

СРЕДОВЫЕ ФАКТОРЫ В АРХИТЕКТУРЕ

Научная статья

УДК/UDC 728:628.8:551.58(213.52)

DOI: 10.24412/1998-4839-2024-4-319-337

Стратегия пассивного энергопотребления в архитектурном проектировании жилых домов в условиях жаркого сухого климата

И.А. Исам Абдо¹, И.М.С. Хади Муса², Иван Халиль^{3✉}^{1,2,3}Российский университет дружбы народов, Москва, Россия¹es-arefi@mail.ru ²1042225109@rudn.ru ³khalil-i@rudn.ru

Аннотация. В странах с преобладающим жарким сухим климатом остро стоит проблема высокого энергопотребления, особенно в сфере систем охлаждения, вентиляции жилых домов и общественных зданий. Изучая исторические городские здания, делается вывод о том, что применение известных в древности методов пассивного охлаждения и вентиляции в комплексе с использованием современных установок по получению энергии от возобновляемых источников, позволит снизить смету проектов и эксплуатационные расходы в будущем.

Ключевые слова: архитектура жаркого сухого климата, энергоэффективные здания, энергосбережение, традиционная архитектура, стратегия «пассивный дом», система охлаждения

Для цитирования: Абдо Исам И.А. Стратегия пассивного энергопотребления в архитектурном проектировании жилых домов в условиях жаркого сухого климата / И.А. Исам Абдо, Хади Муса Идрис М.С., И. Халиль // Architecture and Modern Information Technologies. 2024. №4(69). С. 319-337. URL:

https://marhi.ru/AMIT/2024/4kvart24/PDF/23_abdo.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2024-4-319-337

ENVIRONMENTAL FACTORS IN ARCHITECTURE

Original article

Passive energy consumption strategy in architectural design of residential buildings in hot arid climates

Esam E.A. Abdo¹, Mousa E.M.S. Hadi², Ivan Khalil^{3✉}^{1,2,3}Peoples' Friendship University, Moscow, Russia¹es-arefi@mail.ru ²1042225109@rudn.ru ³khalil-i@rudn.ru

Abstract. In countries with predominantly hot arid climates, the issue of high energy consumption is particularly pressing, especially in cooling and ventilation systems for residential and public buildings. By studying historical urban structures, it is concluded that the use of ancient methods of passive cooling and ventilation, combined with modern installations for generating energy from renewable sources, can reduce project budgets and operational costs in the future.

Keywords: architecture in hot arid climates, energy-efficient buildings, energy conservation, traditional architecture, "passive house" strategy, cooling system

For citation: Abdo Esam E.A., Hadi Mousa Edres M.S., Khalil I. Passive energy consumption strategy in architectural design of residential buildings in hot arid climates. Architecture and Modern Information Technologies, 2024, no. 4(69), pp. 319-337. Available at:

https://marhi.ru/AMIT/2024/4kvart24/PDF/23_abdo.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2024-4-319-337

Мир сталкивается с быстрыми изменениями, связанными с ростом населения и значительным увеличением его численности. Данные процессы усугубляются энергетическим кризисом и проблемами загрязнения, вызванными большим потреблением энергии и его негативным воздействием на окружающую среду, что вызывает интерес у разных стран мира, независимо от того, являются ли они экспортерами или импортерами энергии. В последнее время мы наблюдаем постоянные призывы к более сбалансированному обращению с окружающей средой, особенно со стороны проектировщиков, архитекторов и дизайнеров, к поиску альтернатив планирования и проектирования для современных городов и новых жилых комплексов, используя преимущества новых и возобновляемых природных источников энергии. Баланс тепловой энергии между нашим телом и пространством вокруг нас определяет уровень физического комфорта, который мы ощущаем в здании. В процессе проектирования следует минимизировать приток солнечной энергии и тепла в зданиях, расположенных в жарких и засушливых районах. Для строительства энергоэффективных зданий и поддержания комфортной температуры в помещении необходимо обеспечить естественную вентиляцию, охлаждение почвы и радиационное охлаждение. Исторически сложилось так, что архитекторам приходилось учитывать данные факторы без помощи технологий или использования механических инструментов и машин, работающих на электричестве. Таким образом, появились способы обеспечить температурный комфорт жильцам внутри зданий, в то же время сохраняя чистую атмосферу.

Основные понятия

Энергоэффективная архитектура должна быть доступна широким слоям населения. Именно такой концепции придерживался выдающийся архитектор из Египта, изменивший подход к строительству на Ближнем Востоке, Хасан Фатхи. Фатхи известен своими новаторскими взглядами на проектирование и строительство зданий. Он считал, что архитектура должна быть функциональной, энергоэффективной и в то же время доступной всем людям, независимо от их социального статуса. Уникальным примером его концепции и символом синергии местного населения и архитектора стал проект переноса деревни Шейх Абд-эль-Курна на новое место для защиты древнеегипетских захоронений от разрушения. Современные энергосберегающие, а тем более энергогенерирующие здания и поселения становятся невероятно технологичными и вместе с тем неумолимо растет стоимость строительства таких домов. С ростом современных технологий забываются технологии наших предков, которые были не менее эффективные и могли дать определенную степень комфорта для проживания. Используя современные наработки, материалы и методы проектирования необходимо в нужных пропорциях создать синергию технологий прошлого и инноваций нашего времени. Такой метод позволит создавать доступное современное и комфортное жилье, даже в самом сложном для проживания климате [8].

Архитектурное проектирование в засушливых условиях подразумевает создание проектов в районах, где температура колеблется от 27°C до 49°C в дневное время и достигает 22°C ночью. Влажность в таких регионах варьируется от низкой до умеренной, а небо, как правило, чистое и ясное. Низкая влажность приводит к минимальному количеству осадков – от 50 мм до 150 мм в год – что, в свою очередь, сокращает число растений на данной территории. Ветры в таких условиях редкие, слабые и пыльные.

Для строительства жилого дома в таких климатических условиях необходимо выработать стратегию по применению строительных материалов и методов энергосбережения по схеме «цена – качество – комфорт».

Наилучшей стратегией может стать «Пассивный дом». Пассивный дом – дом, который снижает ненужное потребление энергии, выбросы парниковых газов и потребность в невозобновляемых ресурсах. В то же время обеспечивает более устойчивые условия жизни и экономит значительные суммы денег.

Одной из ключевых составляющих стратегии пассивного энергопотребления в архитектурном проектировании является ориентация на обеспечение максимального комфорта и благосостояния жильцов зданий при минимуме энергозатрат. Конструкции при стратегии пассивного энергопотребления в архитектурном проектировании должны быть адаптированы к местным температурным условиям и специфике региона. Кроме того, важным аспектом стратегии пассивного энергопотребления в архитектурном проектировании является необходимость эффективного использования природного климата, что подразумевает, что любой элемент проектирования или технология, применяемая для снижения температуры в здании без привлечения электроснабжения, квалифицируется как пассивное охлаждение (рис. 1).

