

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕГАПОЛИС ПАРАДОКСЫ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

С. В. Корниенко, доктор техн. наук, заведующий кафедрой «Архитектура зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

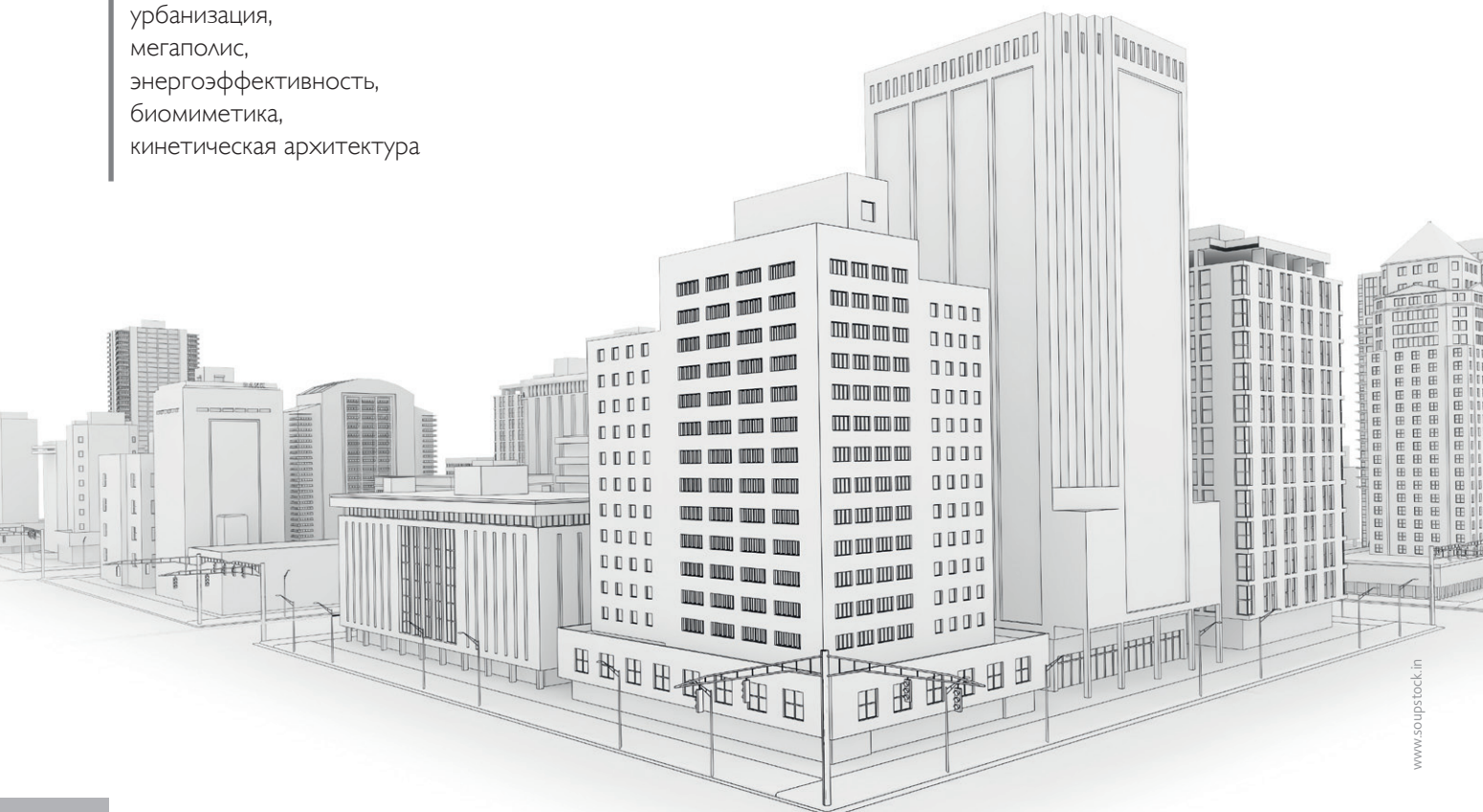
Процесс урбанизации ускоряется, поэтому актуально строительство энергоэффективных, экологически безопасных, комфортных городов. Чтобы более полно и точно подойти к решению данной задачи, выявим парадоксы современного мегаполиса. Их преодоление позволит разработать научно обоснованные подходы и методики, которые помогут создавать энерго-сберегающие экологически устойчивые здания со здоровым микроклиматом.

