

## Оглавление

Введение.....	5
Annotation .....	13
Introduction .....	14
Глава 1. Мировой опыт законодательных инициатив по энергосбережению в строительстве.....	19
Глава 2. Климатические условия .....	46
2.1. Отопительный период .....	46
2.2. Инсоляционный потенциал России.....	49
2.3. Климат и население России .....	55
2.4. Температура и градусо-сутки отопительного периода.....	57
2.5. Градусо-сутки периода охлаждения здания .....	62
2.6. Зачем экономить энергию?.....	68
Глава 3. Солнечная геометрия.....	80
3.1. Суточный конус солнечных лучей.....	80
3.2. Параметры суточного конуса солнечных лучей .....	82
3.3. Солнечная карта.....	84
Глава 4. Отопительный период .....	87
4.1. Пассивный солнечный нагрев.....	87
4.2. Устройства пассивного солнечного нагрева .....	89
4.3. Прямой солнечный нагрев .....	90
4.4. Солнечное пространство .....	99

4.5. Косвенный солнечный нагрев .....	105
4.6. Пример энергоэффективного коттеджа и тепловой баланс... ..	107
Глава 5. Здания с активным энергосбережением .....	111
5.1. Основные элементы систем «активного» энергосбережения .....	111
5.2. Инновационная разработка НИИСФ.....	119
5.3. Предложения по использованию инновационного решения НИИСФ .....	125
Глава 6. Пассивное охлаждение здания. Солнцезащита .....	139
6.1. Примеры эффективной солнцезащиты.....	140
6.2. Защита от Солнца.....	143
6.3. Солнечные карты и теневые маски в проектировании СЗУ....	150
6.4. Вертикальное положение ламелей.....	156
6.5. Горизонтальное положение ламелей .....	158
6.6. Общее положение ламелей.....	161
Глава 7. Светопрозрачные конструкции и фасады.....	166
7.1. Светопрозрачные конструкции.....	166
7.2. Фасады.....	201
Заключение .....	222
Библиография.....	224
Сведения об авторах .....	231

## Введение

**Энергоэффективный дом** — это здание, в котором низкое потребление энергии сочетается с хорошим микроклиматом. Экономия энергии в этих домах может достигать 90 %. Годовая потребность в отоплении энергоэффективного дома может не превышать 15 кВт·ч на квадратный метр. Причем больше половины экономии энергии может на себя взять низкоэнергетическая архитектура и современные технологические решения.

Согласно данным информационной системы по строительству, общая площадь эксплуатируемых жилых зданий в России составляет около 5 млрд м<sup>2</sup>. На их отопление расходуется 400 млн тонн условного топлива в год, или более трети энергоресурсов страны. Особенно остро эта проблема встает в коммунальном хозяйстве, которое потребляет до 20 % электрической и 45 % тепловой энергии, производимой в стране. На единицу жилой площади в России расходуется в 2–3 раза больше энергии, чем в Европе. Но нельзя это относить только на счет суровых погодных условий, просто благодаря крайне низкой стоимости энергии у нас не придавалось сколько-нибудь серьезного значения вопросам энергосбережения [1].

Европейские страны стремятся к 2060 году наладить строительство энергоэффективных домов, обеспечив ими граждан на 80 % [1]. Россия же только стартовала в этом вопросе и сейчас крайне важен положительный опыт использования энергоэффективных технологий в наших условиях.

Для районов с большим количеством солнечных дней в году энергетическая эффективность зданий может быть существенно улучшена за счет применения стратегии пассивного солнечного нагрева зданий. Эта стратегия наиболее применима для малоэтажных новых и реконструируемых зданий и может быть реализована проектировщиками с целью сокращения потребления не возобновляемых источников энергии на отопление.

Ключевые моменты стратегии «пассивного солнечного дома»:

1. Пассивные солнечные технологии повышают энергоэффективность здания. Сокращение расходов на отопление до 40 % и до 30 % на охлаждение здания. В масштабах страны — это колоссальная экономия энергоресурсов

2. Надежность: прочная конструкция, теплее зимой, прохладнее летом (даже в случае сбоя энергопитания).

