

# Солнечный свет как организующий фактор формирования динамической архитектуры

Н.А. САПРЫКИНА

Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва  
E-mail: nas@markhi.ru

## Аннотация

Рассмотрены примеры использования солнечного (естественного) света как фактора формирования динамической (кинетической) архитектуры, свидетельствующие о широте приёмов его использования и соответствующих технологий. Отмечено, что кинетическая направленность проявляется во многих проектных предложениях в связи с использованием естественного освещения, как при вращении зданий, так и при видоизменении формы самих архитектурных объектов или их фасадных конструкций в процессе изменения режима потребления естественного света. Установлено, что появление в последнее время новых оригинальных решений с использованием кинетических приёмов, основанных на эффектах, связанных с естественным освещением, свидетельствует о переосмыслении подходов к формированию фасадов зданий. Раскрывается актуальность использования современных цифровых технологий и инноваций будущего при сборе и регулировании количества естественного света (в частности, применения сложной интегрированной экологической системы втоматизированного контроля и самоуправления), что служит повышению комфорта, экономии затрат и энергоресурсов.

**Ключевые слова:** солнечный свет в архитектуре, динамическая архитектура, следящее за Солнцем здание, кинетические конструктивные системы, «солнечные» цифровые технологии.

Солнечный (естественный) свет — один из инструментов, формирующих пространственную организацию архитектурных объектов, относительные размеры и пространственные измерения которых можно определять только при наличии освещения. Свет в архитектуре, помимо своей осветительной функции, — вечный материал, который всегда современен. В проект-

ной практике и теоретических разработках началось использование цифровых светотехнологий в качестве выразительных средств архитектуры крупных мегаполисов<sup>1</sup>. В последнее время проектировщики, углубляясь в компьютерное моделирование архитектурного освещения, совершенно не принимают во внимание и не учитывают роль естественного света, как важной составляющей создания формы и облика здания.

В контексте появления новых тенденций в формировании пространства обитания, а также для понимания путей развития нынешней и будущей архитектуры приобретает значение роль солнечного света как организующего фактора формирования архитектурных объектов при совершенно новом подходе. Это связано с тем, что критерием качества здания всегда считалась его устойчивость к воздействию вре-

мени и окружающей среды, т.е. долговечность. Но это качество может реализовываться не за счёт стабильности, а благодаря изменчивости как главного принципа построения архитектурного объекта. В связи с этим одним из основных направлений в практике проектирования является разработка гибких трансформируемых изменяемых объёмно-планировочных и кинетических конструктивных систем [1]. В этом процессе большая роль отводится сбору и регулированию количества естественного света для создания комфортной среды обитания.

Современные технологии позволяют создавать архитектурные объекты, которые включают в себя подвижные фасадные системы для автоматического регулирования освещения, температуры, влажности и других компонентов создания комфортного климата внутреннего пространства. Стремительно развивающиеся технологии позволяют продвигаться дальше и создавать здания не просто функциональными, но и саморегулируемыми, динамически изменяемыми и являющимися аналогами природного мира, например, как подсолнух, поворачивающийся за Солнцем. При их создании преобладает функционально-технологический подход.

<sup>1</sup> Таких как медиафасады со встроенными в архитектурный облик здания экранами огромных размеров, 3D- видео-мэппинг-технология, позволяющая проецировать статичные и динамичные видеоизображения на разные поверхности, в том числе на фасады зданий, и даже голография, которая позволяет получать объёмные изображения предметов. Среди методов архитектурного освещения применяются общее заливающее, контурное и локальное освещение, световые фасады и фоновая заливка.

