

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЗДАНИЯ КАК СИНТЕЗ АРХИТЕКТУРНОГО И ИНЖЕНЕРНОГО ИСКУССТВА

В статье рассмотрена актуальная проблема оценки проектов зданий и сооружений в современной архитектуре с точки зрения их энергоэффективности.

Отмечено, что наилучший результат в плане энергосбережения можно достичь только при гармоничном сочетании архитектурных и инженерных решений. При этом необходимо иметь не только качественную, но и количественную оценку мастерства архитектора и инженера. Для такой оценки предложено определять коэффициент качества проекта с точки зрения энергоэффективности, как произведение коэффициента качества архитектора и коэффициента качества инженера. Названные коэффициенты определяются как отношение энергопотребления идеального проекта к энергопотреблению реального проекта. Архитектурные решения должны максимально учесть влияние окружающей среды на энергообеспечение здания. За счет ориентации здания по сторонам света, выбора формы здания и этажности необходимо максимально использовать мощности солнечной радиации, ветрового потока, квартального, сезонного и годового изменения температуры окружающей среды. За счет рационального остекления здания можно получить существенную экономию на освещении. Задача инженера заключается в том, чтобы обеспечить комфортную климатизацию внутреннего объема при минимальном потреблении внешних централизованных источников тепловой и электрической энергии. Данный коэффициент показывает приближение к идеальному конечному результату и позволяет оценить имеющиеся резервы улучшения проекта.

Методика апробирована на реальном проекте по разработке комплексного проекта эко-поселения в поселке Роцино Сосновского района Челябинской области.

Показано, что основным фактором уменьшения коэффициента эффективности реальных проектов с точки зрения энергоэффективности являются ограничения по себестоимости проектируемого здания.

При применении методики следует различать недоработки архитектора и инженера, которые можно было бы избежать и финансовые ограничения, которые накладывает на проект заказчик.

Цель статьи – показать возможности методики оценки эффективности архитектурных и инженерных решений с точки зрения энергоэффективности на реальных проектах.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, энергоэффективное здание, архитектурные решения, инженерные решения, коэффициент эффективности архитектора, коэффициент эффективности инженера.

ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS AS A SYNTHESIS OF ARCHITECTURAL AND ENGINEERING ART

The article considers the actual problem of evaluating the projects of buildings and structures in modern architecture from the point of view of their energy efficiency.

It is noted that the best result in terms of energy saving can be achieved only with a harmonious combination of architectural and engineering solutions. At the same time,

it is necessary to have not only a qualitative, but also a quantitative assessment of the skill of the architect and engineer. For such an assessment, it is proposed to determine the quality coefficient of the project from the point of view of energy efficiency, as the product of the quality coefficient of the architect and the quality coefficient of the engineer. These coefficients are defined as the ratio of the energy consumption of an ideal project to the energy consumption of a real project. Architectural solutions should take into account the influence of the environment on the energy supply of the building as much as possible. Due to the orientation of the building to the cardinal directions, the choice of the shape of the building and the number of floors, it is necessary to maximize the use of solar radiation, wind flow, quarterly, seasonal and annual changes in ambient temperature. Due to the rational glazing of the building, you can get significant savings on lighting. The engineer's task is to ensure comfortable air conditioning of the internal volume with minimal consumption of external centralized sources of heat and electricity. This coefficient shows an approximation to the ideal final result and allows you to assess the available reserves for improving the project.

The methodology was tested on a real project to develop a comprehensive eco-settlement project in the village of Roshchino, Sosnovsky district, Chelyabinsk region.

It is shown that the main factor in reducing the efficiency coefficient of real projects in terms of energy efficiency are restrictions on the cost of the projected building.

When applying the methodology, it is necessary to distinguish between the shortcomings of the architect and the engineer, which could be avoided, and the financial restrictions imposed on the project by the customer.

The purpose of the article is to show the possibilities of the methodology for evaluating the effectiveness of architectural and engineering solutions in terms of energy efficiency on real projects.