3. Используются чистые, возобновляемые источники энергии для борьбы с растущей озабоченностью по поводу глобального потепления.

В Европе существует следующая классификация зданий в зависимости от уровня их энергетической эффективности [2; 3]:

**Старое здание** — здание, построенное до мирового топливно-энергетического кризиса середины 1970-х годов. Оно требует для своего отопления 200–300 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год тепловой энергии.

**Новое здание** — здание, которое строилось после кризиса до 2000 года. Требуется для отопления не более 150 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год.

**Дом низкого потребления энергии (low energy house)** — с 2002 года в Европе не разрешено строительство домов с теплотреблением более 60–70 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. Часть стран рассматривает эту величину как удельный годовой расход тепловой энергии на отопление (в многоквартирных домах, где теплотери здания, на которые подбираются отопительные приборы, включают расход тепла на нагрев вентиляционного воздуха — на отопление и вентиляцию), а часть — как суммарный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

**«Пассивный» дом (passive house)** — удельное годовое потребление на отопление должно быть не более 15 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год и 15 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год на охлаждение, при этом удельная тепловая нагрузка на отопление не должна превышать 10 Вт/м<sup>2</sup>. Кроме того, его наружные ограждения должны быть настолько герметичны, что при испытании по методу «blower door», то есть при установке на месте входной двери устройства с вентилятором, создающим напор в помещениях 50 Па (Н/м<sup>2</sup>) (при закрытых приточных и вытяжных отверстиях), воздухообмен должен составлять не более 0,6 обмена в час испытываемого объема.

На *рис. 1–2* приведены примеры некоторых «пассивных» зданий.



*Рис. 1.* Пассивный дом под Парижем.

*Источник:* <https://skalice.ru/raznoe/proekt-energoeffektivnogo-doma.html>

За последние десятилетия основным достижением разработчиков «пассивных» зданий (помимо включения в технологию их строительства современных технологий) стал переход от проектирования отдельных односемейных зданий к возведению и реконструкции (что необычайно актуально для Восточной Германии) многоэтажных многоквартирных домов, построенных в период 1950–1980-х годов (*рис. 2*). Этот опыт необычайно актуален и для Российской Федерации.

На *рис. 3* показаны требования к энергоэффективным зданиям по данным [4].

На *рис. 3* указаны капитализированные затраты в болгарских левых (один болгарский лев — 47 рублей) на строительство и эксплуатацию энергоэффективных зданий. В Германии стоимость затрат будет существенно выше.

Пассивные солнечные дома создаются в результате комплексного проектирования, которое использует местные источники энергии и материалы, и климатизацию внутреннего пространства в большей мере архитектурными, чем инженерными средствами.

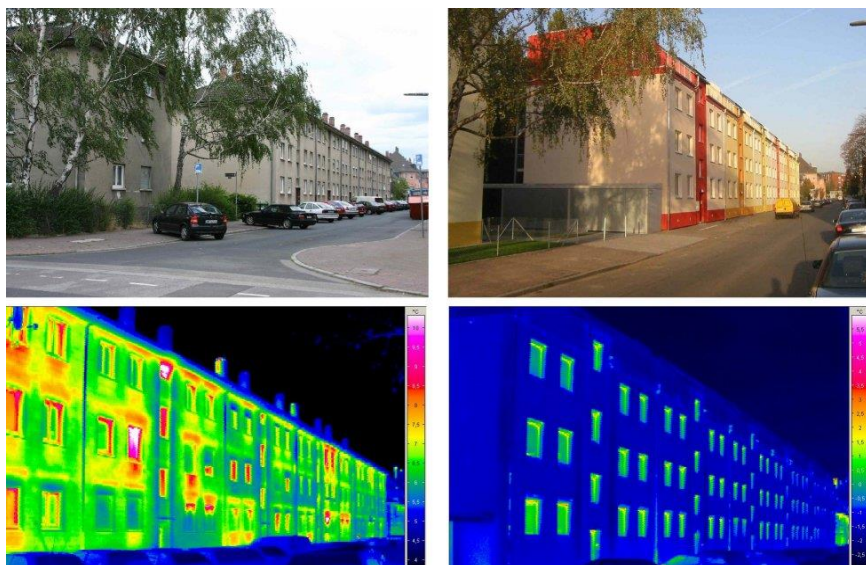


Рис. 2. Реконструкция здания постройки 50-х годов под стандарт пассивного дома и результаты его тепловизионного обследования.