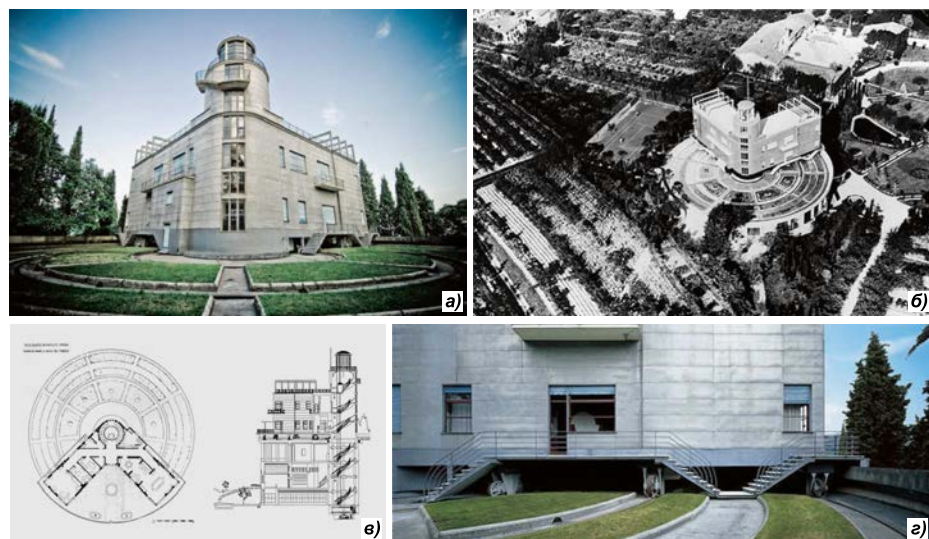


Рис. 1. Вилла «Джирасоле»: а — фасад; б — общий вид; в — план и разрез; г — фрагмент фасада. URL: <http://mixstuff.ru/archives/43807>

Иллюстрация этой идеи – первый образец динамической (кинетической) архитектуры – вилла «Джирасоле» (*Girasole* – итал. «Подсолнух»). Это здание спроектировано и построено архитектором Анджело Инверници между 1929 и 1935 годами недалеко от Вероны (Италия). Двухэтажное здание стоит на круглом основании диаметром 44 м, снабжённом двумя дизельными двигателями, позволяющими вилле следовать по ходу движения Солнца с максимальной скоростью 4 мм/с (рис. 1). «Джирасоле» – это огромный механизм, который вращается вокруг центрального пилона и оборудован жалюзи с электронным управлением [2].

Концепция здания, следящего за Солнцем, находит своё воплощение во многих проектных предложениях, патентных разработках и построенных объектах, которые стали самыми первыми в истории зданиями, вырабатывающими энергии больше, чем они потребляют. Так, например, поворачивающийся дом архитектора Ричарда Т. Фостера в Коннектикуте (США), спроектированный при содействии Филипа Джонсона в 1967 году, очертаниями больше напоминает летающую тарелку, чем жилой дом (высота здания – 3,65 м, а диаметр – почти 22 м)<sup>2</sup>.

Значительно позже построенный защитником экологии архитектором Рольфом Дишем в Фрайбург-в-Брайсгау, Германия (1994), гелиотропный поворачивающийся дом, работающий на солнечной энергии, зимой обращается фасадом к Солнцу, обогревая весь дом, а летом, наоборот, отворачивается от него, обеспечивая хорошую теплоизоляцию (рис. 2). Конструкция экологически чистого здания оснащена солнечно-тепловыми балконными перилами, геотермальным теплообменником, двухосевыми солнечными фотоэлектрическими панелями и ТЭС (комбинированное производство электрической и тепловой энергии) [3].

Первый в мире 50-метровый поворачивающийся жилой дом «Люкс Воллара» (*Suite Vollard*) спроектирован архитектором Бруно де Франко между 1995 и 2001 годами и сдан под ключ в середине декабря 2004 года,



Рис. 2. Гелиотропный поворачивающийся дом: а – общий вид ночью с южной стороны зимой; б – общий вид днём с северной стороны летом. URL: <http://mixstuff.ru/archives/43807>



Рис. 3. Поворачивающийся жилой дом «Люкс Воллара»: а – общие виды; б – план этажа. URL: <http://geographyofrussia.com/krutuyashhiesyavkvartiry-v-bashne-suite-vollard/>

в городке Куритиба, Бразилия, (рис. 3). Поворачивающийся дом возведён из виниловых и металлических конструкций на металлической подвижной основе, установленной на опорах. Центральная часть статична, в ней расположены кухня, прачечная и санузел, пункт управления с дистанционным пультом, регулирующим направление и скорость вращения, а также свет и систему кондиционирования с помощью голосовых команд. Водопроводные трубы и электрические провода установлены с возможностью менять длину в зависимости от угла поворота (автоматически удлиняются или укорачиваются подобно пожарному шлангу, намотанному на вал). Каждая отдельная квартира,

оснащённая большими окнами из нескольких стёкол разного оттенка, вращается индивидуально, делая полный оборот в течение часа. Солнечный свет, проникая через 3-миллиметровые стекла, окрашивает каждый сектор соответствующим цветом, создавая определённый облик [4].

