

Роль фасадных систем в борьбе за энергоэффективность

Е. М. Генералова, канд. архитектуры, профессор кафедры архитектура жилых и общественных зданий, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», generalova-a@yandex.ru

В статье поднимаются актуальные вопросы, связанные с созданием в России основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Методология исследования базируется на системном анализе передового мирового опыта строительства инновационных климатически адаптивных зданий. Дается характеристика основных принципов биоклиматической архитектуры. Затрагиваются вопросы оптимизации формы зданий и применения высокотехнологичных фасадных систем в комплексе с внедрением возобновляемых источников энергии.



Неэффективное использование энергетических ресурсов является предметом общей озабоченности всего человечества и одной из самых серьезных проблем XXI века [9, 12, 13]. В связи с этим термин «энергоэффективность» имеет растущую популярность, при этом его употребление в контексте энергоэффективной архитектуры требует более внимательного отношения к отбору критериев, по которым здание признается энергоэффективным. В настоящее время, в соответствии с наиболее распространенным определением, энергоэффективность трактуется как рациональное использование энергетических ресурсов, при котором для обеспечения того

же уровня энергетического снабжения зданий или технологических процессов на производстве затрачивается меньшее количество энергии.

По совокупному объему энергопотребления в мире лидируют США и Китай, Россия занимает третье место. Борьба за энергосбережение в Российской Федерации началась в 2000-х годах, однако и на сегодняшний день неэффективное использование энергии в России остается серьезной проблемой. По объемам энергопотребления в стране на первом месте находится обрабатывающая промышленность, затем следует жилищный сектор. Отмечается крайне недостаточное использование при проектировании и строительстве зданий нетрадиционных и вторичных источников энергии, а также отсутствие отечественных разработок в области климатической адаптации зданий. Еще недавно энергопотребление зданий не было определяющим показателем качества проекта, на сегодняшний день это доминирующий критерий для выбора методики проектирования теплозащиты наружных ограждающих конструкций.

Необходимость экономии энергоресурсов в условиях формирования комфортной жилой среды, отвечающей требованиям энергоэффективности и экологичности, объявлена одной из приоритетных государственных задач. Была озвучена стратегическая цель, поставленная в 2008 году, – сократить к 2020 году энергоемкость отечественной экономики на 40 % от уровня 2007 года. О серьезности намерений свидетельствует формирующаяся в России законодательная база по созданию правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Среди ключевых документов можно назвать следующие.

1. Федеральный закон № 261-ФЗ (от 23.11.2009, ред. от 03.07.2016) «Об энергосбережении, и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (от 27.12.2010 № 2446-р), в настоящее время входящая как подпрограмма «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» в государственную программу «Энергоэффективность и развитие энергетики», утвержденную Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 321.
3. Подпрограмма «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в жилищном фонде», в рамках которой предусмотрен комплекс мероприятий по выведению из эксплуатации старых неэффективных систем. Упор сделан на внедрение инновационных и прогрессивных технологий во всех отраслях российской экономики и социальной сфере в процессе нового строительства и модернизации существующего фонда. Предполагается реализация целого ряда типовых проектов: «Энергоэффективный город», «Энергоэффективный квартал», «Энергоэффективный дом».
4. Федеральная целевая программа «Жилище» на 2015–2020 годы. Среди целевых показателей программы – формирование рынка доступного жилья эконом-класса, отвечающего требованиям энергоэффективности и экологичности.

5. Федеральный закон «О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства» (от 21.07.2007). Созданный Фонд ЖКХ был призван стимулировать формирование эффективных механизмов управления жилищным фондом и внедрения ресурсосберегающих технологий.