Источник: [https://passivehouse.com/01\\_passivehouseinstitute/02\\_expertise/04\\_qualityassurance/02\\_thermographicimaging/02\\_thermographicimaging.html](https://passivehouse.com/01_passivehouseinstitute/02_expertise/04_qualityassurance/02_thermographicimaging/02_thermographicimaging.html)

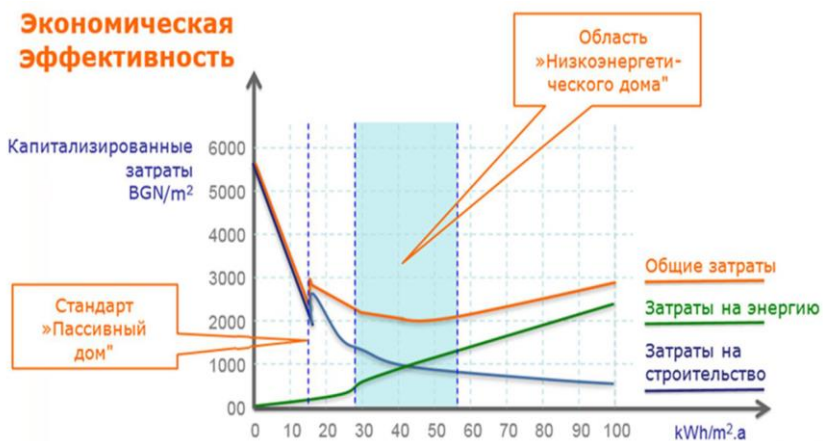


Рис. 3. Требования к энергоэффективным зданиям.

Источник: <https://www.facebook.com/eneffect/>

Существует общее эмпирическое правило, согласно которому грамотно спроектированный пассивный солнечный дом в сравнении с традиционно спроектированным домом той же площади поможет снизить затраты на отопление на 75 % при удорожании строительства всего лишь на 5–10 %. Во многих районах США пассивные солнечные дома не требуют никакой дополнительной энергии на отопление или охлаждение. С учетом текущих и будущих планируемых затрат на отопление дополнительная стоимость строительства пассивного солнечного дома возмещается очень быстро. Официальные обзоры указывают на 100 000 пассивных солнечных домов, построенных в США (1984), но неофициальные источники говорят об одном миллионе зданий, в которых использованы те или иные положения пассивного солнечного дизайна (чаще всего теплицы, пристроенные с южной стороны дома) [5].

В связи с активным развитием в последнее десятилетие новых строительных технологий (и связанных со строительством иных инноваций) появилось много других возможностей для снижения энергетических затрат на эксплуатацию зданий различного назначения. Сегодня они, конечно, значительно более дорогие, но знать о них, пожалуй, необходимо. Ниже перечислены некоторые из них.

**«Активный» дом (active house), или дом с плюсовой энергией (energy plus house)** — здание, которое с помощью установленного в нем оборудования: солнечных батарей, коллекторов, тепловых насосов, рекуператоров, грунтовых теплообменников и т. п. вырабатывало бы больше энергии, чем само потребляло, т. е. с расходом энергии на эксплуатацию здания  $< 0$  кВт·ч/м<sup>2</sup> в год.

Не так давно [6] появилось новое понятие — **здание с близким к нулевому энергетическим балансом (nearly zero energy building)**.