В практике проектирования и строительства существует много примеров следящих (поворачивающихся) за Солнцем жилых домов различной этажности и размеров в разных странах, как, например:

- поворачивающийся двухэтажный дом «Вокруг света», в Грин Гейблс на острове Принца Эдуарда (Канада), площадью 464 м<sup>2</sup> (рис. 4, а);
- уникальный поворачивающийся дом, принадлежащий Алу и Джанет Джонстон, в Ла Месе (Калифорния, США), площадью 492 м<sup>2</sup> (рис. 4, б);

<sup>2</sup> Дом полностью отремонтирован в 2005 году. URL: [http://architectuul.com/architecture/view\\_image/the-round-house/4845](http://architectuul.com/architecture/view_image/the-round-house/4845).





Рис. 4. Примеры домов, следящих (поворачивающихся) за Солнцем: а – двухэтажный дом «Вокруг света»; б – дом в Ла Месе (Калифорния, США); в – поворачивающийся дом «Эверингем»; г – купольный экодом («Dome House»)

- поворачивающийся дом «Эверингем» («*Everingham*»), построенный в 2006 году Люком Эверингемом для своей семьи (Новый Южный Уэльс, Австралия) из стекла и стали. Здание представляет в плане восьмиугольник с диаметром описанной окружности 24 м и имеет электродвигатель, благодаря которому может совершать полный поворот вокруг своей оси за 30–120 мин (рис. 4, в) [4];

- поворачивающийся купольный экодом («*Dome House*») с автономным экологически безопасным электропитанием, выполненный компанией *Domespace Homes* из природных материалов. Он стоит на механической платформе, которая может поворачиваться на 360°. Сводчатая конструкция и продуманный Патриком Марсилли (*Patrick Marsilli*) интерьер обеспечивают максимальное исполь-

зование естественного света (рис. 4, г) [5].

Значимость солнечного (естественного) света как фактора формирования динамической архитектуры проявляется не только при поворачивании зданий, но и – видоизменении формы самих архитектурных объектов или их фасадных конструкций в процессе изменения режима его потребления:

- Одна из самых интересных концепций строительства кинетических зданий, бросивших вызов статике созданием изменяемой формы в целях удовлетворения требований пользователей – проект «*Kinetower*» (архитекторы *Barbara van Biervliet* и *Xaveer Claerhout*). Наружные элементы окон этого объекта реагируют на интенсивность солнечного света или на сигналы управления пользователя так

же, как цветы на восход солнца – распускаясь, придавая фасаду здания мягкие линии и совершенно другой внешний вид [6]. Данное превращение стало возможным благодаря использованию материала жёсткого в обычном состоянии, но способного сгибаться под действием высокой температуры (рис. 5).

- Другим примером служит голландский проект «Экологически рациональное жильё – 2020» («*Sustainable Habitat 2020*»): здание, обтянутое бионической «кожей» и снабжённое цветками-концентраторами, поворачивающимися за Солнцем и собирающими дождевую воду для технических нужд. Здание уникально своим специальным материалом, напоминающим биокожу или мембрану клетки (рис. 6). Стены здания покрыты отверстиями со встроенными солнечными батареями, которые при солнечной погоде, словно бутоны, раскрываются, и через них в помещения поступают естественный свет и воздух, а при пасмурной погоде закрываются [7]. Окон на фасадах здания нет, однако при желании одним нажатием кнопки окно любой формы можно сконструировать самостоятельно, поскольку стенные блоки покрыты прозрачным светопоглощающим слоем, управляемым электроникой. Источником водоснабжения дома служит дождевая вода, которая попадает в мембраны, а затем проходит через фильтры очистки. В стены здания предполагается встроить небольшие реакторы, вырабатывающие биогаз из органических отходов.

- Не менее эксцентричен проект «Живые окна» («*Animated Apertures*») в Лиме (Перу). В доме окно – это не плоская застеклённая поверхность,



Рис. 5 – Проект «*Kinetower*»: а – общий вид в стационарном и трансформируемом состояниях; б – фрагмент фасада в процессе реакции оконных конструкций на интенсивность солнечного света. URL: <http://www.chaoslend.ru/node/1651>



а трёхмерный объект, который инсталлирован в массу здания и по аналогии с диафрагмами объектива имеет конструктивные элементы, регулирующие количество проходящего через него света. Оконные отверстия обладают направленной геометрией и связаны с определёнными точками в городском контексте (землёй, небом, горизонтом, достопримечательностями), а также служат переходным пространственным элементом между интерьером и фасадом (рис. 7). По мнению авторов, они обладают потенциалом, способным кардинально изменить пространственное восприятие каждого жилого помещения, а также внешний вид всего здания в сравнении с окружающей застройкой [8]. Проект «Живые окна» родился как исследовательский дизайн-проект, целью которого было переосмыслить «ДНК» окон с точки зрения их функционального назначения, конструктивных элементов, внешнего вида и применения этих знаний к типологии многоэтажного жилья, расширив границы архитектуры и городского дизайна.