Keywords: *energy efficiency, energy saving, energy efficient building, architectural solutions, engineering solutions, ideal end result, architect efficiency coefficient, engineer efficiency coefficient.*

Роль энерго- и ресурсосбережения в современном мире весьма значительна и продолжает нарастать. Энергоэффективность и энергосбережение стоят в числе приоритетных направлений развития науки и техники Российской Федерации. Энергосбережение является базой устойчивого развития. Оно основано на разумном и эффективном потреблении энергии и ресурсов. Огромная доля в потреблении энергоресурсов принадлежит зданиям. Общий технологический потенциал энергосбережения в РФ оценивается в 350 млн. тонн условного топлива, из которых около 130 млн. тонн условного топлива можно сэкономить за счет снижения непроизводительных энергопотерь в зданиях [1]. Таким образом, актуальным направлением и одной из главных задач современного строительного производства является рациональное использование энергоресурсов и повышение энергетической эффективности зданий. Энергоэффективные здания являются реальностью нашего времени, одним из неотъемлемых факторов устойчивого развития среды обитания человека. С конца 70-х годов прошлого века из единичных пилот-

ных проектов они превратились в реальные объекты: энергоактивные, энергопассивные, нулевые, энергоэффективные здания, представляющие собой синтез архитектурно-планировочных, конструкторских, инженерных решений, направленных на снижение потребляемых зданиями энергоресурсов без потери их надёжности и комфортности.

Энергоэффективность – это рациональное использование энергетических ресурсов, использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения, достижение экономически оправданной эффективности использования энергии при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды. Определяющую роль в энергоэффективности и энергосбережении играет гармоничное сочетание архитектурных и инженерных решений [26].

При проектировании здания архитектор решает задачу наилучшим образом использовать положительное и максимально нейтрализовать отрицательное воздействие наружного климата на тепловой баланс здания

с учетом внутренних источников. В это же время инженер решает задачу организации такой системы климатизации здания, которая с наименьшими затратами энергии обеспечивает требуемые параметры микроклимата в помещениях.

Возникает естественный вопрос: насколько удачно архитектору и инженеру удалось решить свои задачи по проектированию энергоэффективного здания.

Качественная оценка весьма субъективна. Желательно иметь иметь объективную количественную характеристику достигнутого результата [26].

При проектировании здания можно выделить следующие архитектурные решения [4-11]:

- выбор местоположения здания с учетом климатических особенностей, рельефа местности и существующей застройки в районе предполагаемого строительства;
- общая архитектурно-планировочная концепция здания;
- определение формы и ориентации здания;
- выбор остекления здания (площади и расположения светопроемов) и солнцезащиты;
- выбор конструкции и материалов наружной облицовки;
- выбор объемно-планировочных решений здания (внутренней планировки);
- выбор схемы организации освещения.

Архитектор прежде всего должен учесть энергетические возможности наружного климата для теплоснабжения зданий.

Интенсивность солнечной радиации, скорость и направление ветра, температура наружного воздуха изменяются в весьма широких пределах в зависимости от:

- географического положения;
- орографии;
- микрорельефа местности;
- времени года.

Воздействие наружного климата на ограждающие конструкции здания целесообразно характеризовать метеорологическим градиентом, который учитывает направление, величину и повторяемость показателей наружного климата.

Статистическая обработка наружного климата как совокупности зависимых (или независимых) случайных величин показывает, что в каждой местности для отдельных характерных периодов времени имеет место свой метеорологический градиент, оказывающий направленное воздействие на формирование теплового баланса различно ориен-

тированных помещений, так что в результате совокупного действия ветра, солнечной радиации и температуры различно ориентированные помещения имеют существенно отличающиеся теплопотери или теплопоступления.

Основываясь на закономерностях поступления солнечной радиации и имея в виду, что в условиях современной мировой энергетической ситуации учет в тепловом балансе здания тепла солнечной радиации приводит к значительному снижению эксплуатационных затрат, ведущие архитекторы мира разработали строгие правила проектирования зданий.

Во-первых, они указывают, что в условиях современного индустриального строительства высотных зданий с большими площадями остекления и легкими ограждающими конструкциями недопустимо подражать старым мастерам.

Во-вторых, каждый архитектор обязан знать, что каждому фасаду здания присуща своя структура, зависящая от относительно расположения солнца, тщательно рассчитанной тепловой солнечной нагрузки на здание и требований к оптимальной естественной освещенности интерьера.

Анализ воздействия солнечной радиации на вертикальные поверхности зданий в зависимости от их ориентации, времени года и географической широты расположения здания выявил следующие особенности [26].