В зависимости от целей, стоящих перед проектировщиком, выделяют несколько типов зданий с нулевым энергетическим балансом [2]. В четырех первых вариантах здание подключено

к внешней сети, используется «зеленая» энергия от различных возобновляемых источников энергии:

– **«Нулевое» по месту расположения здание.** На территории, где находится здание, производится как минимум столько же «зеленой» энергии, сколько здание потребляет в течение года. В периоды, когда собственной энергии от возобновляемых источников не хватает, здание потребляет энергию от сети, а при избытке собственной энергии экспортирует ее обратно в сеть. Данный тип можно считать золотым стандартом зданий с нулевым энергетическим балансом. При его проектировании применяют инновационные технологии, все необходимые расчеты производят непосредственно на месте и зависимость от внешних факторов сведена к минимуму. Такой тип здания интересен для владельцев, которые уделяют большое внимание стоимости энергоснабжения.

– **«Нулевое» по ресурсам здание.** Источник энергии здания производит как минимум столько же исходной энергии, сколько здание потребляет в течение года (рассчитывается для источника). Исходная энергия — это первичная энергия, затрачиваемая на производство и доставку энергии до здания. Для расчета полной исходной энергии здания импортированная и экспортированная энергия умножается на соответствующие коэффициенты преобразования участок-источник. Такой тип здания интересен для государственных структур, которые ставят задачу снижения потребления первичной или ископаемой энергии.

– **«Нулевое» по расходам на энергопотребление здание.** Денежные средства, которые энергосбытовая компания платит владельцу здания за энергию, экспортируемую зданием в энергосистему, как минимум равны сумме, которую владелец здания платит энергосбытовой компании за энергетические услуги и энергию, используемую в течение года. Такой тип здания интересен для владельцев, заинтересованных в снижении энергопотребления здания с точки зрения требований энергоснабжающих организаций.

– **«Нулевое» по выбросам здание.** Здание производит как минимум столько энергии из возобновляемых источников без атмосферных выбросов, сколько оно использует из источников



с атмосферными выбросами. Такой тип здания интересен для организаций, контролирующих загрязнение окружающей среды и заинтересованных в снижении объема атмосферных выбросов.

– **«Нулевое» автономное здание.** Здание, производящее, по крайней мере, 75 % необходимой ему энергии из возобновляемых источников. Термин «нулевое» автономное здание используется для тех зданий, которые функционируют вне общей сети и не могут быть отнесены к одному из перечисленных выше видов.

Здание с нулевым энергетическим балансом может одновременно относиться к нескольким типам. К примеру, здание «нулевое» по месту расположения практически всегда является и «нулевым» по выбросам.

Примеры энергоэффективных зданий, построенных в конце XX — начале XXI века приведены в очень интересной и информативной книге [7].

В последние годы строятся и высотные здания с нулевым потреблением энергии (рис. 4) — особенно много их в Китайской Народной Республике.



Рис. 4. Высотное здание с нулевым расходом энергии в КНР.  
Источник: <https://inhabitat.com/woods-bagot-zero-e-is-a-new-model-for-sustainable-development/zero-e-pilot-project-1/>

Почему же до сих пор для энергоснабжения зданий не используются солнечная энергия и другие возобновляемые источники энергии (ВИЭ)? Основные причины, на наш взгляд, в следующем:

1. Экономические факторы — в большинстве случаев новые технологии и решения дороже тех, которые уже применяются и привычны проектировщикам, инвесторам и строителям.

2. Отсутствие технических знаний у проектировщиков, инвесторов и строителей, а также нежелание обучаться новым технологиям и связанным с ними возможностям.

3. Нежелание и неумение использовать «новые» технологии.

4. Архитектурные (эстетические) факторы — часто это предрассудки необученных заказчиков и подрядчиков.

Ключевую роль в проектировании энергоэффективных зданий должны играть архитекторы, владеющие методикой расчета энергоэффективности. А таких, к сожалению, в нашей стране практически нет. Однако мы уверены, что в ближайшее десятилетие будут востребованы здания по низкоэнергетической архитектуре и их, наконец, научатся проектировать.

В принципе, именно этому и посвящена эта книга.