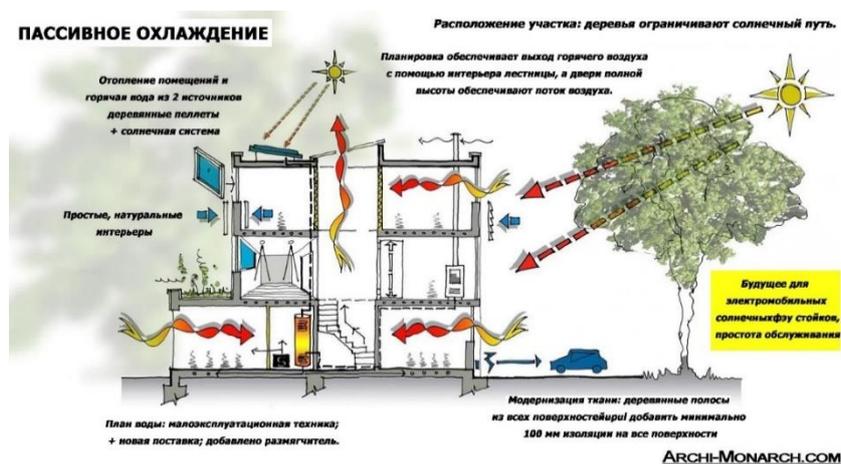


Рис. 1. Охлаждение здания при стратегии пассивного энергопотребления в архитектурном проектировании

Проектирование пассивного дома представляет собой метод, ориентированный на создание проекта, с учетом воздействия солнечного света, ветра, растений и других природных ресурсов, присутствующих на участке. При проектировании зданий важно предусмотреть эффективные решения для систем отопления, охлаждения, освещения и вентиляции. Грамотное проектирование пассивного дома позволяет создать комфортные условия для проживания при минимальных энергозатратах. Такой подход помогает экономить энергетические ресурсы и снижать негативное воздействие на окружающую среду, что особенно ценно в регионах с жарким и сухим климатом.

Успешные стратегии пассивного энергопотребления в архитектурном проектировании могут быть выделены в ряде перечисленных ниже факторов.

Сокращение воздействия солнечной радиации на здание и преобразование солнечной энергии в электричество

Для контроля воздействия солнечной радиации на здание необходимо учитывать физику его воздействия на фасады и кровлю. Часть солнечной энергии поглощается, другая отражается, а третья – передается в помещения через материалы в виде тепла.

Для управления процессом нагрева элементов здания можно использовать различные методы. Следует организовать эффективное отражение солнечных лучей. Правильная ориентация здания по сторонам света, с учетом норм инсоляции в регионе и движения солнца по меридиану, также играет важную роль. Кроме того, можно преобразовывать солнечный свет в тепловую или электрическую энергию. При этом рекомендуется применять как современные, так и традиционные технологии защиты фасада от перегрева. Важно обеспечить правильную вентиляцию здания, поддерживать оптимальный уровень влажности и создавать условия для охлаждения помещений. Также

полезно использовать геотермальные системы, которые способствуют эффективному регулированию температуры.

Ограничение поступления солнечных лучей

В традиционной архитектуре районов с сухим и жарким климатом, особенно в домах с традиционными дворами, ландшафтные элементы (деревья, растения, и т.д.) используются в качестве защиты жилых зданий от прямого воздействия солнечных лучей, что приводит к созданию затененной зоны внутри двора (рис. 2).

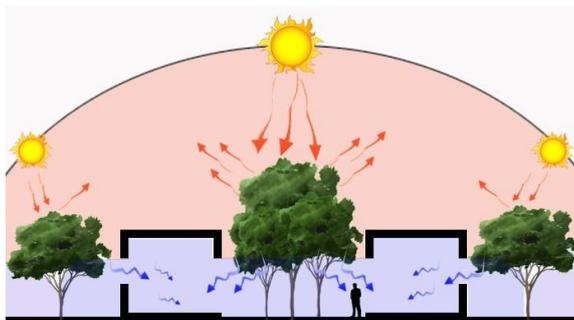


Рис. 2. Способ защиты пространств здания от солнечных лучей при помощи деревьев

Блокировка солнечных лучей при помощи деревьев – эффективный способ защиты от излишнего солнечного света и тепла. Деревья образуют тень, которая способствует снижению температуры и уменьшению количества прямых солнечных лучей. Увеличение площади кроны на 10% позволяет снизить температуру воздуха вокруг на 1,5 °С, что особенно ценно для домов и участков, находящихся в солнечных регионах или областях с жарким климатом.

Деревья также помогают уменьшить испарение воды с поверхности почвы, что позволяет сохранять влагу и снижать потребность в поливе. Кроме того, они могут служить источником кислорода и улучшать качество воздуха, поглощая углекислый газ и другие вредные вещества. Следует учитывать, что выбор деревьев должен быть осознанным, т.к. некоторые виды могут быть слишком высокими или иметь густую крону, что может привести к затенению соседних участков или зданий. Также важно учитывать требования к уходу и их устойчивость к местным климатическим условиям. Однако, деревья не могут полностью защитить фасад от воздействия прямых солнечных лучей [1].

Необходимо затенять окна и проемы, используя стеновые выступы, нависающие элементы фасада и другие солнцезащитные конструкции. В 1983 году Дональд Уотсон в своей книге «Design for Flooding: Architecture, Landscape, and Urban Design for Resilience to Climate Change»⁴ изучил особенности проектирования зданий, устойчивых к суровой погоде, изменению климата и повышению уровня моря. В своём исследовании автор проанализировал, как угол падения солнечных лучей влияет на нагрев фасада зданий. Так, например, он определил, что для эффективного регулирования солнечного света, падающего через проёмы южного фасада в различных широтах, оптимальная высота конструкции составляет 76 см, а горизонтальная проекция должна быть расположена на 40 см выше верхней части окна [7]. Стеклопакеты или окна большой высоты требуют увеличения выступов солнцезащитных конструкций для увеличения затененной поверхности фасада (рис. 3).

⁴ Позднее книга была переиздана в соавторстве с Мишель Адамс.

