

## РАЗРАБОТКА КУРСА ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМ И ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ В АРХИТЕКТУРЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

*В статье рассмотрена актуальная проблем разработки проектов энергоэффективных зданий.*

*Проведен анализ мирового опыта по данной проблеме. Показаны исторические аспекты развития этого направления. Показан, что началу развития этой тенденции положил энергетический кризис середины семидесятых годов прошлого столетия, который заставил экономить на всех ресурсах, включая энергетические. Проекты новых зданий были рентабельны только в том случае, когда затраты на их содержание были сведены к минимуму. Приведены примеры наиболее значимых проектов в США, Германии, Великобритании, Китае и России.*

*Показано, что разработка проекта энергоэффективного здания является комплексной и технически сложной задачей. Эта задача должна найти оптимальное решение среди множества противоречивых требований. Она должна учитывать условия внешней среды, сезонные и годовые изменения климата, ориентацию здания по сторонам света, оптимальную форму и объем, источники снабжения, включая воду, электричество и тепло.*

*В проекте должна быть предусмотрена многоуровневая система компьютерного управления для оптимального функционирования всех систем.*

*Для оптимизации всех процессов необходимо математическое моделирование с последующей процедурой оптимизации и поиска наилучших технических решений.*

*Показано, что все эти задачи можно решить только с применением современных проектных CAD систем, которые должны быть объединены в единую проектную систему, нацеленную на решение создания проекта энергоэффективного здания.*

*Для решения поставленных задач необходимо создание системы подготовки специалистов очень высокого уровня, которые несут ответственность за принятие стратегических решений. Базовая подготовка у них должна быть инженерная и архитектурная, но они должны иметь достаточно сильную математическую, энергетическую, компьютерную, юридическую и экономическую подготовку. Эту задачу решить можно на базе современных компьютерных проектных систем, которыми должен овладеть современный специалист.*

*Дается описание курса для магистров «Энергоэффективные и интеллектуальные технологии в архитектуре гражданских зданий», приводятся его основные разделы. Курс содержит теорию и практику по разработке проектов энергоэффективных зданий. Он заканчивается защитой индивидуального задания по разработке энергоэффективного здания и экзаменом по теоретическим вопросам.*

*Цель статьи – обозначить мировую тенденцию развития современной архитектуры и показать пути ее решения в плане подготовки специалистов требуемого профиля.*

**Ключевые слова:** энергоэффективное здание, энергосбережение, умный дом, проектная система, теплоснабжение, водоснабжение, освещение, оптимальное проектирование.

## DEVELOPMENT OF A COURSE ON ENERGY EFFICIENCY AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN THE ARCHITECTURE OF INDUSTRIAL AND CIVIL BUILDINGS FOR STUDENTS

*The article deals with the actual problems of developing energy-efficient building projects.*

*The analysis of world experience on this issue is carried out. The historical aspects of the development of this direction are shown. It is shown that the beginning of this trend was marked by the energy crisis of the mid-seventies of the last century, which forced to save on all resources, including energy. New building projects were only profitable if the cost of maintaining them was kept to a minimum. Examples of the most significant projects in the USA, Germany, Great Britain, China and Russia are given.*

*It is shown that the development of an energy-efficient building project is a complex and technically complex task. This task must find the optimal solution among many conflicting requirements. It must take into account environmental conditions, seasonal and annual climate changes, the orientation of the building to the cardinal directions, the optimal shape and volume, and sources of supply, including water, electricity, and heat.*

*The project should provide for a multi-level computer control system for optimal functioning of all systems.*

*To optimize all processes, mathematical modeling is necessary, followed by optimization and search for the best technical solutions.*

*It is shown that all these tasks can be solved only with the use of modern CAD design systems, which should be combined into a single design system aimed at creating an energy-efficient building project.*

*To solve these tasks, it is necessary to create a system for training very high-level specialists who are responsible for making strategic decisions. Their basic training should be an architectural engineer, but they should have a fairly strong mathematical, energy, computer, legal and economic background. This task can be solved on the basis of modern computer design systems, which must be mastered by a modern specialist.*

*The master's course "Energy-Efficient and intelligent technologies in civil building architecture" is described and its main sections are given. The course contains theory and practice on the development of energy-efficient building projects. It ends with the defense of an individual task on the development of an energy-efficient building and an exam on theoretical questions.*