## **Annotation**

The monograph is devoted to a very urgent problem — to increase energy efficiency and energy saving in the construction, operation, reconstruction and overhaul of buildings and structures for various purposes with the maximum use of solar radiation.

The monograph contains information on the global experience of legislative initiatives on energy saving in construction, modern methods of using solar energy in the design of passive and active buildings, climatic conditions in various regions of the Russian Federation, which allow competently designing passive and active buildings for various purposes, modern trends in the development of some important structural elements of buildings (windows and facades).

The monograph is intended for specialists in the field of design of energy-efficient buildings — architects and designers. At the same time, it will be interesting to a wide range of construction specialists. The material presented in it can be used in designing buildings for various purposes with increased energy efficiency and energy saving.

## Introduction

**An energy-efficient house** is a building in which low energy consumption is combined with a good microclimate. Energy savings in these homes can reach 90 %. The annual heating requirement of an energy efficient house may not exceed 15 kWh per square meter. Moreover, low-energy architecture and modern technological solutions can take over more than half of the energy savings.

According to the construction information system, the total area of residential buildings in operation in Russia is about five billion square meters. Their heating consumes 400 million tons of conventional fuel per year, or more than a third of the country's energy resources. This problem is especially acute in the public sector, which consumes up to 20 % of the electric and 45 % of the thermal energy produced in the country. 2–3 times more energy is spent per unit of living space in Russia than in Europe. But this cannot be attributed only to severe weather conditions, simply due to the extremely low cost of energy, we did not attach any serious importance to energy conservation issues.

European countries are striving to establish the construction of energy-efficient houses by 2060, providing them with 80 % of citizens. Russia has just started in this matter and now the positive experience of using energy-efficient technologies in our conditions is extremely important.

For areas with a large number of solar days per year, the energy efficiency of buildings can be significantly improved by applying a strategy of passive solar heating of buildings. This strategy is most applicable to low-rise new and reconstructed buildings and can be implemented by designers in order to reduce the consumption of non-renewable energy sources for heating.

Key points of the “passive solar house” strategy:

1. Passive solar technologies increase the energy efficiency of the building. Reduce heating costs by up to 40 % and up to 30 % for building cooling. Nationwide is a tremendous energy saving

2. Reliability: strong design, warmer in winter, cooler in summer (even in the event of a power failure).

3. Clean, renewable energy sources are being used to combat growing concerns about global warming.

In Europe, buildings are classified according to their energy efficiency:

**The old building** is a building built before the world fuel and energy crisis of the mid-1970s. It requires 200–300 kWh/m<sup>2</sup>· year of thermal energy for its heating.

**The new building** is a building that was built after the crisis until 2000. Requires for heating not more than 150 kWh/m<sup>2</sup>· year.

**Low energy house** — since 2002, construction of houses with heat consumption of more than 60–70 kWh/m<sup>2</sup>· year has not been allowed in Europe. Some countries consider this value as the annual specific heat consumption for heating (in apartment buildings where the heat losses of buildings for which heating devices are selected include the heat consumption for heating the ventilation air — for heating and ventilation), and part — as the total annual specific heat energy consumption for heating, ventilation and hot water supply.

**Passive house** — the specific annual heating consumption should be no more than 15 kWh/m<sup>2</sup> per year and 15 kWh/m<sup>2</sup> per year for cooling, while the specific heating load should not exceed 10 W/m<sup>2</sup>. In addition, its exterior enclosures shall be so sealed that, in a blower door test, that is, when a fan device with 50 Pa (N/m<sup>2</sup>) head is installed in place of the front door (with the plenum and exhaust openings closed), the air exchange shall not exceed 0,6 exchange per hour of volume tested.

Over the past decades, the main achievement of the developers of “passive” buildings (in addition to the inclusion of modern technologies in their construction technology) was the transition from the design of individual single-family buildings to the construction and reconstruction (which is unusually relevant for East Germany) of

multi-storey apartment buildings built in the 1950–1980-ss. This experience is extremely relevant for the Russian Federation.

Passive solar houses are created as a result of integrated design that uses local energy sources and materials, and climatization of the interior is more by architectural means than by engineering means.