В летний период наибольшие суммы тепла прямой солнечной радиации за сутки поступают на вертикальные поверхности юго-восточной и юго-западной ориентации. В северных широтах России эта величина достигает 4300 Вт • сутки / м², а в южных широтах эта величина в два раза меньше. Особенно резко возрастает с широтой количество прямой солнечной радиации, поступающей на стены южной ориентации.

В зимний период наибольшее количество тепла от прямой солнечной радиации поступает на стены зданий южной ориентации. С уменьшением географической широты местности суточные суммы тепла солнечной радиации на стены зданий южной ориентации возрастают почти в три раза: от 1860 Вт • сутки / м² на 64° с. ш. до 5 117 Вт • сутки / м² на 38° с. ш.; последняя величина в 4,5 раза превышает соответствующее значение в летнее время года, равное 1047 Вт • сутки / м² на 38° с. ш.

В летний период на всех широтах наибольшее количество тепла от рассеянной солнечной радиации при безоблачном небе

поступает за сутки на стены восточной и западной ориентации: 1300–1400 Вт • сутки / м² соответственно на 38° и 64° с. ш.; в широтном распределении величина рассеянной солнечной радиации, приходящаяся на вертикальные поверхности, отличается значительно большим постоянством, чем прямая радиация. Например, для южной ориентации она изменяется от 1 117 Вт • сутки / м² на 38° с. ш. до 1396 Вт • сутки / м² на 64° с. ш.;

В зимний период поверхность южной ориентации получает в течение суток тепла от рассеянной солнечной радиации в два раза больше, чем горизонтальная поверхность.

Анализ закономерностей поступления тепла солнечной радиации на поверхности здания открывает большие возможности для уменьшения затрат энергии на отопление помещений в холодный период года и охлаждения помещений в теплый период года.

Наряду с солнечной радиацией и температурой наружного воздуха скорость и направление ветра относятся к числу важнейших, а часто и решающих факторов, оказывающих влияние на тепловой баланс здания.

Анализ температурно-ветровых особенностей розы показывает, что, с одной стороны, имеют место существенные колебания температуры, скорости и направления ветра в холодный и теплый периоды года, а с другой стороны, имеет место ярко выраженное преобладающее направление наиболее неблагоприятных температурно-ветровых воздействий.

Анализ температурно-ветровых особенностей России в холодный период года показал, например, что в центральных районах европейской территории России характерно преобладание повторяемости юго-западных ветров, которые оказываются более теплыми (от -4 до -9 °С), чем северо-восточные ветры, наблюдающиеся при температуре воздуха от -16 до -23 °С (Москва, Смоленск) [26].

К основным инженерным решениям в плане энергоэффективности следует отнести [12-25]:

- выбор источников теплоснабжения, в том числе возможность использования нетрадиционных источников энергии – солнечных, геотермальных, ветровых;
- выбор системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха здания;
- выбор конструкции и материалов наружных ограждений;
- выбор системы автоматического (автоматизированного) управления инженерным оборудованием здания.

Наружный климат, тепло земли, водные

ресурсы, биомасса и т. д. являются источниками энергии, поэтому следует предусмотреть возможность его использования при помощи следующих инженерных технологий:

- тепловых насосов;
- солнечных коллекторов;
- ветроэнергетических установок и т. п.

Методология проектирования инженерных систем отопления, вентиляции, кондиционирования основана на расчетах тепловых и воздушных балансов здания для характерных периодов года. Этими периодами являются наиболее холодная пятидневка, отопительный период, самый жаркий месяц, период охлаждения, расчетный год.

В этом случае оптимальный учет теплоэнергетического воздействия наружного климата в тепловом балансе здания за счет выбора его формы и ориентации даст следующие результаты:

- для наиболее холодной пятидневки – снижение установочной мощности системы отопления;
- для отопительного периода – снижение затрат энергии на отопление;
- для самого жаркого месяца – снижение установочной мощности системы охлаждения;
- для периода охлаждения – снижение затрат энергии на охлаждение;
- для расчетного года – снижение затрат энергии на отопление и охлаждение здания в годовом цикле.

В общем случае с помощью инженерных систем можно оптимальным образом учесть теплоэнергетическое воздействие наружного климата в тепловом балансе здания для любого характерного периода времени.

Очевидно, что лучшим результатом работы архитектора и инженера является оптимальное энергоэффективное здание, обеспечивающее минимум расхода энергии, при условии, что комфорт здания будет обеспечен на современном уровне.