*The purpose of the article is to identify the global trend in the development of modern architecture and show ways to solve it in terms of training specialists of the required profile.*

**Keywords:** *energy efficient building, energy saving, smart house, design system, heat supply, water supply, lighting, optimal design.*

Направление по разработке энергоэффективных зданий появилось в мировой экспериментальной архитектуре достаточно давно. Начало ему было положено в середине семидесятых годов прошлого столетия. Причиной этой тенденции стал мировой энергетический кризис, когда стоимость на все виды энергоносителей и других ресурсов резко увеличилась и продолжала нарастать.

Если до этого периода затраты на содержание здания были незначительны и составляли незначительные доли от капитальных вложений в постройку самого здания, то начиная с этого периода эксплуатационные расходы стали весьма значительными и соизмеримыми со стоимостью самого здания. Это не могло не сказаться на рынке строительного производства. Энергопотребление здания стало

доминирующим при проектировании вновь создаваемых объектов. Стали появляться проекты и конкретные промышленные и гражданские сооружения вначале с элементами энергосбережения и энергоэффективности, а впоследствии полностью подчиненные этим требованиям.

Исторически первым энергоэффективным зданием считается высотное здание, построенное в 1972 году архитекторами Николасом Исааком и Эндрю Исааком в Манчестере, Штат Нью-Хемпшир США (рис.1). В здание были заложены идеи рекуперации тепла и идея регулирования освещения в зависимости от интенсивности естественного света [1]. Это позволило сэкономить энергозатраты на содержание здания на 65 %.



Рис.1. Первое энергоэффективное высотное здание (1972 год, США)

В 1979 году в г. Отаниеми близ Хельсинки под руководством финского архитектора Хеймо Каутонена было спроектировано и построено энергоэффективное здание EKONO-house (рис.2). В здание была заложена идея использования вентилируемых окон, как солнечных коллекторов. В основании здания была заложена система аккумуляции тепла, что существенно снизило затраты на отопительную систему. В здании обеспечено эффективное распределение внутреннего объема, минимизированы площади ограждающих конструкций и снижены потери тепла через них. Здание потребляло энергии в два раза меньше по сравнению с аналогичными сооружениями [2].

В 1997 году в Германии было построено самое высотное на тот момент энергоэффективное здание (рис. 3). Высота его с антенной составила 300 м. Архитектор здания британец Норман Фостер заложил в него следующие технические инновации. С помощью двуслойных светопрозрачных ограждений офисов обеспечивается уменьшение затрат энергии на климатизацию всего строения. С



Рис.2. EKONO-house (1979 год, Финляндия)

их же помощью решается вопрос организации естественной вентиляции, которая фактически осуществляется под действием давления ветра и сил гравитации. Архитекторы верно ориентировали здание по отношению к основному направлению ветра, что сделало вентиляцию по-настоящему естественной.

Авторы проекта добились максимальной гармонизации функций строения – с одной стороны они удовлетворяют потребность пребывающих в нем людей, а с другой – обеспечивают высокую эффективность использования энергии. «Секрет» кроется в интеллектуализации управления инженерным оборудованием. «Мозг» здания обеспечивает оптимальный режим работы систем охлаждения отопления и вентиляции, а также поддерживает необходимые параметры микроклимата в зоне работы людей. В здание были заложены идеи умного дома.



Рис.3. Общий вид здания Commerzbank (1997 год, Германия)



Самым энергоэффективным сверхвысотным зданием специалисты называют 309-метровую башню Pearl River Tower, построенную в Гуанчжоу 2010 году. Архитекторами здания являются американские специалисты из Skidmore, Owings & Merrill (рис.4) Для выработки электроэнергии в здании используются солнечные батареи нового поколения, а для ее сохранения предусмотрены особые коллекторы. В конструкцию технических этажей встроены ветрогенераторы, которые служат дополнительным источником энергии.



