourrelle J.S., Musall E., Voss K., Sartori I., Napolitano A. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. (2011) Energy and Building. Vol. 43. pp. 971–979.
- [20]. Alrashed F., Asif M. Prospects of Renewable Energy to Promote Zero-Energy Residential Buildings in the KSA. (2012) Energy Procedia. Vol. 18. pp.1096–1105.
- [21]. Klingenberg K. Passive House – a Positive Net Energy Home. (2008) ISTC. Vol. 10. pp. 37-46.
- [22]. Mitterer C., Künzel H. M., Herkel S., Holm A. Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building. (2012) Frontiers of Architectural Research. Vol. 1 Issue 3 pp. 229–235.
- [23]. Visa I., Moldovan M.D., Comsit M., Duta A. Improving the renewable energy mix in a building toward the nearly zero energy status. (2014) Energy and Buildings. Vol. 68 Part A. pp. 72-78.

- [24]. Russell S. Evolution of the American Zero Energy House. (2010) International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology. Vol. 1. pp. 9-18.
- [25]. Thiel C. L., Champion N., Landis Amy E., Jones Alex K., Schaefer Laura A. A Materials Life Cycle Assessment of a Net-Zero Energy Building. (2013) Energies. Vol. 6. Issue 2. pp. 1125-1141.
- [26]. Kildsgaard I., Jarnehammar A., Widheden A., Wall M. Energy and Environmental Performance of Multi-Story Apartment Buildings Built in Timber Construction Using Passive House Principles. (2013) Buildings. Vol. 3. Issue 1. pp. 258-277.
- [27]. McLeod R.S., Hopfe C. J., Rezgui Y. A proposed method for generating high resolution current and future climate data for Passivhaus design. (2012) Energy and Buildings. Vol. 55. pp. 481-493.
- [28]. Perez-Lombard L., Ortiz J., Pout C. Review on buildings energy consumption information. (2008) Energy and Buildings. Vol. 40. pp. 394–398.
- [29]. Ochs F., Dermentzis G., Feist W. Minimization of the Residual Energy Demand of Multi-storey Passive Houses – Energetic and Economic Analysis of Solar Thermal and PV in Combination with a Heat Pum. (2014) Energy Procedia. Vol. 48. pp. 1124-1133.
- [30]. Poel B., Van Cruchten G., Balaras C.A. Energy performance assessment of existing dwellings. (2007) Energy and Buildings. Vol. 39. pp. 393–403.
- [31]. Jae Bum Lee, Jae Wan Park, Jong Ho Yoon, Nam Choon Baek, Dai Kon Kim, U. Cheul Shin. An empirical study of performance characteristics of BIPV system for the realization of zero energy building. (2014) Energy. Vol. 66. pp. 25-34.
- [32]. Attia S., Gratia E., De Herde A., Hensen Jan L.M. Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. (2012) Energy and Buildings. Vol. 49. pp. 2–15.
- [33]. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
- [34]. Активный дом (Московская обл.). URL: <http://www.activedom.ru/assets/images/Exteriors/Exterior6.jpg> (дата обращения: 20.06.2014)
- [35]. Дом с ультранизким потреблением энергии (Нижегородская обл.). URL: <http://i.archi.ru/i/650/129534.jpg> (дата обращения: 20.06.2014)
- [36]. Принцип работы правильной вентиляции. URL: [http://www.passiv-rus.ru/images/Lueftung\\_im\\_Passivhaus\\_rus\\_.jpg](http://www.passiv-rus.ru/images/Lueftung_im_Passivhaus_rus_.jpg) (дата обращения: 20.06.2014)
- [37]. Схема работы приточно-вытяжного теплообменника. URL: [http://www.passiv-rus.ru/images/WaermeRueckGewinnung\\_rus.jpg](http://www.passiv-rus.ru/images/WaermeRueckGewinnung_rus.jpg) (дата обращения: 20.06.2014).

## Construction of building in accordance with passive house standards

D.O Soventnikov<sup>1</sup>

*Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.*

### ARTICLE INFO

Technical paper

### Article history

Received 6 June 2014  
Accepted 20 August 2014

### Keywords

passive house,  
low energy building,  
energy efficiency,  
insulation,  
imperviousness

### ABSTRACT



The article presents architectural and three-dimensional planning solutions aimed at constructing a building structure in accordance with international standards of passive house. The article offers possible approaches to development architectural design of building and installation of technical equipment that must minimize expenses on energy consumption and increase its environmental friendliness. It is mentioned that foundational factors for the creation of energy-efficient building in compliance of heat balance are imperviousness of the building envelop, as high as possible level of cladding structure's insulating as well as creating supply-extract system with utilization of energy consumption for heating and cooling supply air.