Сегодня каждый второй человек планеты проживает в городе. По сравнению с 1950 годом число городских жителей выросло примерно в 5,6 раза и достигло почти 4,2 млрд человек. Департамент Организации Объединенных Наций по экономическим и социальным вопросам прогнозирует высокую степень урбанизации. По оценкам ведомства, к 2030 году в мире будет 43 мегаполиса с населением от 10 млн человек, а к 2050 году уже две трети жителей планеты станут горожанами.

Рост городского населения неизбежно приведет к значительному увеличению энергопотребления в городах. Расход топлива на теплоснабжение зданий составляет около 40 % всего добываемого топлива. По-прежнему высока удельная теплопотребность зданий. Запасы органического топлива ограничены, что может уже в ближайшей перспективе создать дефицит энергии [1]. Существенно ухудшается качество урбанизированной среды [2]. Повышение выбросов парниковых газов в атмосферу за счет сжигания топлива формирует так называемый углеродный след и создает риски, связанные

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

урбанизация,
мегаполис,
энергоэффективность,
биомиметика,
кинетическая архитектура



с глобальным потеплением [3]. Повышение температуры городского воздуха может нарушить тепловой баланс человека, что негативно отражается на здоровье [4]. Таким образом, строительство энергоэффективных, экологически безопасных, комфортных мегаполисов, безусловно, актуально.

Особенности современных мегаполисов

При создании современных мегаполисов проявляются характерные черты сегодняшнего времени. Так, чрезмерная стоимость городского земельного участка приводит к формированию высокоплотной застройки (рис. 1). Образующиеся при этом городские каньоны и «человейники» концентрируют потоки энергии – тепловые острова.

Блокирование ветра в городской застройке препятствует охлаждению конвекцией и предотвращает рассеивание загрязняющих веществ. Отработанное тепло от систем кондиционирования воздуха, автомобилей, промышленности и других источников также способствует росту тепловых островов.

Городские здания зачастую имеют сложную форму. Оболочка таких зданий создается из множества разнообразных строительных материалов с различными свойствами. В стенах расположены большие проемы. В городе практически полностью отсутствует зеленая инфраструктура и ограничено применение возобновляемых источников энергии.

Учет этих особенностей приводит к необходимости по-новому взглянуть на проблему энергосбережения. Рассматривая проблему повышения энергоэффективности современного мегаполиса с учетом присущих ему особенностей, неизбежно сталкиваешься с наличием парадоксов. Оскар Уайльд остроумно заметил, что «дорога к истине вымощена парадоксами». Объяснение парадоксов и выраженных в них противоречий позволяет решить проблему энергоэффективности более точно и полно. Рассмотрим некоторые парадоксы, характерные для современного города, и пути их преодоления.

Городской тепловой остров

Первый парадокс связан с образованием городского теплового острова. Известно, что в городе теплее, чем в его окрестностях. Разность температур между городскими и пригородными районами может достигать 5 °С и выше. В результате образуется так называемый городской тепловой остров – область, которая характеризуется повышенными, по сравнению с периферией, температурами воздуха.

Феномен городского острова тепла был известен еще в начале XIX века благодаря работам Люка Говарда, однако приобрел особую актуальность лишь в последние десятилетия в связи с урбанизацией, усугубляющей последствия изменения климата в городах. Изменение теплового, воздушного и влажностного режимов городской среды влияет на качество воздуха и потребление энергии. Рассмотрим причины образования городского теплового острова и стратегии его смягчения.