Современные методы математического системного анализа позволяют находить оптимальные архитектурные и инженерные решения проектируемого энергоэффективного здания.

Будем характеризовать энергетическую эффективность здания с оптимальными архитектурными и инженерными решениями величиной затрат энергии на его климатизацию и обозначим эту величину W_{min} [26].

Об уровне мастерства архитектора и инженера с точки зрения энергоэффективности здания можно судить, используя соотношение

$$\eta = W_{min} / W,$$

которое показывает, насколько представлен-

ное решение здания отличается от оптимального.

Здесь W_{min} – затраты энергии на климатизацию здания с оптимальными архитектурными и инженерными решениями,

W – затраты энергии на климатизацию разработанного проектного решения здания.

Очевидно, что этот критерий позволит судить, насколько удачно выбраны исполнители – архитектор и инженер, и насколько им удалось минимизировать эксплуатационные затраты на климатизацию здания.

В соответствии с системным подходом к проектированию энергоэффективного здания величину η можно записать так:

$$\eta = \eta_A \eta_E,$$

где $\eta_A = QA_{min} / Q$,

$$\eta_E = QE_{min} / Q$$

QA_{min} – затраты энергии на климатизацию здания с оптимальными архитектурными решениями;

QE_{min} – затраты энергии на климатизацию здания с оптимальными инженерными решениями.

Теперь η_A можно трактовать как показатель мастерства архитектора,

а η_E – как показатель мастерства инженера.

Величина η изменяется в пределах от 0 до 1.

Чем ближе величина η к 1, тем ближе выбранные архитектурные и инженерные решения к оптимальным решениям и тем выше мастерство архитектора и инженера.

Данная методика была применена для оценки эффективности архитектурных и инженерных решений с точки зрения энергоэффективности конкретного проекта «Разработка комплексного проекта эко-поселения в поселке Рошино Сосновского района Челябинской области с единым архитектурным обликом застройки в рамках международных стандартов экологической архитектуры с учетом ресурсо- и энергосберегающих материалов, технологий и автоматизированных систем «Умный дом».

Фрагменты этого проекта представлены на рисунке [27].

Основными задачами проекта являлись:

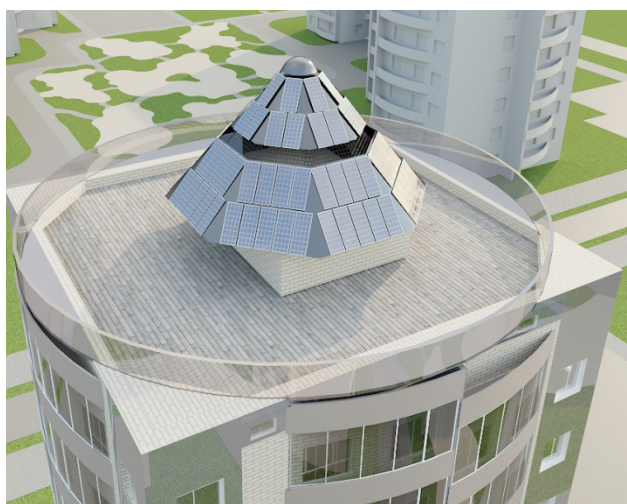


Рис. Трехмерная модель жилого здания

– решение вопросов экологической архитектуры с учетом экологических стандартов для обеспечения комфортной среды проживания;

– разработка экологических ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов;

– повышение энергоэффективности альтернативных источников энергии для снижения эксплуатационных расходов;

– разработка цифровых моделей «Умный дом» с применением суперкомпьютера и виртуальной реальности;

– разработка системы доочистки бытовых

стоков с целью снижения нагрузки на окружающую среду.

Разработка проекта начиналась с анализа микроклимата зоны экопоселения. Условия комфортного проживания заставили сделать эту оценку на первом этапе. Все остальные технические решения должны учитывать результаты этой оценки. Можно спроектировать комфортный дом, удобную квартиру, но не решить проблему комфортной среды проживания без учета внешне климатических условий

На основе многовариантного проектирования авторами выбраны оптимальные

объемно-планировочные решения шестиэтажных жилых зданий, органично увязанных с ландшафтом выбранной площадки для будущего строительства. В плане они имеют форму близкую к квадрату, что позволило использовать за основу круг. Функционально-инженерным центром является центральная часть плана, где расположен лифт, окруженный парадной лестницей с площадками, с которых предусмотрены шесть входов в квартиры.