Уотсон Д. Проектирование с учетом наводнений: архитектура, ландшафт и городской дизайн для устойчивости к изменению климата // Д. Уотсон, М. Адамс. Нью-Йорк: John Wiley and Sons, 2010. 336 р. ISBN: 978-0-470-47564-5

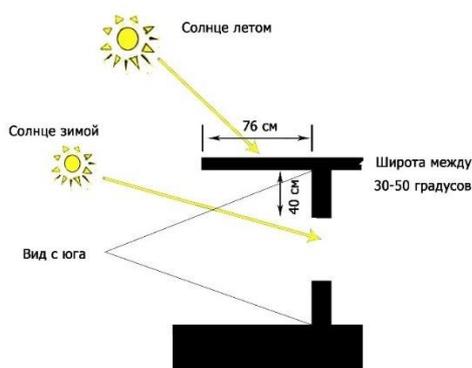


Рис. 3. Выступ стены 76/40 см южного фасада здания в диапазоне широт от 30° до 50°

Жалюзи и решетки, используемые для защиты домов от солнца, представляют собой еще один проверенный временем метод, например принцип «машрабии». Машрабия – декоративные каменные или деревянные решетки, которые устанавливаются на окна и двери зданий, а также используются внутри помещений в качестве перегородок. Благодаря своему узору, они позволяют проникать свежему воздуху внутрь помещения, одновременно защищая его от ярких солнечных лучей. Каменная решетка была впервые использована в Багдаде в XII веке и получила свое название от арабского слова «машраба», что означает «кувшин». Изначально машрабия представляла собой место для хранения воды в кувшинах из пористой глины. Вода, просачиваясь через стенки таких сосудов, создавала большую поверхность испарения, что помогало сохранять прохладу, охлаждая воздушные потоки. Такой метод испарительного охлаждения использовался ещё за 2500 лет до нашей эры в египетских дворцах [2]. Таким образом, на протяжении веков машрабия, как характерный элемент исламской и арабской архитектуры, обеспечивала приватность, регулировала освещение и теплообмен в помещениях.

Один из наиболее выдающихся примеров использования современных вариаций оконных декоративных решеток в современной архитектуре – Институт арабского мира в Париже, созданный известным архитектором Жаном Нувелем. Дизайн Института арабского мира во многом отражает традиционную исламскую архитектуру. Фасад здания украшен перфорированным металлическим экраном с регулирующими механическими отверстиями, позволяющими регулировать проникновение дневного света внутрь. Кроме того, такое решение позволило по-новому оценить символическое значение машрабии как эстетического элемента декора исламской архитектуры. Традиционный восточный узор решетки несет различную смысловую нагрузку. Так, защитная решетка на рынке в Абу-Даби от проектного бюро «Foster + Partners» спроектирована исключительно для защиты посетителей от жары, а узорчатый декор проемов мечети Гаргаш служит еще и элементом создания атмосферы таинственности, наводит на размышления и настраивает на молитву.

Одним из самых оригинальных примеров использования машрабии является музейный комплекс Лувр Абу-Даби, спроектированный архитектором Жаном Нувелем. Здание венчает огромный серебристый купол, который будто бы парит над городом-музеем. Несмотря на свой лёгкий внешний вид, купол весит около 7500 тонн, что сравнимо с весом Эйфелевой башни в Париже. Купол Нувеля действительно является великолепным образцом архитектуры, сочетающим в себе красоту и функциональность. Его уникальный дизайн и игра света создают неповторимую атмосферу внутри музея, делая посещение этого места поистине волшебным. Он не только украшает здание, но и помогает снизить его энергопотребление. Сферическая кровля защищает открытое пространство от палящего солнца, а прогулки под ним напоминают прогулку под «дождём света».

Способ куполообразной (сводчатой) крыши

В традиционной архитектуре регионов с жарким сухим климатом архитекторы использовали сводчатые крыши, имеющие форму арок или куполов. Один из первых, кто внедрил тенденцию строить современные жилые дома с куполами, был известный египетский архитектор Хасан Фатхи, создавший в 1946 году город Нью-Гурна рядом с Луксором. Такие крыши получили широкое распространение в тех районах, поскольку они позволяют снизить воздействие прямых солнечных лучей на здание благодаря тому, что часть куполообразной крыши остаётся в тени в светлое время суток, за исключением полудня, а в ночное время в здании устанавливается прохлада (рис. 4). Кроме того, крыши в форме купола способствуют уменьшению веса конструкции.

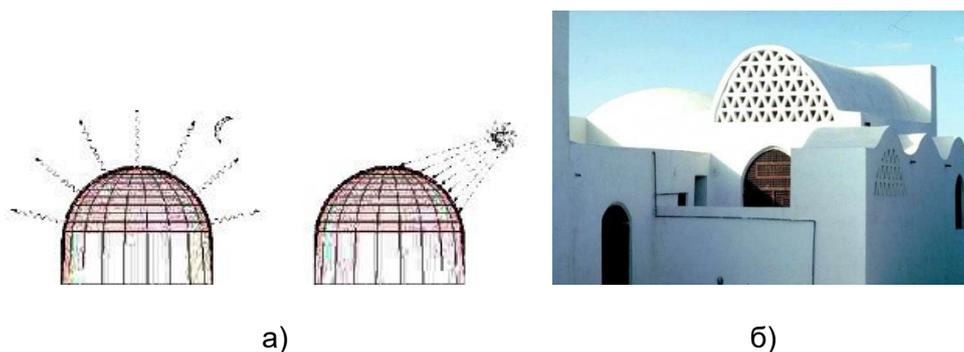


Рис. 4. Куполообразная (сводчатая) форма крыши: а) отдача тепла от купола ночью и нагрев купола днем; б) здание с купольной крышей построенное по проекту Хасана Фатхи

Включение в конструкцию зданий башен и куполов помогает снизить температуру внутри помещения, так как увеличивается объём воздуха и уменьшается воздействие внешней жары. В арабской архитектуре часто встречаются подобные элементы, и это не просто следование моде, а способ адаптации к высоким температурам окружающей среды.

Преобразование света в тепловую энергию

Большую роль в отражении света и тепла играет цвет фасадов и кровли. Так называемый эффект альбедо – использование максимально светлых цветов материала, отражающих свет. В полдень белая кровля отражает до 80% солнечного света. Учёные из США разработали «сверхбелую» краску на основе сульфата бария, которая отражает 98% солнечного света и охлаждает поверхность на 4,5°C [3]. Так, например в Нью-Йорке такой светоотражающей краской покрыли крыши общей площадью 1 миллион квадратных метров. В индийском городе Ахмадабад смесью из белого известняка и светлой краски покрыли 7000 крыш в бедных районах, жители которых не могут позволить себе установить кондиционеры. Власти Рио-де-Жанейро также планируют последовать такому примеру и осветлить все крыши в фавелах, где практически нет деревьев. В Лос-Анджелесе тёмный асфальт заменили на светло-серый, благодаря чему удалось охладить дороги сразу на 10°C.

В 1998 году был проведён эксперимент исследователем Барух Джованни, в котором показывается разница температуры окружающей среды и температуры поверхности кровли белого цвета и тёмной кровли. Эксперимент проводился в жарком сухом климате Хаифа, Палестина. В результате эксперимента было обнаружено, что температура темной крыши колебалась пределах 50°-60°C выше температуры окружающего воздуха, а температура белой крыши всего лишь на 10°C выше (рис. 5).