Рис.4. Общий вид здания Pearl River Tower – лидер по энергоэффективности (2010 год, Китай)

Необычная конструкция стен позволяет максимально эффективно использовать энергию воздушных масс. Ветрогенераторы представляют собой четыре ветроэнергетические турбины, каждое из колес которых имеет 6-метровый диаметр. Инженеры сумели использовать эффект сквозняка в отверстиях между противоположными сторонами фасада. Получают энергию для здания и фотоэлектрические солнечные панели, смонтированные на западном и восточном фасадах. На окнах установлены жалюзи, положение ламелей которых автоматически меняется с перемещением Солнца по небосклону. Прогрев здания солнечными лучами уменьшают особые конструкционные материалы [4].

Тенденция разработки проектов энергоэффективных зданий затронула и Россию. В настоящее время имеется достаточно большое количество домов, реализующих эту идею. Один из таких примеров - многоэтаж-

ный жилой дом в Никулино-2, Москва, Россия, 2002 (рис.5).



Рис.5. Общий вид многоэтажного жилого дома в Никулино-2, Москва, Россия, 2002 год

Энергоэффективность основывается на применении технологий, использующие нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Здание является единой энергетической системой, все элементы которой взаимосвязаны и не могут быть представлены простым суммированием ряда энергосберегающих решений. Энергоэффективные мероприятия включают в себя теплонасосную установку для горячего водоснабжения, которая использует тепло грунта, авторегулируемые воздухозаборные устройства в оконных переплетах, двухтрубную горизонтальную поквартирную систему отопления с индивидуальным регулированием, наружные ограждающие конструкции с повышенной теплоизоляцией.

Таким образом, можно сделать вывод, что мировая и отечественная архитектура постепенно шаг за шагом устойчиво идет по пути создания энергоэффективных сооружений, и в перспективе можно увидеть энергоэффективные районы и энергоэффективные поселения. Следовательно, уже сейчас необходимо вкладывать научные усилия в развитие этого направления и подготовку специалистов по этому профилю.

#### *Особенности проектирования энергоэффективных зданий*

Мировой и отечественный опыт позволяет сделать следующий вывод: невозможно сделать проект энергоэффективного здания без учета всех противоречивых требований, которые к нему предъявляет современная архитектура. Это означает, что старые проекты практически нельзя адаптировать под требования энергоэффективности и энергосбере-

жения [5-10]. Начинать проект необходимо с изучения внешних климатических условий, которые будут окружать оболочку будущего здания и одновременно являться источниками и энергопоступления и внутренней климатизации здания. Сюда входит и годовой кадастр ветровых потоков, изучение интенсивности солнечной радиации, сезонные колебания температуры окружающей среды. В соответствии с этими требованиями необходимо определить оптимальную ориентацию здания по сторонам света, его объем и этажность, форму и внутренний дизайн. Последующие шаги создания проекта должны обеспечить снабжение здания электрической, тепловой энергией, водоснабжением и водоотведением, оптимальным энергоэффективным освещением. Все эти коммуникационные службы не должны нарушить комфортную среду и эстетику внутренних помещений. Для оптимального с точки зрения энергоэффективности функционирования всех обслуживающих систем необходима компьютеризация всего здания и превращения его в умный дом. Компьютерная система должна содержать несколько уровней управления от умного самого объекта управления до умной подсистемы и самой системы верхнего уровня, которая соответствовала бы Индустрии 4.0. Она должна включать в себя не только контроль и защиту от аварийных ситуаций, но также диагностику и предупреждение нештатных ситуаций.

Комплексный проект такой сложности невозможно создать без использования современных CAD систем по проектированию архитектуры, мониторингу окружающей среды, систем энергоснабжения, теплоснабжения, водоснабжения, освещения [11-21]. Следует отметить что современные инженерные технологии создали такие программные средства для отдельных областей исследования, но для создания реального проекта энергоэффективного здания отдельные проектные CAD системы должны быть объединены в единый комплекс, нацеленный на энергоэффективную архитектуру.

Нельзя не упомянуть и о математическом обеспечении процесса создания энергоэффективного проекта зданий. Как было отмечено, при разработке проекта следует учесть множество противоречивых требований и при этом постараться достичь достаточно большое количество показателей качества. Это классическая задача оптимизации с применением инструментов нелинейного программирования. Решение ее начинается с построения математической модели, определе-

ния ограничений в виде норм и стандартов, выбора управляемых параметров, и наконец, применения одного из известных методов перебора независимых переменных. Это достаточно сложная математическая задача, но без ее решения создать проект энергоэффективного здания невозможно.