На последнем документе, а вернее, на результатах деятельности Фонда ЖКХ хотелось бы остановиться подробнее. С участием средств данной организации осуществляются проектирование, строительство и эксплуатация энергоэффективных зданий, относящихся к категории переселенческого фонда для предоставления гражданам, проживающим в аварийном жилье. По данным информационного ресурса Фонда, в эти дома внедряются современные энергоэффективные технологии, позволяющие в значительной степени сократить потребление энергоресурсов и уменьшить размер коммунальных платежей. Интерес для анализа представляет «Сводная таблица энергоэффективных домов, принятых в эксплуатацию, находящихся в стадии строительства или проектирования (по федеральным округам)» [15]. За десять лет построено всего 154 здания, все объекты относятся к жилым зданиям средней этажности, с максимальной вместимостью 103 квартиры. К сожалению, нет возможности проследить перспективы реализации данного направления деятельности Фонда, так как по данным таблицы на сегодняшний день в стадии строительства нет ни одного объекта.

Сводная таблица энергоэффективных домов, принятых в эксплуатацию, находящихся в стадии строительства или проектирования (по федеральным округам)

Округа/ Статус домов	Построено	В стадии строительства
Центральный федеральный округ	13	0
Южный федеральный округ	3	0
Дальневосточный федеральный округ	12	0
Сибирский федеральный округ	17	0
Приволжский федеральный округ	4	0
Северо-Кавказский федеральный округ	24	0
Уральский федеральный округ	16	0
Северо-Западный федеральный округ	65	0
ВСЕГО в Российской Федерации	154	0

Остановимся на некоторых реализованных проектах, взятых из таблицы и относящихся к наивысшему классу энергетической эффективности (класс «А»).



Рисунок 1.

Энергоэффективные жилые дома Фонда ЖКХ [15]: а – дом в Московской области (Клинский район, р.п. Решетниково, ул. Парковая, д. 3), б – дом во Владимирской области (г. Собинка, ул. Ленина, д. 18а), в – дом в Кировской области (Оричевский район, п. Юбилейный, д. 36); г – дом в Волгоградской области (г. Волжский, ул. Карбышева, д. 77)

Пример 1. Дом в Московской области (рис. 1, а) [15]. Трехэтажное энергоэффективное здание включает 56 квартир. Среди оборудования, вырабатывающего энергетические ресурсы с использованием возобновляемых источников энергии, можно отметить три тепловых насоса для системы отопления, 48 вертикальных геотермальных зондов, один тепловой насос для системы горячего водоснабжения. Экономия энергии от мероприятий по энергосбережению достигает 70 % от ее общего потребления в аналогичном доме. Срок окупаемости разницы между фактически затраченными средствами на строительство данного энергоэффективного объекта и стоимостью строительства аналогичного дома класса «С» (нормальный) составляет 5,5 года. Также происходит существенная экономия средств на оплату коммунальных услуг по сравнению с обычным домом, что в расчете на 1 м² составляет 65 % на отопление и 70 % на горячее водоснабжение.

Пример 2. Дом во Владимирской области (рис. 1, б) [15]. Экономия энергии в этом здании (3 этажа, 18 квартир) от мероприятий по энергосбережению составляет 40 % от общего ее потребления в аналогичном обычном здании и обусловлена внедрением возобновляемых источников энергии, к которым относятся солнечные коллекторы, тепловые насосы, усовершенствованные газовые котлы, поквартирные миниатюрные станции приготовления горячей воды. Срок окупаемости разницы между фактически затраченными средствами на строительство данного энергоэффективного дома и стоимостью строительства аналогичного дома класса «С» составляет 10 лет. Экономия затрат на оплату жилого помещения и коммунальных услуг относительно обычного дома в расчете на 1 м² составляет 41 %.