В традиционной архитектуре Йемена мы можем наблюдать, как значительную роль в защите помещения от солнечного тепла играет не только цвет фасада и кровли, но и цвет стекла в окнах домов. В жарком сухом климате региона оконные стёкла делают цветными

и декорируют. Применяется техника камарият – цветная стеклянная арка над окном или дверью (рис. 6). Такие стекла предназначены для защиты интерьеров от прямых солнечных лучей, одновременно обеспечивая достаточное количество освещения внутри помещений. Стандартное прозрачное стекло не справляется с такой задачей полностью, так как у него невысокие изоляционные характеристики. Исследования показывают, что прозрачное стекло отражает лишь незначительную часть световой и тепловой энергии, тогда как цветное теплопоглощающее стекло значительно снижает поступление тепла внутрь.

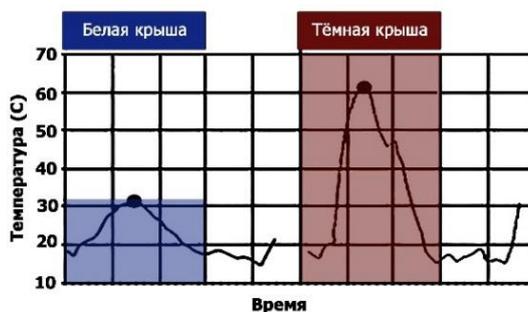


Рис. 5. Сравнение цветовых характеристик в отношении теплопередачи белых и темных поверхностей



Рис. 6. Применение разноцветного стекла как способ защиты помещения от солнечного излучения в Иране

Ближний Восток знаменит своими витражами. В Сирии примерно в I веке до нашей эры появилась новая технология стеклодувного производства. С помощью стеклодувной трубки мастера могли сделать полый стеклянный шар, который впоследствии прокалывали и получали относительно ровный лист стекла. Такой метод использовался в изготовлении витражей в средние века и эпоху Возрождения.

Ориентация здания относительно расположения солнца

При строительстве жилого дома необходимо учитывать положение солнца в различное время суток и в разные сезоны, а также направление господствующих ветров, особенно в летний период. При правильной ориентации здания относительно солнца можно снизить потребность в системах отопления и кондиционирования, тем самым экономя энергию. Наиболее рационально разместить здание вдоль оси «восток-запад» с отступлением не более на 15 градусов, так, чтобы его длина была параллельна этой оси (рис. 7). Обусловлено такое расположение тем, что солнечные лучи меньше всего попадают на северную стену в утренние и вечерние часы летнего дня, когда солнце находится низко и

лучи касаются поверхности стены. Зимой южная стена получает максимум солнечного света, а летом солнце находится высоко, позволяя использовать небольшие козырьки и элементы фасада для управления освещением [4]. Восточный фасад будет освещаться солнцем с рассвета до полудня, способствуя охлаждению стен к вечеру.

Восточный и западный фасады здания, тоже подвергаются солнечному прогреву, который становится нежелательным летом. Для решения данной проблемы существуют два способа уменьшения воздействия нежелательных солнечных лучей:

- затенение кронами деревьев, соседними постройками или выступающими элементами фасада здания;
- рациональная ориентация здания по сторонам света (рис. 7).

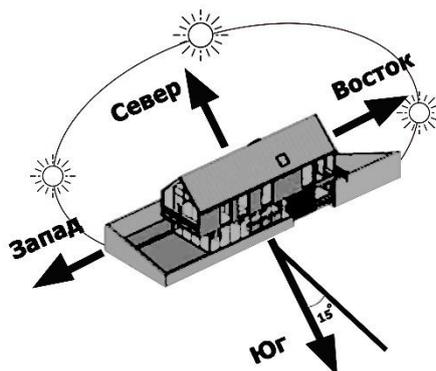


Рис. 7. Схема расположения здания относительно движения солнца: ширина здания по оси «север-юг» и длина – по оси «запад-восток» с возможным отклонением от неё не более на 15 градусов

Контроль теплопередачи в здании

Теплопередача – процесс передачи тепловой энергии от более теплой части здания к более холодной. Существует несколько способов контроля теплопередачи в здании в районах с жарким сухим климатом [5].

Арабские архитекторы уже давно применяют уникальные элементы и подходы, которые позволяют приспособиться к сильной жаре. Традиционные методы значительно отличаются от подходов, используемых в современной архитектуре, где часто применяются бетон и стекло. Дело в том, что такие материалы не помогают снизить температуру в помещениях, а наоборот, приводят к её повышению.

Материалы, используемые при строительстве зданий, играют важную роль в защите человека от жары и холода в любое время года и в любых климатических условиях. Следовательно, при строительстве зданий следует внимательно подходить к выбору материалов ограждающих конструкций, принимая во внимание их толщину и физические характеристики, включая теплопроводность, сопротивление теплопередаче, а также возможность отражать солнечные лучи.

В основе конструкции арабских зданий обычно были толстые стены из природных и экологически чистых материалов, таких как известняк и саман, традиционно для изготовления, которых использовали солому местных пустынных растений. Благодаря тому, что материал поглощает влагу ночью и выделяет её днём, в помещении поддерживается прохлада. Песочный цвет и текстура стен также помогали снизить время нагрева помещений и их температуру.

В традиционном арабском строительстве жилых домов придерживались принципа Касбы (крепость, возведенная в 859 году н.э. в Суссе, Тунис) или её аналогов – Ксаров, в

большом количестве возведенных в сельских местностях: окна на фасадах здания были небольшими, а главный фасад обращался к внутреннему двору. Прочные строения, возведённые из самана и камня, которые мы часто наблюдаем в оазисах Магриба, отличает плотная застройка.

В регионах с жарким и сухим климатом использование материалов, которые обладают низкой теплопроводностью и высокой теплоёмкостью, помогает уменьшить теплопотери через ограждающие конструкции здания, что в свою очередь, снижает расходы на электроэнергию, необходимую для кондиционирования воздуха. Процесс передачи тепла, происходящий через ограждающие конструкции называется теплопроводностью, а количество проникающего тепла – теплоотдачей [6; 13].

Органические материалы, такие как дерево, глина и гипс, имеют низкую теплопроводность, что делает их предпочтительными для строительства в жарком и сухом климате. В традиционной архитектуре стран Ближнего Востока и Африки до сих пор активно применяются глина, кирпичная глина и гипс. Толстые и массивные стены, изготовленные из материалов с низкой теплопроводностью, помогают поддерживать тепловое равновесие, обеспечивая прохладу в летний период и сохраняя тепло в зимнее время. В материалах отделки помещений нередко можно встретить керамику. Керамика имеет ряд преимуществ для экологичного дизайна. Покрытие полов и стен керамической плиткой придаёт интерьеру индивидуальный стиль, а также помогает снизить зависимость от систем отопления и кондиционирования, что способствует значительной экономии энергии. Благодаря своим тепловым свойствам такая плитка сохраняет тепло в холодное время года и обеспечивает прохладу летом, уменьшает необходимость в использовании искусственного обогрева и охлаждения, снижает потребление энергии и, как следствие, выбросы парниковых газов.