Рис. 1. Современный жилой микрорайон («человейник») в Санкт-Петербурге

Причины образования городского теплового острова

Одна из главных причин образования городского теплового острова – морфологические особенности застройки. Высокоплотная застройка подобна радиаторам отопления. Увеличение городской поверхности путем «оребрения» земельного участка посредством множества близко расположенных зданий приводит к интенсификации процесса теплообмена с окружающей средой по сравнению с плоской поверхностью. В результате в зимний период вследствие разности температур внутреннего и наружного воздуха увеличиваются тепловые потоки через оболочку здания, что приводит к увеличению температуры воздуха между зданиями. Блокирование тепловых и воздушных потоков зданиями усиливает эффект теплового острова.

Образование городских тепловых островов тесно связано и с воздействием на здания солнечной радиации, что особенно ярко проявляется летом в условиях жаркого климата. Днем темные поверхности фасадов и крыш хорошо поглощают коротковолновое солнечное излучение, являясь своеобразными тепловыми ловушками. Ночью здания блокируют лучистые и конвективные тепловые потоки, препятствуя эффективному охлаждению поверхности городского каньона.

Усугубляет проблему тепловых островов недостаточная площадь озеленения городов. С уменьшением количества растительности город теряет тень, испарительный охлаждающий эффект деревьев и грунтов. Незащищенные от солнца поверхности фасадов зданий, дорог и тротуаров нагреваются до высокой температуры и излучают тепловые волны в сторону пешеходов, что может причинить серьезный ущерб здоровью.

Парадокс заключается в том, что с одной стороны, повышение температуры воздуха в городе в связи с образованием городских тепловых островов способствует некоторому снижению нагрузок на отопление зданий в зимний период, а с другой стороны, летом городской тепловой остров увеличивает нагрузку на охлаждение зданий и не может рассматриваться как положительный эффект.

Стратегии смягчения городского теплового острова

Стратегии смягчения городского теплового острова включают комплекс архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерно-технических мер. Город должен иметь гуманную планировку, исключая образование тепловых ловушек – городских каньонов и «человеинок». Конфигурация здания в плане, ориентация и взаимное расположение строений должны обеспечивать требуемую продолжительность инсоляции, а также надежную защиту от светового и теплового дискомфорта в условиях жаркого климата. Для улучшения городского микроклимата рекомендуется озеленение и обводнение внутриквартальных территорий и скверов в виде газонов, кустарников, выходящих деревьев с густыми широкими кронами, фонтанов. Помещения зданий должны иметь наружную регулирующую солнцезащиту. Для снижения воздействия солнечной радиации на городской микроклимат, строительную оболочку и помещения эффективно применение белых и особенно зеленых крыш [5].

Воздухопроницаемость города

Второй парадокс обусловлен снижением воздухопроницаемости города. Городу нужен свежий воздух. Улучшение аэрации городских районов и кварталов является определяющим фактором повышения качества воздуха и энергоэффективности. Особенно важно решение этой задачи в условиях высокоплотной застройки. Эффективной стратегией становится естественная вентиляция помещений. Она не требует применения дорогостоящего инженерного оборудования, проста и надежна в эксплуатации. Для работы естественной вентиляции необходима разность давлений снаружи и внутри здания. Разность давлений воздуха создается тепловым и ветровым напором. Тепловой напор образуется вследствие разности температур наружного и внутреннего воздуха и мало зависит от городского ландшафта. Ветровой напор образуется на территории застройки и во многом зависит от характеристик городского ландшафта.

Парадокс состоит в том, что повышение этажности улучшает вентиляцию зданий в зимний период, но при высокоплотной застройке, характерной для мегаполисов, ветровой напор существенно уменьшается, а главное, существенно усложняется прогноз воздушного режима территории застройки.

По итогам математического моделирования [6] установлено, что при небольших интервалах между зданиями помехи, вносимые ими в поле давлений воздуха, существенны. Следовательно, высокоплотная прямоугольная застройка имеет низкую сквозную воздухопроницаемость, поэтому аэрация зданий затруднена.