Вопрос ресурсобеспечения экоселка является одним из основных. Из-за экологических требований его нельзя решать традиционным способом. Имеется в виду постройка котельных на угле и газе, проведение линий электропередач к удаленной территории. Современные технологии позволяют решить эти вопросы на основе использования альтернативных источников энергии. Следует отметить, что это возможно только при условии решения всех вопросов по энергосбережению и энергоэффективности зданий эко-поселения.

Проектом предусматривалось использование альтернативных источников энергии. Экономия энергоресурсов планировалось получить за счет комплексного использования ветряной энергии, солнечных панелей и тепловых насосов.

Ветрогенератор, в случае использования в качестве элемента системы автономного энергоснабжения, должен иметь дублирующий элемент, который подстрахует систему. Чаще всего это дизель-генератор, который должен запускаться в автоматическом режиме при падении напряжения в сети из-за отсутствия ветра. Для стабильной работы системы был обеспечен точный учет мощности и структуры потребителей (активной и реактивной составляющих переменного тока). Кроме этого, были решены вопросы применения; избытка электроэнергии, которая может возникать при неравномерной нагрузке в течение дня. Это аккумулятор тепла (часть системы отопления и ГВС), а также аккумуляторная станция достаточной емкости [4-5].

Анализ энергопотребления экодома, заявленного в проекте, показал, что при условии соблюдения режима энергоэффективности и энергосбережения, полная электрическая мощность для обеспечения здания должна быть 100 кВт. По генеральному плану в экоселке планируется размещение 20 домов. Таким образом, полное энергопотребление поселка планировалось порядка 2 МВт.

По приведенной выше методике коэффициент эффективности комплексного архи-

тектурного и инженерного решений составил 58 %. Более высокий коэффициент не удалось получить за счет ограничений в ориентации зданий по сторонам света, этажности, применения тепло эффективных материалов, инженерного оборудования.

После оценки себестоимости спроектированного здания и представления информации заказчику, на проект были наложены дополнительные ограничения, которые должны были обеспечить резкое снижение цены, поскольку проект носил коммерческий характер и квартиры в домах должны были продаваться с учетом платежеспособности покупателей. Было принято решение, что основная часть электроснабжение дома должна обеспечиваться за счет городской сети. Ветрогенератор и солнечные панели с накопителем обеспечивали снабжение только подъезда, что снизило их мощность и стоимость. Были применены более дешевые и менее теплоизолирующие материалы для несущих стен и фундамента. Из проекта были исключены тепловые насосы. Измененный проект устроил заказчика по себестоимости, но при этом коэффициент эффективности архитектурных и инженерных решений снизился до 23 %.

Таким образом предложенная методика позволяет, с одной стороны, оценить архитектурные и инженерные решения с точки зрения приближения их к, так называемому, идеальному конечному результату [2-3], с другой стороны, получить информацию об имеющихся резервах в плане энергосбережения.

Заключение

Разработка энергоэффективных проектов зданий и сооружений является актуальной задачей в условиях нарастающего энергетического кризиса. На конечный результат влияет много факторов, но определяющими являются архитектурные и инженерные решения. Очень важно иметь не только качественную, но и количественную оценку принятых концепций. Предлагаемая методика через определение коэффициентов эффективности архитектора и инженера позволяет сделать это. Существующие ограничения не позволяют полностью использовать все технологии, доступные на данный момент, но предложенная методика показывает насколько проект приближается к идеальному конечному результату с точки зрения энергоэффективности. Наиболее существенным ограничением являются требование к конечной себестоимости здания, но при этом данная методика позволяет оценить резервы проекта в усло-

виях, когда это ограничение ослабнет или будет снято. Энергоэффективные здания как синтез архитектурного и инженерного искус-

ства являются основой создания высокохудожественных произведений зодчества.