Научные исследования, проведённые Дональдом Ватсоном и Аноном, установили, что оптимальный коэффициент теплопроводности строительных конструкций стен и крыши, в регионах с жарким и аридным климатом, должен находиться на уровне приблизительно $1,1 \text{ ккал/Гм}^2\text{С}^\circ$. Диапазоны значений теплопроводности различных материалов представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Теплопроводность для некоторых материалов⁵

Материал	Теплопроводность (Вт/мК)
Алюминий	240
Сталь (углерод 1%)	43
Бетон, плотный	1.30
Кирпичи	0.73
Вода (20°C)	0.60
Песок (сухой)	0.30
Дерево (дуб)	0.17
Стекло	0.035
Воздух	0.024

Исходя из данных, представленных в Таблице 1, можно сделать вывод, что воздух является плохим проводником тепла, что обуславливает его статус одного из наиболее эффективных теплоизоляционных материалов с низкой теплопроводностью.

В строительной сфере конструкции, включающие стены, крыши и окна, состоящие из нескольких слоёв с воздушными промежутками между ними, демонстрируют высокую эффективность в снижении теплопотерь, функционируя как надёжные теплоизоляторы.

⁵ Анон, 1988. URL: <http://www.engineeringtoolbox.com> (дата обращения: 17.05.2024).

Помимо воздуха, существуют и другие материалы, характеризующиеся выдающимися теплоизоляционными качествами. Один из них – металлическая фольга с высокой отражающей способностью. Такой материал широко применяется в космических кораблях. Если использовать его в производстве окон и стеклянных стен, он может снизить теплопроводность окон в три раза по сравнению с воздухом.

В Таблице 2 приведены толщины стен из различных строительных материалов, необходимые для достижения целевого коэффициента теплопроводности около $1,1 \text{ ккал/чм}^2\text{С}^\circ$. Из данных Таблицы 2 можно сделать вывод, что коэффициент теплопередачи для бетонной стены толщиной 50 см составляет $2,40 \text{ ккал/чм}^2\text{С}^\circ$, тогда как аналогичный параметр для стены такой же толщины, выполненной из пустотелого кирпича, составляет менее $1 \text{ ккал/чм}^2\text{С}^\circ$. Где q – теплопередача, C – проводимость материалов, T_h – температура более теплой стороны, T_c – температура более холодной стороны, а A – площадь поверхности»⁶.

Таблица 2. Толщина стены для разных материалов, обеспечивающих коэффициент теплопроводности примерно⁷ $1.1 \text{ ккал/Гм}^2\text{С}^\circ$

Материал стены	Толщина стены	Теплопроводность (ккал/Гм ² С [°])
Кирпич с внутренней пустотой	0.30	1.1
Двустенный кирпич с отверстиями и полостью 8 см.	2 x 0.12	1.12
Стена из кирпичей с отверстиями	0.38	1.03
Силикатный кирпич	0.51	1.25
Силикатный кирпич с внутренней пустотой	0.51	1.16
Известковая стена	0.51	1.10 – 1.35
Бетон	1	1.20

Нерациональное применение остекления в регионах с жарким сухим климатом приводит к высоким энергозатратам и дискомфорту в жилых помещениях. Чтобы решить эту проблему, можно улучшить тепловые характеристики стекла, заполнив пространство между его слоями плохо проводящим тепло, более вязким или медленно движущимся газом (рис. 8). Известно, что в качестве теплоизолятора между слоями стекла часто используют воздух. Однако существуют и другие газы, такие как криптон и аргон, которые можно применять в воздушных зазорах между стеклянными слоями. Такие газы отличаются высокой теплоизоляцией. Они представляют собой низкотемпературные проводящие газы, используемые для улучшения терморегуляции [9]. Они недороги, нетоксичны, неактивны, прозрачны и не имеют запаха. Идеальное расстояние для аргонового агрегата аналогично расстоянию для воздуха и составляет примерно 11-13 мм. Криптон демонстрирует наибольшую эффективность при уменьшении расстояния между стёклами относительно стандартных 6 мм, оптимальное значение которого составляет 9 мм. Использование смеси криптона и аргона представляет собой сбалансированное решение, позволяющее сочетать высокие тепловые характеристики с экономической целесообразностью.

Сравнивая работу фасадных ограждающих конструкций, можно провести аналогию с человеческой кожей, которая защищает нас и помогает взаимодействовать с миром вокруг. Эта аналогия позволяет увидеть, как оболочка здания выполняет важные функции: защита внутреннего пространства, регуляция микроклимата и создание внешнего облика постройки. И кожа человека, и оболочка здания являются элементами,

⁶ Дональд Уотсон, 1983. URL: <https://adp.uq.edu.au/article/2018/03/don-watson-architecture-icon> (дата обращения: 17.05.2024).

⁷ Хасан Фатхи, 1986. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Фатхи,_Хасан (дата обращения: 17.05.2024).

которые реагируют на внешние воздействия и на то, что происходит внутри. Они не просто служат барьером для защиты, но и активно взаимодействуют с окружающей средой.



Рис. 8. Принцип действия двухслойного стеклянного окна

Система вентиляции

В странах Персидского залива большое распространение имели ветряные башни «багдиры» («малькафы» в Египте), установленные на крыше здания или рядом с ним для направления потока ветра внутрь.

Вентиляция в здании определяется как процесс передачи свежего воздуха внутрь здания с одновременным удалением загрязненного воздуха из него [10]. С древних времён в Иране, Египте, Йемене и регионе Персидского залива, обеспечение здания системой вентиляции при его постройке – было важнейшей и приоритетной задачей. Зодчие применяли различные способы организации воздухообмена – один из которых используется до сих пор – это возведение ветровой башни «бадгир» («малькафы» в Египте). Ветровая башня строится выше объема здания и имеет отверстие, обращенное навстречу преобладающему ветру. Воздухообмен в таких башнях происходит по двум принципиальным схемам.

Первая схема

Создание тяги горячего воздуха происходит за счет взаимодействия двух форм. Одна из них является круглое в плане помещение, заглубленное ниже уровня земли, построенное из кирпичей или спрессованной глины, которое венчает купол. Вторая форма – квадратная в сечении башня, находящаяся чуть позади купола и возвышающаяся над ним, соединённая с помещением под землей. Верхняя часть багдиры разделена внутри на отсеки – стенки по каждому из четырёх направлений, которые направляют воздушные потоки вниз в помещение, не позволяя проходить ветру сквозь улавливатель (рис. 9).