• Известным примером динамического изменения формы архитектурных объектов в связи с использованием солнечного света также является павильон Квадраччи Музея искусств Милуоки (США), «добавленный» в 2001 году Сантьяго Калатравой (*Santiago Calatrava*), в работах которого нельзя не заметить его особого отношения к свету<sup>3</sup>. Павильон выполнен со своеобразной подвижной конструкцией-крыльями на крыше, названной «Солнечный бриз», которая раскрывается в солнечную погоду и складывается в пасмурную, или просто ночью (размах крыльев – 66 м)<sup>4</sup>.

В архитектурной практике также появляется много новых решений, способствующих обновлению подходов к формированию фасадов зданий с использованием кинетических приёмов, основанных на эффектах, связанных с естественным освещением:

• Так, ещё в начале 80-х Жан Нувель (*Jean Nouvel*) в сотрудничестве с компанией *Architecture-Studio* выиграл конкурс на проект здания



Рис. 6. «Экологически рациональное жильё – 2020».  
URL: <http://reality.newsru.com/article/11sep2008/bioskin>



Рис. 7. Проект «Живые окна»: а – общий вид; б – разрез.  
URL: <http://green-buildings.ru/ru/dom-s-resnichkami>

Института арабского мира (Париж, Франция), которое после окончания строительства в 1987 году стало популярным местом, как у местных жителей, так и у туристов. Это связано с тем, что южная стена здания закрыта множеством своеобразных титановых диафрагм (240 алюминиевых

квадратных панелей, выполненных в арабском стиле), которые в зависимости от интенсивности солнечного света сужаются или расширяются, тем самым регулируя уровень освещения помещений<sup>5</sup>. В них встроены фотоэлементы, измеряющие уровень естественного освещения в помещени-

<sup>3</sup> С. Калатрава как-то сказал: «Свет – это комфорт в самом широком смысле этого слова, и вместе с пространством свет – это ключ к будущему архитектуры». URL: <http://www.procbet.ru/article.asp-articleid=55.htm>.

<sup>4</sup> URL: <http://www.liveinternet.ru/users/4099413/post185810584/>.

<sup>5</sup> URL: <http://www.arhinovosti.ru/2011/10/22/institut-arabskogo-mira-ot-zhana-nuvelya-jean-nouvel-parizh-franciya/>.



Рис. 8 – Кинетический фасад «Вертикальное озеро»: а – общий вид; б – фрагмент фасада.  
URL: <http://www.lookatme.ru/flow/posts/architecture-radar/110075-kineticheskii-fasad>