Литература

1. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто, 2016. – 276 с.
2. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. 2 изд., дополн. — Петрозаводск: Скандинавия, 2004. – С.208.
3. Альтшуллер Г.С., Селюцкий А.Б., Крылья для Икара: Как решать изобретательские задачи, Петрозаводск, «Карелия», 1980 г. – С. 198-199.
4. Gandzha, S., Belonozhko, A. Development of Electrical Energy Storage Device Using Direct-Acting Fuel Cells Based on Methanol. Proceedings - 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon 2018, pp. 248-252
5. Sergey Gandzha. Dilshod Aminov, Bakhtiyor Kosimov, Rustam Nimatov, Azamdzhon Davlatov and Azamjon Mahmudov. Development of a concept of an energy-efficient house for an environmentally friendly settlement in the South Ural. International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE – 2019). Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 18 December 2019 St. Petersburg, Russia. DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914011009>
6. Богуславский Л. Д. Экономическая эффективность оптимизации уровня теплозащиты зданий. – М.: Стройиздат, 1981
7. Бродач М. М. Изопериметрическая оптимизация солнечной энергоактивности зданий. – Гелиотехника 2, Ташкент, 1990
8. Бродач М. М. Энергетический паспорт зданий – АВОК, 1993, № 1/2
9. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий. // АВОК. – 2004. – № 2. – С. 52. / № 3. – С. 52.
10. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Многоэтажное энергоэффективное жилое здание в Нью-Йорке. // АВОК. – 2003. – № 4. – С. 38.
11. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Оптимизация тепловой эффективности зданий // Сборник докладов восьмой научно-практической конференции (академические чтения) «Стены и фасады. Актуальные проблемы теплофизики». – М.: НИИСФ, 2003. – С. 191-196.
12. Васильев Г. П. Энергоэффективный жилой дом в Москве. // АВОК. – 1999. – № 4. – С. 4.
13. Васильев Г. П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2. // АВОК. – 2002. – № 4. – С. 10-18.
14. Васильев Г. П., Крундышев Н. С. Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области // АВОК, №5, 2002
15. Гранев В. В., Табунщиков Ю. А., Наумов А. Л. Рейтинговая система оценки качества зданий // АВОК, 2010, №6
16. Малахов М. А. Проект естественно-механической вентиляции жилого дома в Москве. // АВОК. – 2003. – № 3. – С. 28.
17. Малахов М. А. Системы естественно-механической вентиляции в жилых зданиях с теплым чердаком. // АВОК. – 2006. – № 7. – С. 8.
18. Молодкин С.А. Принципы формирования архитектуры энергоэффективных высотных зданий. Дис. канд.арх. Москва, 2007.-142 с.
19. Молчанов, В.М. Теоретические основы проектирования жилых зданий: Учеб пособие.- 2-е изд., перераб. и доп./В.М.Молчанов.- Ростов н/Д: «Феникс», 2003.- 240 с. (Серия «Учебные пособия»)
20. Новиков, В.А. Архитектурная организация сельской среды: Учеб. Пособие/В. А. Новиков.-М.:Архитектура-С.-2006. – 376 с.
21. Нурмиев, Г.Н. Москва-энергоэффективный город/Г.Н.Нурмиев//Жилищное строительство.-2002.-№4. – С.26-28.
22. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце.- М.: Стройиздат , 1988. 207с.
23. Огородников, И.А. Экодом –жилище XXI века//Архитектура и строительство России.- 1996.- № 910. – С. 14-15.

24. Огородников, И.А. Экодом в Сибири. Обзор литературы, оригинальные разработки, рекомендации специалистов/ И.А. Огородников, О.Н. Макарова, Е.С. Дубынина. Исар-Сибирь, Новосибирск, 2000.- 89 с.
25. Онищенко, С.В. Автономная система энергоснабжения жилого дома// Жилищное строительство.-2008.-№9. – С.10-12.
26. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. –М.:АВОК-Прес.203.-200 с.
27. Шабиев С.Г., Данильчук М.Г. Архитектурно - художественный образ многоквартирного экологического дома Международный электронный научный журнал «Архитектура, градостроительство и дизайн». - №19, 2019. – С.17-24.