Рис. 9. Первая схема работы ветровой башни: а) схема движения воздушных потоков в багдире; б) ветровые башни в Иране

Вторая схема

Другой механизм воздухообмена происходит из-за разницы температур. В утренние часы горячий воздух, окружающий здание, попадает в шахты ветровой башни и охлаждается там из-за контакта с остывшими за ночь стенами башни. Днем, когда солнце нагревает стенки южной поверхности ветровой башни, воздух в южной шахте нагревается и поднимается вверх вместе с излишками теплого воздуха из здания. В то же время другие стороны башни прогреваются гораздо медленнее, что создает внутри здания, так называемый, относительный вакуум, который забирает в себя прохладный воздух из внутреннего двора через северную шахту башни. Ночью температура на улице становится низкой и воздух охлаждается. Проходя через шахту ветровой башни, прохладный воздух двигается вниз (из-за его большой плотности), охлаждает стенки шахт, вытесняет накопившийся в течение дня теплый воздух, и создает прохладу в помещении. Этот цикл продолжается до тех пор, пока температура стены не сравняется с температурой наружного воздуха. Утром цикл начинается заново (рис. 10).

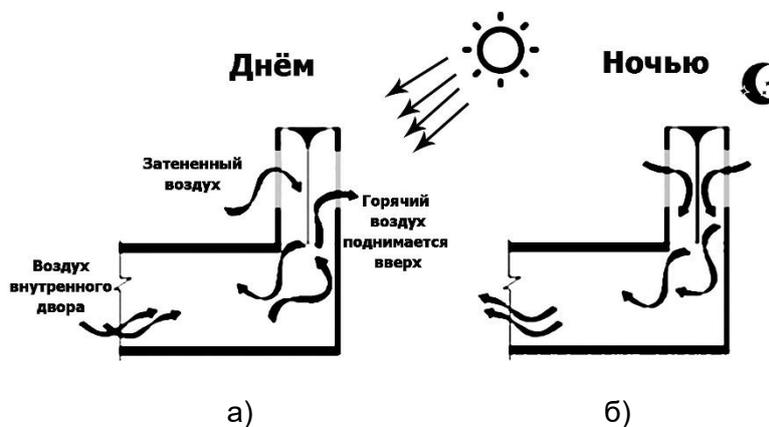


Рис. 10. Вторая схема работы ветровой башни: а) движение воздуха внутри ветровой башни в дневное время; б) движение воздуха внутри башни ночью

Естественная вентиляция является логичной и подходящей стратегией для многих типов зданий, особенно в районах жаркого сухого климата. Летом в таких районах из-за большого притока горячего воздуха, требуются дополнительные меры для регуляции температуры внутри здания. Для улучшения циркуляции воздуха с помощью ветровых башен, можно установить дополнительные вытяжные вентиляторы (рис. 11). Такой способ повысит эффективность системы вентиляции и обеспечит комфорт для людей.

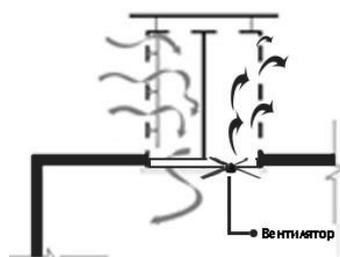


Рис. 11. Оснащение ветровых башен вытяжными вентиляторами для увеличения потока воздуха

Такие системы в большом количестве находят свое применение в современных архитектурных проектах для стран Ближнего Востока.

Постоянно проходящие потоки воздуха несут в себе огромный потенциал для получения электрической энергии. В 2017 году российский архитектор и руководитель Молодежного центра инновационных разработок и изобретений Жигуленко И.В.⁸ создал проект общественного культурного центра для Сирии с энергетикой на возобновляемых источниках, где доминантой ансамбля зданий являются башни, напоминающие багдиры и выполняющие функции ветровых башен. Вместе с тем, в верхней части башен устанавливается горизонтально – лопастной ветрогенератор с особой формой лопастей, воспринимающий как внешние ветровые потоки, так и восходящие потоки теплого воздуха из здания.

Использование традиционных ветряков мало-актуальны для климата аравийского полуострова, но горизонтально лопастные турбины винтоторного типа, разрабатываемые в России имеют большой потенциал в регионе, так как воспринимают потоки ветра скоростью от 4 метров в секунду, против минимальных 7 м/с у европейских аналогов.

Увлажнение воздуха внутри здания способом испарения

Испарение, как процесс обмена массами, имеет критическое значение в архитектурном проектировании и существенно воздействует на психофизиологическое состояние человека. Случай явления испарительного охлаждения, которое представляет собой естественное явление, наблюдается при прохождении воздуха мимо влажных объектов, таких как фонтаны, реки, моря или водопады. Испарение воды с поверхностей внутренних элементов испарительных охладителей выступает в качестве основного способа охлаждения зданий в условиях засушливого климата.

Для применения такой технологии охлаждения в строительстве в регионах с высокими температурами и низкой влажностью могут быть использованы ветровые башни (багдиры). Такие методы можно адаптировать для функционирования в качестве испарительных охладителей, добавив насос и вентилятор в систему воздухозабора. Вентилятор способствует увеличению объема поступающего воздуха в помещение, в то время как насос увлажняет поступающий поток, таким образом создавая комфортные условия для жизни и работы (рис. 12).

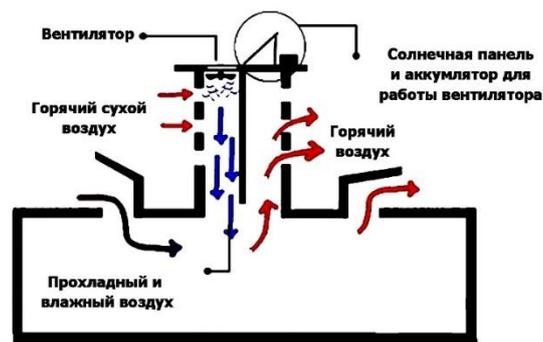


Рис. 12. Схема увлажнения воздуха внутри здания с использованием вентилятора в ветровой башне

Геотермальная система охлаждения зданий

Между температурой почвы и температурой воздуха существует взаимосвязь. Основное влияние на изменение температуры воздуха оказывает его взаимодействие с

⁸ Жигуленко И.В. Экоэнергетика в современном строительстве и архитектуре / И.В. Жигуленко, А.Л. Яковенко // Архитектура и строительство России. 2014. № 8. С. 11-17. ISSN 0235-7259.

поверхностью земли. Температура почвенной поверхности приблизительно совпадает с температурой окружающего воздуха, однако она подвержена значительным сезонным изменениям. В то же время, с увеличением глубины, температурные колебания почвы становятся менее выраженными и более стабильными.

Геотермальный метод охлаждения широко используется и по сей день в разных странах с жарким и сухим климатом, особенно в частных застроенных районах.

Одной из таких стран, где данная технология климат-контроля помещений активно применяется, является Иран. Во многих традиционных иранских домах создаются особые помещения, называемые «сапестан» или «шавадан», которые находятся на глубине 5-10 метров под землёй. Такие помещения могут включать одну или несколько комнат [12].

В таких подземных комнатах круглый год поддерживается стабильная температура, составляющая в среднем 22°-25°С. Для обеспечения должной циркуляции воздуха и света в шавадане устанавливаются вертикальные каналы цилиндрической формы диаметром в один метр. Такие каналы соединяют верхние этажи зданий с подземными комнатами, обеспечивая приток прохладного воздуха из подземных помещений к жилым этажам.