С ростом интервала между зданиями ситуация становится более благоприятной; максимальный эффект отмечается при интервале, равном пятикратной ширине здания. При такой компоновке происходит рост скорости воздушного потока, что приводит к усилению аэрации зданий. Максимальная ее эффективность отмечается при направлении ветра под углом 15° к продольной оси застройки. При дальнейшем повышении интервала между зданиями эффективность аэрации застройки снижается.

Применение шахматной, более плотной, застройки позволяет уменьшить расстояние между зданиями до трехкратной ширины здания, сохранив при этом эффективность аэрации территории.

Форма здания

Третий парадокс связан с усложнением формы здания. Она оказывает значительное влияние как на одновременные расходы, определяемые материалоемкостью оболочки, так и на эксплуатационные энергозатраты. В процессе эксплуатации здание подвергается различным климатическим воздействиям. В условиях холодного климата необходимо максимально сократить тепловые потери через строительную оболочку, уменьшив площадь теплообмена наружной поверхности с внешней средой. В жарком климате требуется свести к минимуму теплопоступления в здание от солнечной радиации. Для снижения неблагоприятных воздействий наружного климата необходимо сокращать площадь поверхности оболочки, возводя компактные здания с эффективным использованием энергии.

Пользуясь показателем компактности, можно выбрать эффективную форму здания. Так, при одних и тех же теплотехнических характеристиках оболочки максимальную эффективность формы будет иметь компактное здание кубической формы. Минимальная эффективность характерна для зданий сложной формы. Зимой они подобны отопительным приборам, обогревающим улицу, а в летний период практически невозможно обеспечить комфортные условия в их помещениях вследствие перегрева.

Парадокс заключается в том, что в мегаполисах до сих пор строятся здания сложной формы, однако они неэффективны с точки зрения экономии энергии. Усложнение формы здания требует более высокого уровня его теплозащиты. Такое здание дороже по сравнению со зданием простой формы.

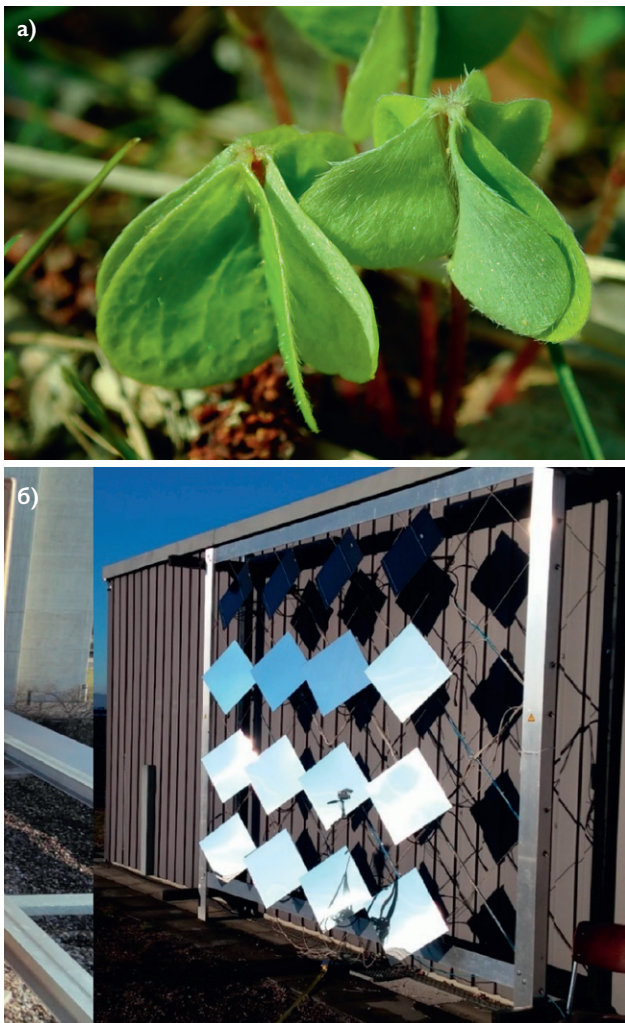


Рис. 2. Биомиметика в архитектуре: а) кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*); б) модель кинетического фасада с применением гелиостатов [12]