References

1. Aloyan R.M., Fedosov S.V., Oparina L.A. Energy-efficient buildings - state, problems and solutions – Ivanovo: PresSto, 2016. – 276 с.
2. Altshuller G. S. Creativity as an exact science. 2nd ed., supplement. – Petrozavodsk: Scandinavia, 2004. – С.208.
3. Altshuller G.S., Slutsky A.B., Wings for Icarus: How to solve inventive problems, Petrozavodsk, Karelia, 1980 г. – С. 198-199.
4. Gandzha, S., Belonozhko, A. Development of Electrical Energy Storage Device Using Direct-Acting Fuel Cells Based on Methanol. Proceedings - 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon 2018, pp. 248-252
5. Sergey Gandzha. Dilshod Aminov, Bakhtiyor Kosimov, Rustam Nimatov, Azamdzhon Davlatov and Azamjon Mahmudov. Development of a concept of an energy-efficient house for an environmentally friendly settlement in the South Ural. International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE – 2019). Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 18 December 2019 St. Petersburg, Russia. DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914011009>
6. Boguslavsky L. D. Economic efficiency of optimizing the level of thermal protection of buildings. – М.: stroizdat, 1981
7. Brodach M. M. Isoperimetric optimization of solar energy activity of buildings. The Solar Engineering 2, Tashkent, 1990
8. M. M. brodach Energy performance certificates of buildings, АВОК, 1993, No. 1/2
9. Brodach M. M., Shilkin N. V. Use of fuel cells for power supply of buildings. // Avoc. - 2004. – No. 2. – P. 52. / No. 3. – P. 52.
10. Brodach M. M., Shilkin N. V. Multi-storey energy-efficient residential building in new York. // Avoc. – 2003. – No. 4. – p. 38.
11. Brodach M. M., Shilkin N. V. Optimization of thermal efficiency of buildings // collection of reports of the eighth scientific and practical conference (academic readings) “Walls and facades. Actual problems of Thermophysics”, Moscow: NIISF, 2003, pp. 191-196.
12. Vasiliev G. P. energy-Efficient residential building in Moscow. // Avoc. – 1999. – No. 4. – P. 4.
13. Vasiliev G. P. energy-efficient experimental residential building in the Nikulino-2 microdistrict. // AVOK. - 2002. – no. 4. – P. 10-18.
14. Vasiliev G. P., Krundyshev N. S. energy-efficient rural school in the Yaroslavl region // AVOK, No. 5, 2002
15. Granev V. V., tabunshchikov Yu. a., Naumov A. L. Rating system for assessing the quality of buildings // AVOK, 2010, no. 6
16. Malakhov M. A. project of natural-mechanical ventilation of a residential building in Moscow. // Avoc. – 2003. – No. 3. – p. 28.
17. Malakhov M. A. systems of natural-mechanical ventilation in residential buildings with a warm attic. // AVOK. – 2006. – No. 7. – P. 8.
18. Molodkin S. A. Principles of forming the architecture of energy-efficient high-rise buildings. Moscow, 2007. - 142s.II.
19. Molchanov, V. M. theoretical bases of design of residential buildings: Textbook.- 2nd ed., reprint. and add./V. M. Molchanov.- Rostov n/A: “Phoenix”, 2003.- 240 S.: ill.- (Series “Training manuals»)

20. Novikov, V. A. Architectural organization of the rural environment: Textbook. Manual/V. A. Novikov.-М.:Architecture-P.-2006.-376 s.II.
21. Nurmiev, G. N. Moscow-energy-efficient city/G. N. Nurmiev//Housing construction.-2002.-№4.-P. 26-28.
22. Obolensky N. V. Architecture and the sun. - М.: stroizdat , 1988. 207 s.
23. Ogorodnikov, I. A. Ecodom — housing of the XXI century//Architecture and construction in Russia.- 1996. - No. 910. -P. 14-15.
24. Ogorodnikov, I. A. Ecodom in Siberia. Literature review, original developments, recommendations of specialists/ I. A. Ogorodnikov, O. N. Makarova, E. S. Dubynina. ISAR-Siberia, Novosibirsk, 2000.- 89 с.
25. Onishchenko, S. V. Autonomous power supply system of a residential building// Housing construction.-2008.-№. 9.-P. 10-12.
26. Y.A. Tabunshchikov, M. M. Brodach, N. V. Shilkin Energy-efficient buildings. –М.:AVOK-Pres.203.-200 S.

Ганджа С.А.,

профессор кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: gandzhasa@susu.ru

Gandzha S. A.,

Professor of the Department “Electric Drive, South Ural State University, с. Chelyabinsk, Russia. E-mail: gandzhasa@susu.ru

Шабиев С.Г.,

Доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой «Архитектура», Южно- Уральский государственный университет. E-mail: shabievsg@susu.ru

Shabiev S.G.,

Doctor of Architecture, Professor, Head of the Department of Architecture, South Ural State University, с. Chelyabinsk, Russia. E-mail: shabievsg@susu.ru

Поступила в редакцию 23.09.2022