а)

б)

Рис. 13. Система охлаждения помещения геотермальным способом в традиционном доме Ирана – швадан: а) воздушный колодец в подземное помещение; б) традиционный иранский швадан

Устойчивые температурные значения глубоких слоёв грунта, которые даже в летние месяцы остаются прохладными, способны стать основой для создания пассивных систем охлаждения зданий. Для этого необходимо в здании вентиляционные каналы из трубопроводов соединить с системой подземного геотермального охлаждения. Чтобы достичь наибольшей эффективности в охлаждении, трубопроводы следует укладывать на максимально возможную глубину, откуда воздух будет направляться по трубам внутрь помещений.

В современных домах, следуя трендам заботы об экологии, снова, всё чаще появляются геотермальные системы охлаждения и отопления, но в новом более технологичном виде. Использование тепла или прохлады земли делает такие системы не только экологически чистыми, но и экономически выгодными. Долговечность, высокая энергоэффективность, экономия на оплате услуг ЖКХ – плюсы, дающие неоспоримое преимущество такой системы над привычными нам аналогами. Из минусов следует отметить – высокую стоимость первоначальных вложений.

Выводы

На основе изученных современных и традиционных стратегий проектирования пассивных домов в условиях жаркого сухого климата, архитекторам необходимо обратить внимание на нижеперечисленные мероприятия и связанные с этим инженерные решения:

Уменьшить воздействие прямых солнечных лучей на здание, возможно посредством его оптимальной ориентации относительно солнца, а также естественным затенением зелеными насаждениями, элементами ландшафтного дизайна, террасами и выступающими деталями фасада.

Сократить поступление тепла внутрь здания, возможно применяя в ограждающих конструкциях здания высококачественные теплоизоляционные материалы.

Организовать эффективную циркуляцию воздуха и охлаждение помещений здания возможно за счёт естественной вентиляции через приточно-вытяжные системы, которые по своей конструкции и внешнему виду напоминают традиционные элементы арабской архитектуры, такие как малькаф (ветровая башня), машрабия (закрытый сетчатая конструкция).

Повысить эффективность теплоизоляции в здании и снизить затраты на стройматериалы, возможно применяя местные ресурсы: глину, камень, кирпич, и гипс.

Следует применять правильные цветовые решения фасадов и кровли для отражения солнечных лучей во избежание их перегрева.

Следует применять современные технологии в области энергетики возобновляемых источников, например, солнечные панели.

При проектировании систем отопления и кондиционирования здания следует использовать геотермальные свойства земли.

Для увеличения массового строительства доступного жилья в условиях жаркого и сухого климата, следует учитывать опыт предыдущих поколений в вопросах организации инженерных сетей, в частности, систем естественной вентиляции, кондиционирования и отопления зданий, в сочетании с современными технологиями альтернативной энергетики. Такой комплексный подход, основанный на стратегии пассивного энергопотребления, приведет к удешевлению проектного решения, а в дальнейшем к сокращению эксплуатационных расходов на содержание домов.

Источники иллюстраций

Рис. 1. URL: <https://archi-monarch.com/> (дата обращения: 12.04.2024).

Рис. 2, 3, 7, 9-12. Работа автора.

Рис. 4а, б. URL: <https://prabook.com/web/hassan.fathy/1288894> (дата обращения: 17.05.2024).

Рис. 5. URL: <https://maidalsaad.com/2013/02/26> (дата обращения: 18.05.2024).

Рис. 6. URL: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ftwitter.com> (дата обращения: 12.04.2024).

Рис. 8. URL: <https://www.stis.ru/products/vidy-steklopaketov/solntsezashchitnye-steklopakety/> (дата обращения: 18.05.2024).

Рис. 13. URL: https://www.researchgate.net/figure/Shavadan-in-Dezful-and-hot-areas-acts-as-a-cooling-passive-element_fig8_351024054 (дата обращения: 01.06.2024).

Список источников

1. Афанасьева О.К. Архитектура малоэтажных жилых домов с возобновляемыми источниками энергии. Автореферат дис. канд. арх. Москва, 2009. 20 с.

2. Бархин Б.Г. Методика архитектурного проектирования: Учеб. метод. Пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Б.Г. Бархин. Москва: Стройиздат, 1993. 225 с.
3. Гусев В.П. Генерация аэродинамического шума в элементах систем вентиляции / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко, М.Ю. Пестерева // АВОК Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. 2006. № 3. С. 70-74.
4. Yahya Lavaf pour. Passive low energy architecture in hot and dry climate, University of the West of England, Bristol, 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/268386671_Passive_Low_Energy_Architecture_in_Hot_and_Dry_Climate (дата обращения: 12.04.2024).
5. Anon. CIBSE guide, volume A: Thermal properties of building structures, CIBSE, London, 2015 (обновлено в 2021 году). URL: http://202.65.149.252:81/fdScript/RootOfEBooks/CED/CIVIL/Thomasandall/Environmental%20Design_%20An%20Intfor%20Architects%20and%20Engineers/Environmental%20Design_%20An%20Introductiotects%20and%20Engineers%20-%20Randall%20Thomas.pdf (дата обращения: 13.04.2024).
6. Bahadori M.N. Passive cooling systems in Iranian architecture, scientific American. 1978. Vol. 238. №2 February. pp. 144-154.
7. Giovani B. Climate consideration in building and urban design, John Wiley & Sons Inc., 1998. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Climate+Considerations+in+Building+and+Urban+Design-p-9780471291770> (дата обращения: 17.05.2024).
8. Watson D. Climatic design: Energy-Efficient Building Principles and Practices, copyright by McGraw-hill, Inc., 1983. URL: https://books.google.ru/books/about/Climatic_Design.html?id=wEVSAAAAMAAJ&redir_esc=y (дата обращения: 18.05.2024).
9. Fathy H. Natural energy and vernacular architecture; principles and examples with the reference to Hot Arid climates, published for the united nation university by the university of Chicago press Chicago and London, 2002. URL: <https://digitallibrary.un.org/record/196097?ln=ru> (дата обращения: 18.05.2024).
10. Margolius I. Architects + Engineers = Structures, John Wiley & Sons Ltd., 2002. URL: https://www.researchgate.net/publication/249562141_Architects_Engineers_Structures_by_Ivan_Margolius_WileyAcademy_London_UK_and_New_York_NY_USA_2002_104_pp_illus_Paper_ISBN_0-471-49825-4 (дата обращения: 19.05.2024).
11. Jan F., Kreider & Ari Rabl. Heating and Cooling of Buildings; Design for Efficiency, by McGraw-Hill, Inc., 1994. URL: https://www.goodreads.com/book/show/555118.Heating_and_Cooling_of_Buildings (дата обращения: 19.05.2024).
12. Lechner Norbert. Heating, Cooling, and Lighting: Sustainable Design Methods for Architects. Third edition, by John Wiley & Sons, Inc. 2009. URL: <https://archive.org/details/heatingcoolingli0004lech> (дата обращения: 20.05.2024).
13. Randall Thomas & Max Fordhams. Environmental Design An introduction for architects and engineers, second edition, spon press. 2006. pp. 9-11.
14. Jones G, Bouamane L. Power from sunshine, a business history of solar energy. United States, Harvard Business School, 2012. URL: <https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/12-105.pdf> (дата обращения: 22.05.2024).