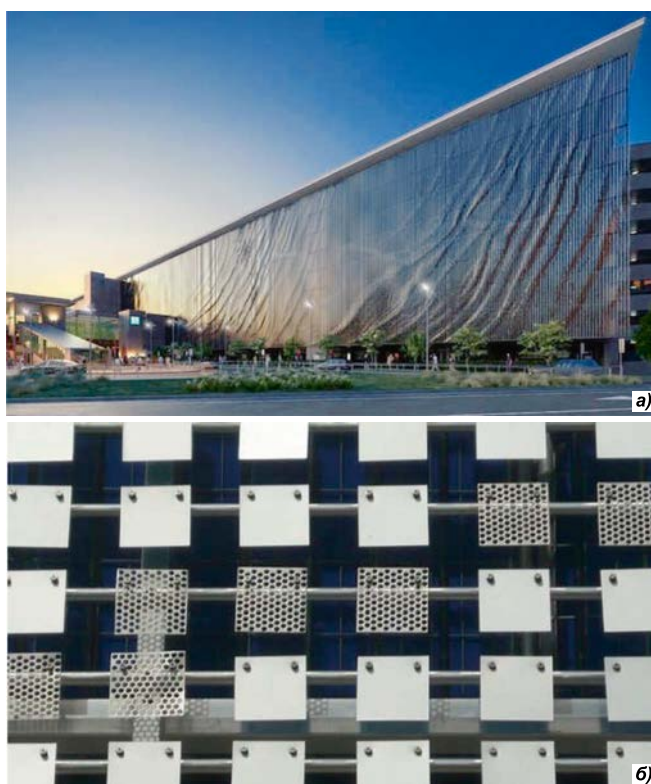


Рис. 9. Треугольный в плане кампус Университета Южной Дании.  
URL: [http://stroyka.uz/publish/doc/text116422\\_kineticheskaya\\_arhitektura\\_fasad](http://stroyka.uz/publish/doc/text116422_kineticheskaya_arhitektura_fasad); <http://stofasadov.ru/novosti/universitet-v-danii.html>



ях и участвующие в поддержании его постоянства<sup>6</sup>.

• В кинетическом фасаде в Брисбене (Австралия) все эффекты достигаются с помощью ветра и солнца (рис. 8). Идея выдвинута и воплощается Международной дизайн-студией *Urban Art Projects (UAP)* совместно с художником Нед Каном (*Ned Kahn*) и проектной группой *Brisbane Airport Corporation (BAC)*. Концепт получил название «Вертикальное озеро»

<sup>6</sup> Подробнее: URL: <http://www.nice-places.com/articles/europe/paris/121.htm>.

(«*Vertical Lake*») и представляет собой ежесекундно меняющий рельеф вертикальный массив, состоящий из 250 тысяч алюминиевых панелей, общей площадью 5000 м<sup>2</sup>, закрывающих здание автостоянки высотой в восемь этажей. Целью авторов кинетического фасада было решение нескольких задач: во-первых, чтобы потоки воздуха меняли угол наклона каждого элемента при малейшем дуновении ветра, вызывая ощущение водной глади; во-вторых, чтобы внутри автостоянки, когда солнечный свет проходит через алюминиевые панели, интерьер

ер наполнялся игрой света и тени; в третьих, чтобы такое решение фасада обеспечивало вентиляцию, проветривание и удаление излишней инсоляции автостоянки [9].

• Другим примером, использующим современные прогрессивные технологии и инновации будущего – сложную интегрированную экологическую систему автоматизированного контроля и самоуправления, служащую повышению комфорта, экономии затрат и энергоресурсов – является кампус Университета Южной Дании (Кольдинг, Дания), с «умным» фасадом. Особенностью здания, спроектированного архитектурным бюро *Henning Larsen Architects*, стала необычная треугольная форма плана и элементов подвижного кинетического фасада, реагирующего на изменения температуры и солнечного освещения (рис. 9). На фасаде здания установлено более 1500 треугольных элементов – мобильных солнцезащитных панелей. Вмонтированные в них сенсорные датчики отслеживают уровни температуры и естественного освещения. Сенсорные приборы соединены с системой мобильных панелей, которые меняют положение, полностью закрывая, открывая или приоткрывая окна, что позволяет избежать перегрева внутри здания [10].

• Использование цифровых технологий позволила Кристоферу Баудеру и Кристиану Перстилу создать фасад-мембрану «*FLARE*», реализованный и представленный берлинской компанией *WHITEvoid interactive art & design* в 2008 году на выставке искусства и технологий «*NEXT*» в Орхусе (Дания), который являет собой пневматическую фасадную систему, управляемую с помощью компьютера (рис. 10). Сама система состоит из поворотных металлических элементов, образующих при разном наклоне игру объёмов на плоскости фасада (поверхности модуля гладкие и блестящие, что позволяет «отражать в них окружающую среду»). При солнечной погоде, компьютерная система запускает пневматические элементы, и фасад становится «тёмным», не пропускающим лишние солнечные лучи. Сенсоры внутри и снаружи здания фиксируют изменения погоды и освещённости, при этом образ фасада меняется вместе с ними [11].

• Сегодня реализован целый ряд динамически изменяемых адаптив-

ных архитектурных объектов. Кинематические фасады становятся одним из самых популярных направлений в современных архитектурных разработках. Австрийская архитектурная студия *Ernst Giselbrecht + Partner* разработала и осуществила инновационный проект здания офиса для отечественной компании *Kiefer Technic Architecture Showroom* (Штирия, Австрия) (рис 11). В офисное пространство входят и выставочные площади. Электроприводные фасадные панели находятся в постоянном движении и подстраиваются под нужды деятельности офиса, регулируя солнечное освещение помещений. Архитектура оживает, превращаясь в динамичный скульптурный объект [12].