<sup>1</sup>

*Corresponding author:*  
+7 (911) 901 9058, sovet96@yandex.ru (Daniil Olegovich Soventnikov, Student)

## References

- [1]. Gorshkov A. S., Derunov D. V., Zavgorodniy V. V. Technology and organization of the building with zero energy consumption (2013) *Construction of Unique Buildings and Structures*. Vol. 3. Issue 8. pp. 12-23. (rus)
- [2]. Gorshkov A. S., Vatin N. I., Nemova D. V. The energy saving formula (2013) *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. Vol. 7. Issue 12. Pp. 49-63. (rus)
- [3]. Brodach M. M., Livchak V. I. *Zdaniye s blizkim k nulevomu energeticheskim balansom* [Nearly zero energy building] (2011) *AVOK* Vol. 5. Pp. 4-11. (rus)
- [4]. Shoykhet B.M. *Kontsepsiya energoeffektivnogo zdaniya. Yevropeyskiy opyt* [Concept of energy-efficiency building. European experience] (2007) *Energoberezheniye*. Vol. 7. Pp. 62-65.
- [5]. Smolyago G.A., Dronova A.V. *Vozmozhnosti sovershenstvovaniya kachestv naruzhnykh sten pri vozvedenii i ekspluatatsii maloetazhnykh «passivnykh» domov* [Possibilities of perfection of qualities of external walls at erection and operation low-town «passive» houses] (2010) *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010. Vol. 3. Pp. 66-70. (rus)
- [6]. *Skhema raboty pritochno-vytyazhnogo teploobmennika*. URL: [http://www.passiv-rus.ru/images/WaermeRueckGewinnung\\_rus.jpg](http://www.passiv-rus.ru/images/WaermeRueckGewinnung_rus.jpg) (Date of reference: 20.06.2014)
- [7]. Averyanov V.K., Baykova S.A., Gorshkov A.S., Grishkevich A.V., Kochnev A.P., Leontyev D.N., Melezhih A.A., Mikhaylov A.G., Rymkevich P.P., Tyutyunnikov A.I. *Regionalnaya kontsepsiya obespecheniya energeticheskoy effektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Regional Concept of Ensuring of Residential and Public Buildings Energy Efficiency] (2012) *Zhilishchnoye stroitelstvo*. Vol. 3. Pp. 2-4. (rus)
- [8]. Petrov K. V., Sled I. A., Orlov O. A., Rys I. V., Urustimov A. I. Competition “Architectural concept of building with zero energy consumption” (2012) *Construction of Unique Buildings and Structures*. Vol. 1. Pp.54-61. (rus)
- [9]. Gertis K. *Zdaniya XXI veka — zdaniya s nulevym potrebleniyem energii* [The building of the 21st century – zero energy building] (2007) *Energoberezheniye*. 2007. Vol. 3. Pp. 36-47. (rus)
- [10]. Dmitriyev A. N. *Passivnyye zdaniya. Perspektivy proyektirovaniya i stroitelstva zdaniy s nizkim urovnem energopotrebleniya* [Passive houses. Perspectives of designing and building of low energy houses] (2005) *StroyPROFIL*. Vol. 2. Pp.1-5. (rus)
- [11]. Shilkin N.V. *«Passivnyye» zdaniya: vozmozhnosti sovremennogo stroitelstva* [Passive houses: solutions of modern construction] (2011) *Energoberezheniye*, 2011. Vol. 4. Pp. 34–40. (rus)
- [12]. Shchukina T.V., Kassim A. *Innovatsionnyye passivnyye geliosistemy dlya energoberegayushchey ekspluatatsii zdaniy* (2011) *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Vysokiye tekhnologii. Ekologiya*. 2011. Vol. 1. Pp. 158-163.
- [13]. Semenova E.Ye., Kotova K.S. *Razrabotka meropriyatii po povysheniyu energoeffektivnosti zdaniy* [Development of measures for increase of energy efficiency of buildings] (2012) *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Vysokiye tekhnologii. Ekologiya*. 2012. Vol. 1. Pp. 193-196. (rus)
- [14]. Bashmakov I.A., Bashmakov V.I. *Politika povysheniya energoeffektivnosti Rossii* [Policy of improvement of the energy efficiency of Russia] (2012) *Energoberezheniye*. 2012. Vol. 4. Pp. 10-15. (rus)
- [15]. Yelokhov A.Ye. *Obshchiye printsipy proyektirovaniya i stroitelstva passivnogo doma* [General principles for the designing and construction of a passive house] (2010) *SPb.: StroyPROFIL*, Vols. 2–1 Pp. 34-45. (rus)
- [16]. Yelokhov A.Ye. *Passivnyy dom: komfort, energoberezheniye, ekonomiya* [Passive house: comfort, energy efficiency, economy] (2013) *Kommunalnyy kompleks Rossii*. Issue 2. Vol. 104. Pp. 1-5. (rus)
- [17]. Smirnova T.A. *Opyt i ekspluatatsiya «passivnykh» domov v Rossii i Zapadnoy Yevrope* [Experience and exploitation of passive houses in Russia and West Europe] (2009) *Stroitelnyye nauki* Vol. 5. Pp. 430-432. (rus)
- [18]. Adhikari R.S., Aste N., Del Pero C., Manfren M. Net Zero Energy Buildings: Expense or Investment? (2012) *Energy Procedia*. Vol. 14. pp. 1331–1336.
- [19]. Marszal A.J., Heiselberg P., Bourrelle J.S., Musall E., Voss K., Sartori I., Napolitano A. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. (2011) *Energy and Building*. Vol. 43. pp. 971–979.
- [20]. Alrashed F., Asif M. Prospects of Renewable Energy to Promote Zero-Energy Residential Buildings in the KSA. (2012) *Energy Procedia*. Vol. 18. pp.1096–1105.
- [21]. Klingenberg K. Passive House – a Positive Net Energy Home. (2008) *ISTC*. Vol. 10. pp. 37-46.
- [22]. Mitterer C., Künzel H. M., Herkel S., Holm A. Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building. (2012) *Frontiers of Architectural Research*. Vol. 1 Issue 3 pp. 229–235.