15. Duffie JA, Beckman WA. Solar engineering of thermal processes. 3rd ed. New Jersey, John Wiley Sons Inc., 2006. URL: <https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/SolarPowerForAfrica/Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%20Photovoltaics%20and%20Wind.pdf> (дата обращения: 23.05.2024).
16. Constantin Ionescu n, Tudor Baracu, Gabriela-Elena Vlad, Horia Necula, Adrian Badea. The historical evolution of the energy efficient buildings, University Politehnica of Bucharest, Power Engineering Faculty, Department of Energy Production and Use, Bucharest, Romania, 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/276364897_The_historical_evolution_of_the_energy_efficient_buildings (дата обращения: 27.05.2024).
17. El-Shorbagy A.M. Design with Nature: Wind catcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings. Int J Civ Environ Eng IJCEE-IJENS, 2010. URL: https://www.researchgate.net/publication/202272007_Design_with_Nature_Windcatcher_as_a_Paradigm_of_Natural_Ventilation_Device_in_Buildings (дата обращения: 01.06.2024).

References

1. Afanasyeva O.K. *Arkhitektura maloetazhnykh zhilykh domov s vozobnovlyayemyimi istochnikami energii* [Architecture of low-rise residential buildings with renewable energy sources. Abstract of dis. cand. arch.]. Moscow, 2009, p. 20.
2. Barkhin B.G. *Metodika arkhitekturnogo proyektirovaniya* [Methodology of architectural design]. Moscow, 1993, p. 225.
3. Gusev V.P., Leshko M.Yu., Pestereva M.Yu. *Generatsiya aerodinamicheskogo shuma v elementakh sistem ventilyatsii* [Generation of aerodynamic noise in elements of ventilation systems]. AVOK Ventilation. Heating. Air conditioning, 2006, no. 3, pp. 70-74.
4. Yahya Lavaf pour. Passive low energy architecture in hot and dry climate, University of the West of England, Bristol, 2015. Available at: https://www.researchgate.net/publication/268386671_Passive_Low_Energy_Architecture_in_Hot_and_Dry_Climate
5. Anon. CIBSE guide, volume A: Thermal properties of building structures, CIBSE, London, 2015. Available at: <http://202.65.149.252:81/fdScript/RootOfEBooks/CED/CIVIL/Thomasandall/Environmental%20Design%20An%20Intfor%20Architects%20and%20Engineers/Environmental%20Design%20An%20Introductiotechs%20and%20Engineers%20-%20Randall%20Thomas.pdf>
6. Bahadori M.N. Passive cooling systems in Iranian architecture, scientific American, 1978, vol. 238, no. 2 February, pp. 144-154.
7. Giovani B. Climate consideration in building and urban design, John Wiley & Sons Inc., 1998. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Climate+Considerations+in+Building+and+Urban+Design-p-9780471291770>
8. Watson D. Climatic design: Energy-Efficient Building Principles and Practices, copyright by McGraw-hill, Inc., 1983. Available at: https://books.google.ru/books/about/Climatic_Design.html?id=wEVSAAAAMAAJ&redir_esc=y
9. Fathy H. Natural energy and vernacular architecture; principles and examples with the reference to Hot Arid climates, published for the united nation university by the university of

- Chicago press Chicago and London.1986. Available at:
<https://archive.org/details/naturalenergyver00fath>
10. Margolius I. Architects + Engineers = Structures, John Wiley & Sons Ltd., 2002. Available at:
https://www.researchgate.net/publication/249562141_Architects_Engineers_Structures_by_Ivan_Margolius_WileyAcademy_London_UK_and_New_York_NY_USA_2002_104_pp_illus_Paper_ISBN_0-471-49825-4
 11. Jan F., Kreider & Ari Rabl. Heating and Cooling of Buildings; Design for Efficiency, by McGraw-Hill, Inc.,1994. Available at:
https://www.goodreads.com/book/show/555118.Heating_and_Cooling_of_Buildings
 12. Lechner Norbert. Heating, Cooling, and Lighting: Sustainable Design Methods for Architects. Third edition, by John Wiley & Sons, Inc. 2009. Available at:
<https://archive.org/details/heatingcoolingli0004lech>
 13. Randall Thomas & Max Fordhams. Environmental Design An introduction for architects and engineers, second edition, spon press, 2006, pp. 9-11.
 14. Jones G., Bouamane L. Power from sunshine, a business history of solar energy. United States, Harvard Business School, 2012. Available at:
<https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/12-105.pdf>
 15. Duffie JA, Beckman WA. Solar engineering of thermal processes.3rd ed. New Jersey, John Wiley Sons Inc., 2006. Available at:
<https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/SolarPowerForAfrica/Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%20Photovoltaics%20and%20Wind.pdf>
 16. Constantin Ionescu n, Tudor Baracu, Gabriela-Elena Vlad, Horia Necula, Adrian Badea. The historical evolution of the energy efficient buildings, University Politehnica of Bucharest, Power Engineering Faculty, Department of Energy Production and Use, Bucharest, Romania, 2015. Available at:
https://www.researchgate.net/publication/276364897_The_historical_evolution_of_the_energy_efficient_buildings
 17. El-Shorbagy A.M. Design with Nature: Wind catcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings. Int J Civ Environ Eng IJCEE-IJENS, 2010. Available at:
https://www.researchgate.net/publication/202272007_Design_with_Nature_Windcatcher_as_a_Paradigm_of_Natural_Ventilation_Device_in_Buildings

ОБ АВТОРАХ

Абдо Исам Ибрахим Али

Аспирант кафедры «Архитектура, реставрация и дизайн», Инженерная академия, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия
es-arefi@mail.ru

Хади Муса Идрис М.С.

Аспирант кафедры «Архитектура, реставрация и дизайн», Инженерная академия, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия
1042225109@rudn.ru

Халиль Иван

Кандидат архитектуры, кафедра «Архитектура, реставрация и дизайн», Инженерная академия, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

khalil-i@rudn.ru

ABOUT THE AUTHORS**Abdo Esam Ebrahim Ali**

Postgraduate Student of the Department of «Architecture, Restoration and Design», Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Moscow, Russia

es-arefi@mail.ru

Hadi Mousa Edres M.S.

Postgraduate Student of the Department of Architecture, Restoration and Design, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Moscow, Russia

1042225109@rudn.ru

Khalil Ivan

PhD in Architecture, Department of «Architecture, Restoration and Design», Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Moscow, Russia

khalil-i@rudn.ru