There is a general empirical rule according to which a competently designed passive solar house, in comparison with a traditionally designed house of the same area, will help reduce heating costs per 75 % when the cost of construction is only 5–10 %. In many areas of the United States, passive solar homes do not require any additional energy for heating or cooling. Taking into account current and future planned heating costs, the additional cost of building a passive solar house is reimbursed very quickly. Official reviews point to 100,000 passive solar houses built in the United States (1984), but unofficial sources indicate one million buildings that use certain provisions of passive solar design (most often greenhouses attached on the south side of the house).

Due to the explosion-like development in the last decade of new construction technologies (and related to the construction of other innovations), many other opportunities have appeared to reduce energy costs for the operation of buildings for various purposes. Today, of course, they are much more expensive, but it is perhaps necessary to know about them. Some of them are listed below.

**The “active” house**, or the house with plus energy (energy plus house) — the building, which by means of the equipment installed in him: solar batteries, collectors, thermal pumps, recuperators, soil heat exchangers, etc. would develop more energy, than itself consumed, i. e. with power consumption on operation of the building  $< 0 \text{ kWh/sq. m} \cdot \text{year}$ .

Not so long ago, a new concept appeared — **a building with a near zero energy balance (near zero energy building)**.

Depending on the goals facing the designer, several types of buildings with a zero energy balance are distinguished. In the first four versions, the building is connected to an external network, using “green” energy from various renewable energy sources:

– **“Zero” at the location of the building**. In the territory where the building is located, at least as much green energy is produced as

the building consumes during the year. At times when there is not enough self-energy from renewable sources, the building consumes energy from the grid, and with an excess of its own energy exports it back to the grid. This type can be considered the gold standard of buildings with a zero energy balance. In its design, innovative technologies are used, all necessary calculations are made directly on the spot and dependence on external factors is minimized. This type of building is interesting for owners who pay great attention to the cost of energy supply.

– **“Zero” by resource building.** The energy source of the building produces at least as much source energy as the building consumes during the year (calculated for the source). Initial energy is the primary energy spent on the production and delivery of energy to the building. To calculate the total original energy of a building, the imported and exported energy is multiplied by the corresponding site-source conversion factors. This type of building is interesting for state structures that set the task of reducing the consumption of primary or fossil energy.

– **“Zero” in terms of energy consumption of the building.** The money that the energy retail company pays the owner of the building for energy exported by the building to the power grid is at least equal to the amount that the owner of the building pays the energy retail company for energy services and energy used during the year. This type of building is interesting for owners interested in reducing the energy consumption of the building in terms of the requirements of power supply organizations.

– **“Zero” by emissions building.** The building produces at least as much energy from renewable sources without atmospheric emissions as it uses from sources with atmospheric emissions. This type of building is interesting for organizations that control environmental pollution and are interested in reducing atmospheric emissions.

– **“Zero” autonomous building.** A building that produces at least 75 % of its energy from renewable sources. The term “zero” autonomous building is used for those buildings that operate outside the common network and cannot be assigned to one of the above types.

A building with a zero energy balance can belong to several types at the same time. For example, the “zero” building at the location is almost always “zero” in emissions.

In recent years, high-rise buildings with zero energy consumption have been built — especially many in China.

Why is solar energy and other renewable energy sources (RES) still not used to energy efficient buildings? The main reasons, in our opinion, are as follows:

1. Economic factors — in most cases, new technologies and solutions are more expensive than those that are already used and familiar to designers, investors and builders.

2. Lack of technical knowledge of designers, investors and builders, as well as reluctance to learn new technologies and related opportunities.

3. Reluctance and inability to use “new” technologies.

4. Architectural (aesthetic) factors are often prejudices of untrained customers and contractors.

Architects with energy efficiency calculation techniques should play a key role in designing energy-efficient buildings. And unfortunately, there are practically no such in our country. However, we are confident that in the coming decade buildings on low-energy architecture will be in demand and, finally, they will learn to design.

In principle, this book is dedicated to this.

All illustrations are from open sources.



Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)