Рассматривая кинематические приёмы использования естественного света при формировании объектов динамической архитектуры, необходимо отметить, что естественный свет как главный компонент существования человека и необычайно мощный инструмент архитектора привлекает исследователей и проектировщиков также в статических решениях — от «ловушек» естественного света для изменения восприятия пространства в течение суток и по мере смены сезонов [13] до создания искусственного солнечного света для имитации реалистичного естественного освещения в закрытых пространствах — безоконных помещениях, музеях, на станциях метро<sup>7</sup> — или «управления» естественным светом. Разрабатывая проекты с участием естественного света, специалисты используют самые передовые технологии — фотометрическое моделирование и имитацию солнечного излучения.

• Одним из примеров использования моделирования в «управлении» естественным светом может служить система естественного освещения для Музея искусств «Хай» (*High Museum of Art*), Атланта (США), построенного по проекту архитектора Ренцо Пьяно (*Renzo Piano*)<sup>8</sup>. Перекрытия выставочных залов снабжены так называемыми «световыми ложечками», а чтобы найти нужную, ковшеобразную форму световых люков, которые «собирают»

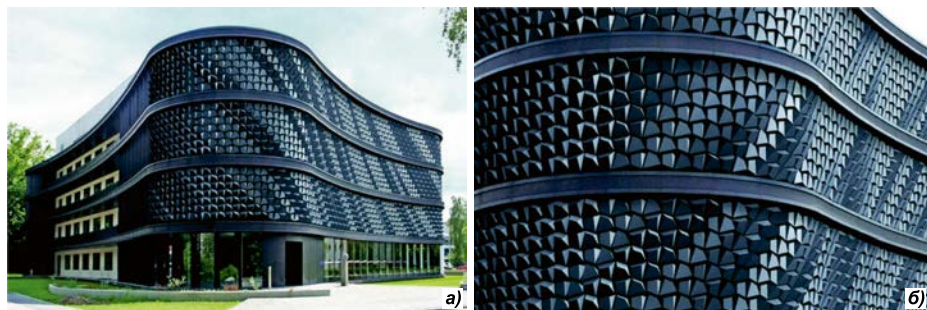


Рис. 10. Фасад-мембрана «FLARE»: а – общий вид; б – фрагмент фасада. URL: <http://www.archplatforma.ru/?act=1&catg=48&nwid=100>

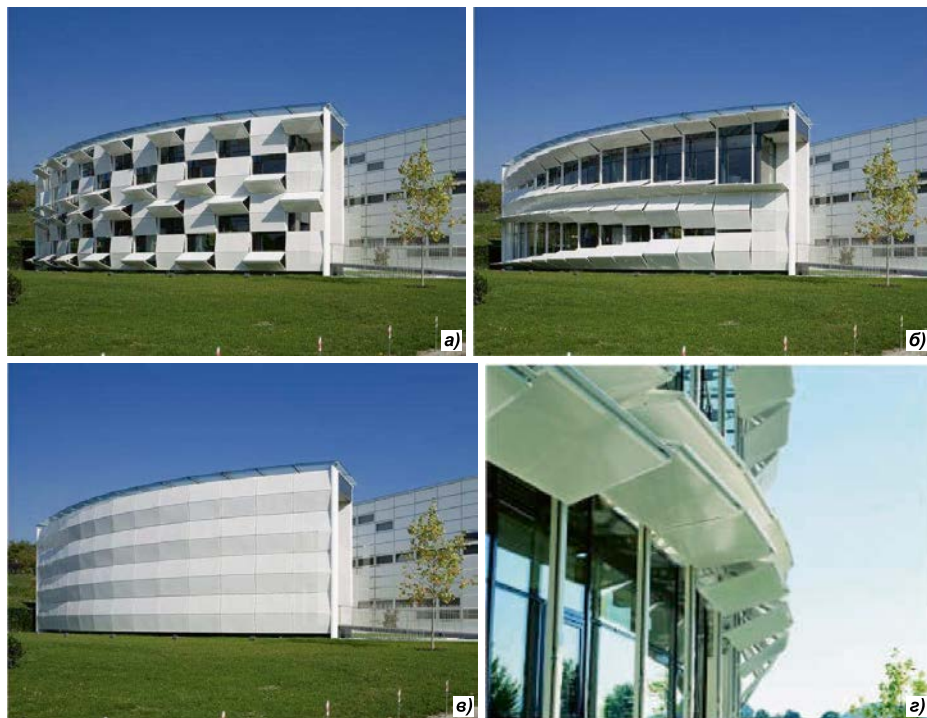


Рис. 11. Офисное здание компании *Kiefer Technic Architecture Showroom*: а, б и в – варианты трансформации фасада; г – фрагмент фасада при трансформации (вариант «б»). URL: <http://ostmetal.info/kineticheskaya-arhitektura-metall-v-dvizhenii-budushhego/>