Следует отметить, что на главном архитекторе проекта энергоэффективного здания лежит очень большая ответственность. Начальные ошибки, заложенные в проект, например, неправильная ориентация здания, остаются незамеченными и проходят путь до реализации проекта, когда исправить их практически не возможно. При этом происходит безвозвратная очень большая трата временных и финансовых ресурсов [21-27].

*Описание курса по подготовке архитекторов специалистов в области проектов энергоэффективных зданий*

Все изложенное говорит о высокой ответственности по подготовке специалистов, на которых возложено решение стой сложной комплексной проблемы. Это должны быть «универсальные солдаты», которые должны иметь высокую инженерную подготовку по профилю строительства, математическую, компьютерную, энергетическую, эстетическую, экономическую и юридическую подготовки. Но прежде всего эти специалисты должны иметь высокую квалификацию в области архитектуры, поскольку именно они отвечают за стратегию развития проекта. При всей сложности решения этой задачи она достижима при современных образовательных технологиях. Особенно хорошим фундаментом для этого является развитие современных CAD систем, в которые заложены решения поставленных задач, включая задачи оптимального выбора.

Следуя мировым и российским тенденциям по подготовке специалистов разработчиков энергоэффективных зданий в Южно-Уральском университете на Архитектурном факультете при активном участии Энергетического факультета был разработан и внедрен в учебный процесс курс «Энергоэффективные и интеллектуальные технологии в архитектуре гражданских зданий» для магистров факультета. Цель курса – дать научные основы по проектированию энергоэффективных зданий для архитекторов. Следует отметить, что это первые шаги на пути подготовки специалистов этого профиля. Это направление следует расширять и углублять.

Курс рассчитан на один семестр, включает в себя лекции и практические занятия. Он содержит следующие основные разделы:

1. Мировой и отечественный опыт проектирования строительства энергоэффективных зданий
  2. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий
  3. Энергоэффективное здание как симбиоз мастерства архитектора и инженера
  4. Энергетические возможности наружного климата для теплоснабжения зданий
  5. Оптимальный учет воздействия наружного климата в тепловом балансе энергоэффективного здания
  6. Выбор формы, размеров и ориентации здания
  7. Наружные ограждающие конструкции здания
  8. Система климатизации здания
  9. Энергетические возможности наружного климата для теплоснабжения зданий
  10. Система автоматизированного управления инженерным оборудованием здания
  11. Техническая основа Умного здания
  12. Технические системы автоматизации здания
  13. Электрообеспечение, теплообеспечение, водообеспечение и водоотведение, освещение энергоэффективного здания.
  14. CAD системы для создания проекта энергоэффективного здания
  15. Вопросы ландшафтной архитектуры и дизайна интерьера энергоэффективного здания и экологически чистого поселения
  16. Юридические аспекты при разработке проектов энергоэффективных зданий.
- В заключительной части курса студент реализует индивидуальный проект энерго-

эффективного здания. Проект реализуется на уровне концепции с описанием основных технических решений, обеспечивающих энергоэффективность здания. В качестве контрольных испытаний курса предусмотрена защита индивидуального проекта и экзамен по теоретическому курсу.

Тенденция развития мировой и отечественной архитектуры показывает, что она неуклонно и устойчиво идет по пути создания энергоэффективных зданий и сооружений. Уже накоплен значительный опыт в этом направлении. Разработка таких проектов требует решения сложных комплексных задач, которые находятся в противоречии друг с другом. Но на современном этапе решение этих задач вполне реально. Такую возможность дает развитие компьютерной индустрии, математического аппарата, современных проектных CAD систем. Но специалистов, способных решить эти задачи надо готовить. На них в будущем лежит высокая ответственность по принятию стратегических решений. Грубые ошибки при принятии этих решений имеют тяжелые последствия, несут большие материальные затраты и, практически не исправимы. Описанный курс частично решает задачи по такой подготовке. Он нацелен на то, чтобы дать научные основы по разработке энергоэффективных зданий. Завершается он индивидуальным заданием, где обучающийся закрепляет теорию на практике при разработке собственного проекта. Это первый шаг в подготовке архитекторов этого профиля. Данное учебное направление следует расширять и углублять. Это требование современной действительности