Пример 3. Дом в Кировской области (рис. 1, в) [15]. При строительстве дома использованы современные теплоизоляционные материалы. Оконные блоки оснащены тройными стеклопакетами. Инженерное оборудование дома обеспечивает поквартирный учет всех видов поступающей энергии и ресурсов (холодное и горячее водоснабжения, тепловая энергия, электрическая энергия, природный газ). Система освещения мест общего пользования использует энергию солнца, для этого на крыше здания размещены солнечные модули. Помещения квартир жилого дома оборудованы общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением. Для снижения потребления энергоресурсов приточно-вытяжные установки используют рекуперацию тепла. Принято комплексное теплоснабжение внутренних инженерных систем, состоящее из системы тепловых насосов, использующих низкопотенциальное тепло земли и поквартирных газовых теплогенераторов. Отопление квартир при наружной температуре до -10°C осуществляется системой теплых полов, которая в сочетании с тепловыми насосами использует тепло геотермального поля. При наружной температуре воздуха ниже -10°C дополнительно к системе «теплых» полов предусмотрено включение в работу поквартирной двухтрубной горизонтальной системы отопления от поквартирных газовых генераторов. Эффект от использования нетрадиционных источников теплоснабжения составляет 30 % от общего объема. Система горячего водоснабжения позволяет в летнее время полностью обеспечить нагрев воды солнечными коллекторами, установленными на крыше жилого дома, в сочетании с тепловым насосом. В зимний период вода для горячего водоснабжения нагревается до необходимой температуры поквартирными газовыми генераторами. Экономия затрат на оплату жилого помещения и коммунальных услуг по сравнению с обычным домом в расчете на 1 м^2 составляет 67,51 %.

Пример 4. Дом в Волгоградской области (рис. 1, г) [15]. Экономия энергии от мероприятий по энергосбережению от общего ее потребления в аналогичном не энергоэффективном доме на отопление составляет 15 %, а на горячее водоснабжение достигает 83 %. Виды оборудования, вырабатывающего энергетические ресурсы с использованием возобновляемых источников энергии, представлены солнечными коллекторами для подготовки горячего водоснабжения с установкой термостатных балансировочных клапанов и вентиляционной установкой с рекуперацией тепла. Срок окупаемости разницы между фактически затраченными средствами на строительство данного энергоэффективного дома и стоимостью строительства аналогичного дома класса «С» составляет 12 лет.

Несмотря на очень высокий класс энергоэффективности, к величайшему сожалению, следует констатировать тот факт, что эстетика фасадов этих зданий не соответствует передовым представлениям о современной архитектуре, даже принимая во внимание, что эти объекты построены в рамках программы переселения граждан из аварийного жилищного фонда. Оболочка рассмотренных энергоэффективных зданий выполняет лишь функцию защиты от неблагоприятных воздействий окружающей среды, никак не используя ее энергетический потенциал. Решение фасадов не только непривлекательно с эстетической точки зрения и отбрасывает страну на десятилетия назад к периоду послевоенных бараков, но, что самое страшное,

оно и не несет в себе абсолютно никакой технологической, технической и конструктивной новизны.

Следует отметить, что это относится не только к экономичному жилью, но и к представителям элитного класса. В качестве иллюстрации к сказанному показаны фрагменты фасадов нескольких элитных жилых комплексов в г. Самаре (рис. 2). Видно, что ограждающие конструкции совершенно не участвуют в климатической адаптации зданий, более того, архитектура фасадов существует сама по себе и совершенно не увязана с размещением даже самых примитивных и далеко не энергоэффективных кондиционеров.



Рисунок 2.
Фрагменты фасадов элитных жилых комплексов в Самаре

В мировом масштабе приходит осознание острой необходимости изменения существующих подходов к проектированию зданий. Именно поэтому всё большую актуальность в современной архитектуре получает биоклиматическое направление (биоклиматическая архитектура). На эту тему существует ряд исследований и публикаций, в которых сделаны попытки дать определение биоклиматической архитектуре и сформулировать ее основные принципы [1–8, 10, 11, 14]. Обобщая различные формулировки, можно сказать, что в рамках данной концепции природа перестает выступать пассивным фоном для архитектуры и используется как неисчерпаемый источник энергетических возможностей. Проектирование зданий ведется с учетом уникальных региональных особенностей (исторических, культурных, климатических, инфраструктурных, социальных, экономических и др.) конкретного места застройки без ущерба для окружающей среды.