Идею «солнечного дома» выдвинул еще Сократ (469–399 до н. э.). Солнечный дом отличался компактностью. В нем максимально использовалось зимнее солнце и полностью исключалось прямое попадание солнечного света с южной стороны летом. Для снижения теплопотерь северная стена дома теплоизолировалась, а в качестве тепловой буферной зоны использовалась кладовая. Идеи Сократа весьма плодотворны. Они оказали большое влияние на современную архитектуру и нашли отражение в пассивном доме, солнечных стенах и солнечных оболочках [7].

Строительная оболочка

Четвертый парадокс вызван усложнением конструктивного решения строительных оболочек современных зданий. В реальных элементах оболочки здания фактически нельзя выделить участок, в пределах которого передача теплоты происходит в одном направлении. Наличие в строительной оболочке краевых зон (углов, оконных откосов, теплопроводных включений, балконных плит) приводит к образованию в ней сложных двух- и трехмерных температурных полей.

Строительный сектор ответственен за значительное потребление энергии и большие объемы выбросов парниковых газов во всем мире. Следовательно, снижение тепловых потерь через оболочку здания, особенно через наружные стены, имеет большое практическое значение.

Парадокс состоит в том, что применение современных материалов с высокими теплоизолирующими свойствами в целом повышает теплозащиту оболочки, но при этом резко возрастает влияние краевых зон.

Наличие краевых зон в оболочке создает риски конденсации влаги и снижения энергоэффективности зданий. Большинство выявленных теплотехнических дефектов (90 %) отмечается в зоне откосов наружных стен, 10 % – на участках наружных стен с теплопроводными включениями. Практически половина обследованных конструкций (51 %) при расчетных условиях подвержена конденсации влаги и образованию плесневых грибов, а 11 % обследованных конструкций имеют сквозное промерзание в узлах.

Таким образом, для повышения энергоэффективности зданий необходимо максимально сократить добавочные тепловые потоки через краевые зоны. Некоторые приемы совершенствования конструктивного решения краевых зон даны в [8]. Наилучшим способом является возведение зданий без краевых зон.

Кинетический фасад

Пятый парадокс тесно связан со сравнительно новым направлением в архитектуре – созданием кинетических фасадов. Традиционный взгляд на город как на систему тысячелетних неизменяемых форм сегодня представляется сомнительным. Возрастает потребность в развитии концепции кинетической архитектуры. В основу кинетической архитектуры положены принципы биомиметики – прикладной науки, вдохновленной природой. Это современный научно обоснованный творческий метод архитектора [9, 10].

Парадокс состоит в том, что применение биомиметических принципов в архитектуре позволяет точно регулировать климатические воздействия на оболочку здания в динамическом режиме, однако эти принципы до сих пор не нашли широкого применения в практике.

Исследование биологических объектов необходимо для поиска наиболее совершенных строительных технологий. Важно понимать механизмы регуляции процессов жизнедеятельности организмов. Один из основных подходов в биомиметике – морфологический, его суть заключается в изучении формы и строения организмов и веществ (животных, растений, почвы). Такой подход отражает современную направленность работ и позволяет обеспечить высокую адаптируемость архитектурного объекта к условиям окружающей среды за счет динамических оболочек, имеющих сложную форму, и новейших композиционных материалов [11].