- [23].Visa I., Moldovan M.D., Comsit M., Duta A. Improving the renewable energy mix in a building toward the nearly zero energy status. (2014) *Energy and Buildings*. Vol. 68 Part A. pp. 72-78.
- [24].Russell S. Evolution of the American Zero Energy House. (2010) *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. Vol. 1. pp. 9-18.
- [25].Thiel C. L., Champion N., Landis Amy E., Jones Alex K., Schaefer Laura A. A Materials Life Cycle Assessment of a Net-Zero Energy Building. (2013) *Energies*. Vol. 6. Issue 2. pp. 1125-1141.
- [26].Kildsgaard I., Jarnehammar A., Widheden A., Wall M. Energy and Environmental Performance of Multi-Story Apartment Buildings Built in Timber Construction Using Passive House Principles. (2013) *Buildings*. Vol. 3. Issue 1. pp. 258-277.
- [27].McLeod R.S., Hopfe C. J., Rezgui Y. A proposed method for generating high resolution current and future climate data for Passivhaus design. (2012) *Energy and Buildings*. Vol. 55. pp. 481-493.
- [28].Perez-Lombard L., Ortiz J., Pout C. Review on buildings energy consumption information. (2008) *Energy and Buildings*. Vol. 40. pp. 394–398.
- [29].Ochs F., Dermentzis G., Feist W. Minimization of the Residual Energy Demand of Multi-storey Passive Houses – Energetic and Economic Analysis of Solar Thermal and PV in Combination with a Heat Pum. (2014) *Energy Procedia*. Vol. 48. pp. 1124-1133.
- [30].Poel B., Van Cruchten G., Balaras C.A. Energy performance assessment of existing dwellings. (2007) *Energy and Buildings*. Vol. 39. pp. 393–403.
- [31].Jae Bum Lee, Jae Wan Park, Jong Ho Yoon, Nam Choon Baek, Dai Kon Kim, U. Cheul Shin. An empirical study of performance characteristics of BIPV system for the realization of zero energy building. (2014) *Energy*. Vol. 66. pp. 25-34.
- [32].Attia S., Gratia E., De Herde A., Hensen Jan L.M. Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. (2012) *Energy and Buildings*. Vol. 49. pp. 2–15.
- [33].SNiP 23-02-2003. *Teplovaya zashchita zdaniy*.
- [34].*Aktivnyy dom (Moskovskaya obl.)*. URL: <http://www.activedom.ru/assets/images/Exteriors/Exterior6.jpg> (Date of reference: 20.06.2014)
- [35].*Dom s ultranizkim potrebleniyem energii (Nizhegorodskaya obl.)*. URL: <http://i.archi.ru/i/650/129534.jpg> (Date of reference: 20.06.2014)
- [36].*Printsip raboty pravilnoy ventilyatsii*. URL: [http://www.passiv-rus.ru/images/Lueftung\\_im\\_Passivhaus\\_rus\\_.jpg](http://www.passiv-rus.ru/images/Lueftung_im_Passivhaus_rus_.jpg) (Date of reference: 20.06.2014)
- [37].Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. *Meropriyatiya po povysheniyu energoeffektivnosti v stroitelstve* [Measures for energy efficiency in construction] (2010) *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. Vol. 3. Pp. 246-250. (rus).