Ключевая особенность биоклиматических зданий – это их адаптивность, способность приспосабливаться к окружающей природной среде. Следует отметить, что, несмотря на актуальность данной темы, отсутствуют исследования, систематизирующие различные приемы адаптации объектов к различным климатическим условиям. Необходимо помнить о важности системного подхода к процессу научного исследования, основой которого является понимание объекта как целостной системы, состоящей из комплекса

взаимосвязанных элементов, включая объемно-планировочные, конструктивные и технологические решения.

Современные высокие технологии позволяют использовать положительное и максимально нейтрализовать отрицательное воздействие наружного климата на энергетический баланс здания. Но для этого необходимо глубоко изучать и понимать специфику природно-климатического потенциала конкретного региона для внедрения уже существующих, а главное – для поиска новых инновационных решений, создания научных и методических основ проектирования климатически адаптированных зданий с «умными» фасадами, в том числе и кинетическими. На службу комфорту и удобству жилой среды мобилизуются такие стихии, как солнце, ветер, вода и другие. В качестве примеров кинетических климатически-адаптивных фасадов можно привести целый ряд чрезвычайно интересных объектов.

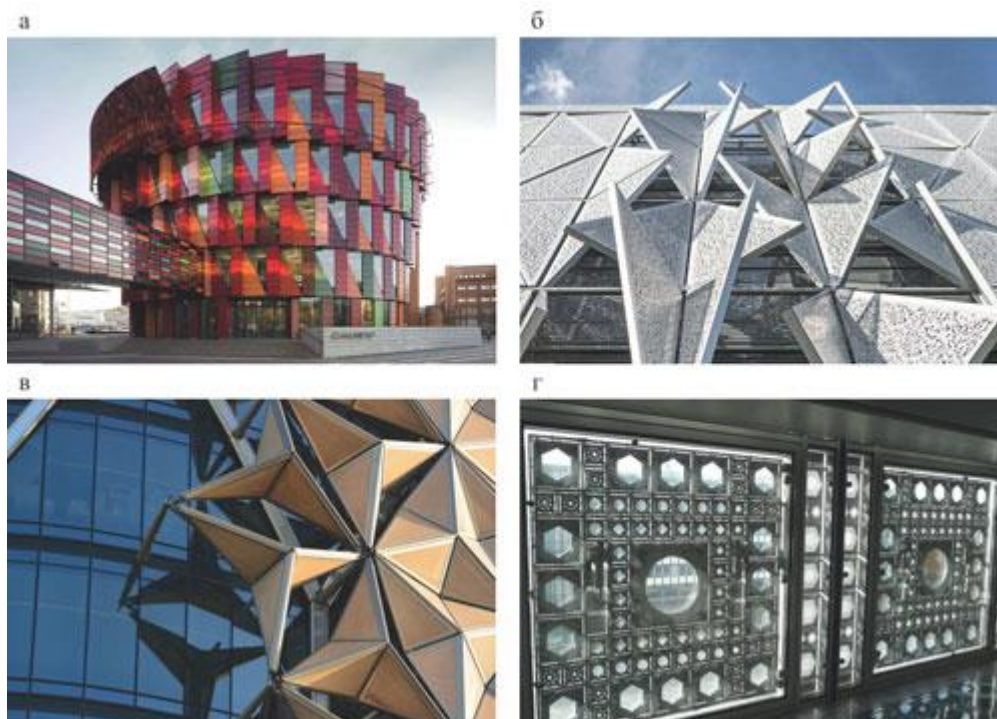


Рисунок 3.