рассеянный свет на северной стороне здания и блокируют прямые солнечные лучи на южной стороне, группа специалистов провела множество экспериментов. В 2006 году этот проект получил две награды Международной ассоциации светодизайнеров (*IALD*).

• Здесь также можно отметить и проект четвёртого терминала главного мадридского аэропорта «Барajas» им. Адольфо Суареса, который был выигран по конкурсу, в 1997 году, британской архитектурной студией Ричарда Роджерса и местным бюро *Estudio Lamela*, а также испан-

ской и британской инжиниринговыми компаниями *Initec* и *TPS*. Наряду с широкими выступами крыши и дополнительными стальными элементами, которые защищают стены от перегрева в жаркие летние месяцы, округлые отверстия в перекрытиях позволяют естественному свету проникать вглубь здания благодаря специальным «каньонам», разрезающим три надземных пассажирских (существуют ещё и три подземных грузовых) уровня терминала. Вместе с тем они никак не влияют на температуру внутри постройки<sup>9</sup>.

Рассмотренные примеры использования солнечного (естественного)

<sup>7</sup> Дизайнер разработал искусственный солнечный свет «*Coelux*». URL: <http://www.sveto-tehnika.ru/ru/businessnews-3/pages/business/coelux>.

<sup>8</sup> *Рохир ван дер Хейде*. Непревзойдённый свет. Статические системы дневного света в архитектуре и световом дизайне // *PROCBET*. — 2008. — № 3(4). URL: <http://www.procbet.ru/article.asp-articleid=55.htm>.

<sup>9</sup> <http://ispaniagid.ru/aeropuerto-de-madrid-barajas-glavnyiy-mezhdunarodnyiy-aeroport-ispanii/>.



света как фактора формирования динамической архитектуры свидетельствуют о широте приёмов его использования и соответствующих технологий. Особенно ярко выраженная кинетическая направленность проявляется во многих проектных предложениях в связи с использованием естественного освещения, как при вращении зданий, так и при видоизменении формы самих архитектурных объектов или их фасадных конструкций в процессе изменения режима потребления естественного света. Кроме того, появление в последнее время новых оригинальных решений с использованием кинетических приёмов, основанных на эффектах, связанных с естественным освещением свидетельствует о переосмыслении подходов к формированию фасадов зданий. Этому способствует использование современных прогрессивных технологий и инноваций будущего, в частности, сложной интегрированной экологической системы автоматизированного контроля и самоуправления, служащей повышению комфорта, экономии затрат и энерго-ресурсов, а также «солнечных» цифровых технологий.

Представленные прецеденты использования естественного света как важного фактора формирования кинетических объектов возникли благодаря активно развивающимся отраслям инженерии, механики, физики, химии и другим областям знаний. В данном случае архитектура стремится совершенствоваться и расширять свою сферу влияния и как целостная наука утрачивает чёткость своих границ, пройдя через разделение задач проектирования на отдельные специальности. Динамическая (кинетическая) архитектура с использованием возможностей естественного света, являясь одним из самых новых и интересных направлений архитектуры будущего, позволяет не просто выполнять свои прямые функциональные задачи, но шагать в ногу с современным человеком и его потребностями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаренко Л.А., Чернец В.С., Лесная О.И., Кононенко А.Ю. Роль освещения в динамической архитектуре современного города // Светлотехника та електроенергетика. – 2013. – № 3–4. –

С. 4–10. URL: <http://lepe.kname.edu.ua/index.php/lepe/article/view/260> (дата обращения: 11.09.2016).

2. Малеин М. Архитектура движения / Лекция, ноябрь 2015, в Культурном центре ЗИЛ, Москва. URL: [http://www.architime.ru/video/kinetic\\_architecture.htm](http://www.architime.ru/video/kinetic_architecture.htm) (дата обращения: 11.08.2016).