Интеграция сложной формы и умного материала позволяет создать интеллектуальную, адаптивную, инновационную систему для строительства. Она наиболее хорошо изучена

применительно к процессам терморегуляции и дневного света. Известно, что некоторые теневые растения способны менять положение листовых пластинок при падении на них яркого солнечного света. Например, избегая светового повреждения, оказавшаяся на вырубке кислица складывает листья так, что их доли приобретают вертикальное положение (рис. 2а). Подобно этому фасадные гелиостаты, являющиеся элементами кинетического фасада, следят за солнцем и могут решать различные функциональные задачи: затенять фасад здания, отражать солнечный свет в атмосферу, фокусировать солнечные лучи для генерации тепловой и электрической энергии (рис. 2б).

В соответствии с принципом биомиметики форма как бы следует за окружающей средой, подобно клеточным стенкам растений, обеспечивая при этом возможность в динамике контролировать потоки тепловой энергии и дневного света за счет кинетических фасадов.

В безуглеродном (или малоуглеродном) здании количество потребляемой энергии резко уменьшается за счет выбора наилучшей формы здания, высокоэффективной теплоизоляции оболочки, рекуперации тепловой энергии, естественной вентиляции, солнцезащиты, широкого использования возобновляемых источников энергии, внедрения современных цифровых технологий. В таких зданиях сбалансированное сочетание пассивных и активных стратегий позволяет обеспечить высокий уровень теплового и визуального комфорта при минимальном энергопотреблении в различных климатических условиях.

Преодоление описанных парадоксов позволит разработать научно обоснованные решения энергоэффективных, экологически безопасных, комфортных зданий и городов.

Литература

1. Табунщиков Ю. А. Умные безуглеродные города и здания с нулевым энергопотреблением // АВОК. 2016. № 8. С. 4–8.
2. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Создание безопасной среды обитания человека. Здания больные и здания здоровые // Энергосбережение. 2021. № 1. С. 1–11.

3. Gorshkov A. S., Vatin N. I., Rymkevich P. P. Climate change and the thermal island effect in the million-plus city // Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. No 8902. doi:10.18720/CUBS.89.2.

4. Baranova D., Sovetnikov D., Borodinets A. The extensive analysis of building energy performance across the Baltic Sea region // Science and Technology for the Built Environment. 2018. No. 24(9). Pp. 982–993.

5. Korniyenko S. V. Advantages, limitations and current trends in green roofs development. A review // AlfaBuild. 2021. No. 2002. doi: 10.34910/ALF.20.2.

6. Cheung J. O. P., Liu C.-H. CFD simulations of natural ventilation behavior in high-rise buildings in regular and staggered arrangements at various spacings // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. Pp. 1149–1158.

7. Pfahl A., Coventry J., Röger M., Wolfertstetter F., Vázquez-Arango J. F., Gross F., Arjomandi M., Schwarzbözl P., Geiger M., Liedke P. Progress in heliostat development // Solar Energy. 2017. Vol. 152. Pp. 3–37.

8. Korniyenko S. V. Renovation of residential buildings of the first mass series // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Pp. 022–060.

9. Korniyenko S. Progressive trend in Adaptive Façade System technology. A Review // AlfaBuild. 2021. No. 1902. doi: 10.34910/ALF.19.2.

10. Корниенко С. В. Биомиметика: идеи, вдохновленные природой // Социология города. 2021. № 4. С. 27–38.

11. Столяров О. Н., Горшков А. С. Применение высокопрочных текстильных материалов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 4 (6). С. 21–25. doi: 10.18720/MCE.6.3.

12. Powell D., Hischer I., Jayathissa P., Svetozarevic B., Schlüter A. A reflective adaptive solar façade for multi-building energy and comfort management // Energy and Buildings. 2018. Vol. 177. Pp. 303–315. ■

Книги АВОК – загрузи и читай!

Теперь наши книги можно купить и в электронном виде

- заходите на сайт www.abokbook.ru
- ищите значок pdf 
- загружайте на свои компьютеры, планшеты, телефоны

Преимущества электронного формата:

- быстрое получение
- дружелюбный интерфейс
- удобный поиск
- возможность печати

www.abokbook.ru

Системные требования – любое цифровое устройство с установленной программой AdobeReader.