## Литература

1. <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnye-zdaniya>
2. <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnye-zdaniya>
3. <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnye-zdaniya>
4. <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnye-zdaniya>
5. Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-Прес. 203. – 200с.
6. 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
7. 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>
8. Богуславский Л. Д. Экономическая эффективность оптимизации уровня теплозащиты зданий. – М.: Стройиздат. – 1981
9. Бродач М. М. Изопериметрическая оптимизация солнечной энергоактивности зданий. – Гелиотехника 2, Ташкент. 1990



10. Бродач М. М. Энергетический паспорт зданий – АВОК, 1993, № 1/2
11. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Использование топливных элементов для энергообеспечения зданий. // АВОК. – 2004. – № 2. – С. 52. / № 3. – С. 52.
12. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Многоэтажное энергоэффективное жилое здание в Нью-Йорке. // АВОК. – 2003. – № 4. – С. 38.
13. 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.
14. Васильев Г. П. Энергоэффективный жилой дом в Москве. // АВОК. – 1999. – № 4. – С. 4.
15. Васильев Г. П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2. // АВОК. – 2002. – № 4. – С. 10-18.
16. Васильев Г. П., Крундышев Н. С. Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области // АВОК, №5. – 2002
17. Гранев В. В., Табунщиков Ю. А., Наумов А. Л. Рейтинговая система оценки качества зданий // АВОК, 2010. – №6
18. Малахов М. А. Проект естественно-механической вентиляции жилого дома в Москве. // АВОК. – 2003. – № 3. – С. 28.
19. Малахов М. А. Системы естественно-механической вентиляции в жилых зданиях с теплым чердаком. // АВОК. – 2006. – № 7. – С. 8.
20. Молодкин С.А. Принципы формирования архитектуры энергоэффективных высотных зданий. Дис. канд.арх. Москва, 2007. – 142 с.ил.
21. Молчанов, В.М. Теоретические основы проектирования жилых зданий: Учеб пособие.- 2-е изд., перераб. и доп./В.М.Молчанов.- Ростов н/Д: «Феникс», 2003. – 240с.: ил.- (Серия «Учебные пособия»)
22. Новиков, В.А. Архитектурная организация сельской среды: Учеб. Пособие/В. А. Новиков.-М.:Архитектура-С. – 2006. 376с.ил.
23. Нурмиев, Г.Н. Москва-энергоэффективный город/Г.Н.Нурмиев//Жилищное строительство. – 2002 – № 4. С.26-28.
24. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце.- М.: Стройиздат , 1988. 207с.
25. Огородников, И.А. Экодом-жилище XXI века//Архитектура и строительство России. – 1996. № 910. – С. 14-15.
26. 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. – 89с.
27. Онищенко, С.В. Автономная система энергоснабжения жилого дома// Жилищное строительство. – 2008. № 9 – С.10-12.

## References

1. <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnye-zdaniya>
2. <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnye-zdaniya>
3. <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnye-zdaniya>
4. <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnye-zdaniya>
5. Yu.A. Tabunshchikov, M.M. Brodach, N.V. Shilkin Energy efficient buildings [Energy-efficient buildings] / Yu.A. Tabunshchikov, M.M. Brodach, N.V. Shilkin. –М.:АВОК-Прес.203. – 200 p.
6. 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
7. 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>
8. Boguslavsky L. D. Economic efficiency of optimizing the level of thermal protection