3. URL: <http://idoorway.mirtesen.ru/blog/43166730751/10-domov>, – brosayuschih-vyizov-gravitatsii (дата обращения: 10.07.2016), <http://geographyofrussia.com/krutiyashhiesya-kvartiry-v-bashne-suite-vol-lard/> (дата обращения: 15.07.2016).

4. URL: <http://mixstuff.ru/archives/43807> (дата обращения: 14.07.2016).

5. URL: <http://ecology.md/page/eko-arhitektura-dom-kupol-sledjashhij-za> (дата обращения: 14.09.2016).

6. URL: <http://www.chaoslend.ru/node/1651> (дата обращения: 15.09.2016).

7. URL: <http://realty.newsru.com/article/11sep2008/bioskin> (дата обращения: 15.08.2016).

8. URL: <http://green-buildings.ru/ru/dom-s-resnichkami> (дата обращения: 15.08.2016).

9. URL: <http://www.lookatme.ru/flow/posts/arcitecture-radar/110075-kineticheskij-fasad> (дата обращения: 25.08.2016).

10. URL: [http://stroyka.uz/publish/doc/text/116422\\_kineticheskaya\\_arhitektura\\_fasad](http://stroyka.uz/publish/doc/text/116422_kineticheskaya_arhitektura_fasad) (дата обращения: 15.08.2016).

11. URL: <http://www.archplatforma.ru/?act=1&catg=48&nwid=100> (дата обращения: 15.08.2016).

12. URL: <http://ostmetal.info/kineticheskaya-arhitektura-metall-v-dvizhenii-budushhego/> (дата обращения: 25.08.2016).

13. Нарбони Р., Николас В. Ловушка света в вестибюле башни «Egho» в квартале Дефанс (Париж) // Светотехника. – 2014. – № 4. – С. 70–72. URL: <http://www.sveto-tehnika.ru/fullarticles/pages/fullarticles/eqho> (дата обращения: 25.09.2016).



**Сапрыкина Наталья Алексеевна**, доктор архитектуры, профессор. Окончила в 1970 г. МАРХИ. Зав. кафедрой «основы архитектурного проектирования» МАРХИ

(ГА). Заслуженный архитектор РФ. Почётный член РААСН и член Московского союза архитекторов

## Модуляционное легирование улучшает лазеры поверхностного излучения с вертикальными объёмными резонаторами на основе GaN

В лазерах поверхностного излучения с вертикальным объёмным резонатором (VCSEL) обычно применяются распределённые брэгговские отражатели, обеспечивающие требуемое отражение резонатора, которое позволяет прибору генерировать когерентное излучение. Эти отражатели представляют собой чередующиеся слои материалов с разными показателями преломления, что обеспечивает очень высокий коэффициент отражения.

Внутрирезонаторные контакты могут способствовать улучшению плохой проводимости VCSEL на основе GaN, однако этот подход приводит к увеличению размеров резонатора и, как следствие, к ухудшению волнового оптического эффекта, усложнению процесса изготовления, большой пороговой плотности тока и низкой эффективности преобразования энергии.

Низкая проводимость структуры распределённых брэгговских отражателей обусловлена поляризационными зарядами между слоями разных материалов (AlInN и GaN). Для преодоления воздействия поляризационных зарядов группа японских исследователей из Университета Мэйджи и Университета Нагойи [Norikatsu Koide et al. Room-temperature continuous-wave operation of GaN-based vertical-cavity surface-emitting lasers with n-type conducting AlInN/GaN distributed Bragg reflectors // Applied Physics Express. – 2016. – Vol. 9. – P. 102101] использовала легированные кремнием нитриды и применила «модуляционное легирование» к слоям структуры. В результате увеличенная концентрация кремниевой легирующей добавки на границе позволяет нейтрализовать влияние поляризации.

Кроме того, японские исследователи разработали способ ускорения выращивания AlInN до более чем 0,5 мкм/ч. В итоге был получен VCSEL на основе GaN с AlInN/GaN-распределённым брэгговским отражателем с *n*-проводимостью, максимальным коэффициентом отражения > 99,9 %, пороговым током 2,6 мА, которому соответствует пороговая плотность тока 5,2 кА/см<sup>2</sup>, и рабочим напряжением 4,7 В.

Ожидается, что такие VCSEL найдут применение, например, в устройствах сканирования сетчатки глаза, адаптивных фарах автомобилей, и высокоскоростных системах передачи данных видимым светом.

[www.compoundsemiconductor.net](http://www.compoundsemiconductor.net)  
11.11.2016