- of buildings [Ekonomicheskaya effektivnost' optimizacii urovnya teplozashchity zdaniy]. – M.: Stroizdat. – 1981
9. Brodach M. M. Isoperimetric optimization of solar energy activity of buildings [Izoperimetricheskaya optimizaciya solnechnoj energoaktivnosti zdaniy]. The Solar Engineering 2, Tashkent. – 1990
10. M. M. brodach Energy performance certificates of buildings [Energeticheskij pasport zdaniy]. – ABOK, 1993. – No. 1/2
11. Brodach M. M., Shilkin N. V. Use of fuel cells for power supply of buildings [Ispol'zovanie toplivnyh elementov dlya energosnabzheniya zdaniy] // Avoc. - 2004. – No. 2. – P. 52. / No. 3. – P. 52.
12. Brodach M. M., Shilkin N. V. Multi-storey energy-efficient residential building in New York [Mnogoetazhnoe energoeffektivnoe zhiloe zdanie v N'yu-Jorke] // Avoc. – 2003. – No. 4. – P. 38.
13. 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” [Optimizaciya teplovoj effektivnosti zdaniy // Sbornik dokladov vos'moj nauchno–prakticheskoy konferencii (akademicheskie chteniya) «Steny i fasady. Aktual'nye problemy teplofiziki»]. – Moscow: NIISF, 2003. – PP. 191-196.
14. Vasiliev G. P. Energy-efficient residential building in Moscow [Energoeffektivnyj zhiloy dom v Moskve] // Avoc. – 1999. – No. 4. – P. 4.
15. Vasiliev G. P. Energy-efficient experimental residential building in the Nikulino-2 microdistrict [Energoeffektivnyj eksperimental'nyj zhiloy dom v mikrorajone Nikulino-2] // AVOK. - 2002. – no. 4. – P. 10-18.
16. Vasiliev G. P., Krundyshev N. S. Energy-efficient rural school in the Yaroslavl region [Energoeffektivnaya sel'skaya shkola v Yaroslavskoj oblasti] // AVOK. – No. 5. – 2002
17. Granev V. V., Tabunshchikov Yu. a., Naumov A. L. Rating system for assessing the quality of buildings [Rejtingovaya sistema ocenki kachestva zdaniy] // . – 2010. – no. 6
18. Malakhov M. A. Project of natural-mechanical ventilation of a residential building in Moscow [Proekt estestvenno-mekhanicheskoy ventilyacii zhilogo doma v Moskve]. // AVOK. – 2003. – No. 3. – P. 28.
19. Malakhov M. A. Systems of natural-mechanical ventilation in residential buildings with a warm attic [Sistemy estestvenno-mekhanicheskoy ventilyacii v zhilyh zdaniyah s teplym cherdakom] // AVOK. – 2006. – No. 7. – P. 8.
20. Molodkin S. A. Principles of forming the architecture of energy-efficient high-rise buildings [Principy formirovaniya arhitektury energoeffektivnyh vysotnyh zdaniy]. – Moscow, 2007. – 142 p. II.
21. Molchanov, V. M. Theoretical bases of design of residential buildings: Textbook [Teoreticheskie osnovy proektirovaniya zhilyh zdaniy: Ucheb posobie].- 2nd ed., reprint. and add./V. M. Molchanov.- Rostov n/A: “Phoenix”, 2003. – 240 S.: ill.- (Series “Training manuals»)
22. Novikov, V. A. Architectural organization of the rural environment: Textbook. Manual [Arhitekturnaya organizaciya sel'skoj sredy: Ucheb. Posobie] V. A. Novikov. – M. : Architecture. – P. – 2006. – 376 S.II.
23. Nurmiev, G. N. Moscow-energy-efficient city [Moskva-energoeffektivnyj gorod] /G. N. Nurmiev // Housing construction. – 2002. – №4. – P. 26-28.
24. Obolensky N. V. Architecture and the sun [Arhitektura i solnce]. – M.: Stroizdat , 1988. 207s.
25. Ogorodnikov, I. A. Ecodom - housing of the XXI century [Ekodom-zhilishche XXI veka] /Architecture and construction in Russia. – 1996. – No. 910. – P. 14-15.
26. Ogorodnikov, I. A. Ecodom in Siberia. Literature review, original developments, recommendations of specialists [Ekodom v Sibiri. Obzor literatury, original'nye razrabotki, rekomendacii specialistov] / I. A. Ogorodnikov, O. N. Makarova, E. S. Dubynina. ISAR-Siberia, Novosibirsk. – 2000. – 89с.
27. Onishchenko, S. V. Autonomous power supply system of a residential building [Avtonomnaya sistema energosnabzheniya zhilogo doma] // Housing construction. – 2008. – No. 9. – P. 10-12.



**Ганджа С.А.,**

д.т.н., профессор, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: gandzhasa@susu.ru

---

**Gandzha S. A.,**

doctor of Technical Sciences, professor, South Ural State University, с. Chelyabinsk, Russia. E-mail:

gandzhasa@susu.ru

---

*Поступила в редакцию 30.09.2020*