Биоклиматические здания с кинетическими климатически адаптивными фасадами: а – Kuggen Технический университет Чалмерса (Гетеборг, Швеция), б – Kolding Campus (Дания), в – Al Bahar Tower (Абу-Даби, ОАЭ), г – Arab World Institute (Париж, Франция)

Например, в Гетеборге (Швеция) в центре городской площади построено своеобразное цилиндрическое здание Kuggen для Технического университета Чалмерса (рис. 3, а). Kuggen обоснованно можно назвать представителем биоклиматической архитектуры, так как в нем используются технологии адаптивной вентиляции, адаптивного освещения, интерактивные системы отопления и кондиционирования и эффективно регулируемый дневной свет. Большой интерес представляют именно форма здания и его оболочка. Консольный свес каждого этажа по отношению к нижележащему с южной стороны способствует созданию эффекта самозатенения в то время суток, когда солнце находится высоко над уровнем горизонта. Все окна в пределах этажа имеют форму треугольников, расширяющихся к уровню потолка, что позволяет дневному свету хорошо проникать вглубь помещений, не создавая при этом избыточного освещения в пространстве непосредственно около наружной стены. Высокоэффективную оболочку дополняет вращающийся

солнцезащитный экран, заслоняющий верхние этажи, следуя по пути солнца вокруг здания.

Одной из наиболее важных особенностей кампуса Университета Южной Дании в Колдинге (Kolding Campus), построенного по проекту Henning Larsen Architect's, является климатический кинетический фасад из перфорированных металлических экранов, который регулирует микроклимат внутри здания (рис. 3, б). Динамическая система солнечного затенения насчитывает около 1600 треугольных жалюзи из перфорированной стали. Она оснащена датчиками, которые непрерывно измеряют температуру и уровень освещенности в помещениях и механически регулируют жалюзи с помощью небольшого двигателя. Благодаря использованию этого инновационного решения потребность в энергии снижена на 50 % по сравнению с аналогичными зданиями в Дании.

В биоклиматических зданиях в условиях тропического пустынного климата активно применяются подвижные солнцезащитные жалюзи. Яркий пример противостояния жесткому жаркому климату с агрессивным воздействием песка – высотный комплекс Al Bahar Tower (145 м, 29 этажей, 2012 г.) в Абу-Даби, включающий две офисные башни (см. рис. 3, в). Примечательная черта башен – адаптивный динамичный фасад, состоящий из треугольных экранов, которые автоматически открываются и закрываются по принципу зонта в зависимости от интенсивности солнечного света. Каждая башня имеет защитную оболочку, расположенную от основного фасада на расстоянии двух метров и состоящую примерно из 1000 «экранов-зонтов», покрытых стекловолокном. Движением экранов руководит интеллектуальная система управления зданием. Вечером все экраны открываются. Общая форма башни была оптимизирована, чтобы дополнить систему затенения. Инновационная оболочка этого небоскреба позволяет снизить интенсивность воздействия солнечной радиации на 50 %.

Еще один интересный пример – Институт арабского мира (Arab World Institute), построенный в 1987 г. по проекту архитектора Жана Нувеля в Париже (Франции). Главной особенностью и инновационным элементом является южный фасад, состоящий из 240 алюминиевых панелей с титановыми диафрагмами, которые реагируют на изменение дневного освещения (рис. 3, г). Освещенность внутри здания легко регулируется с помощью расширения и сужения диафрагм. Эстетика внутреннего пространства изменяется вместе с внешним видом, создавая невероятные эффекты. При этом решается не только эстетическая задача, но и проблема формирования оптимального микроклимата в помещениях, и как результат – энергоэффективность объекта в целом.

Приведенные примеры иллюстрируют приемы «покорения климата» средствами современной биоклиматической архитектуры, регулирующие воздействие солнца на здание. При этом чрезвычайно важно, что в данном случае наиболее активная работа идет с южным фасадом. К оболочке здания применяется дифференцированный подход, учитывающий его ориентацию по сторонам света и особенности движения солнца в разное время года и суток.

В результате этого южный фасад никогда не будет похож на северный фасад, так как они решают совершенно разные задачи взаимодействия объекта с окружающей средой.

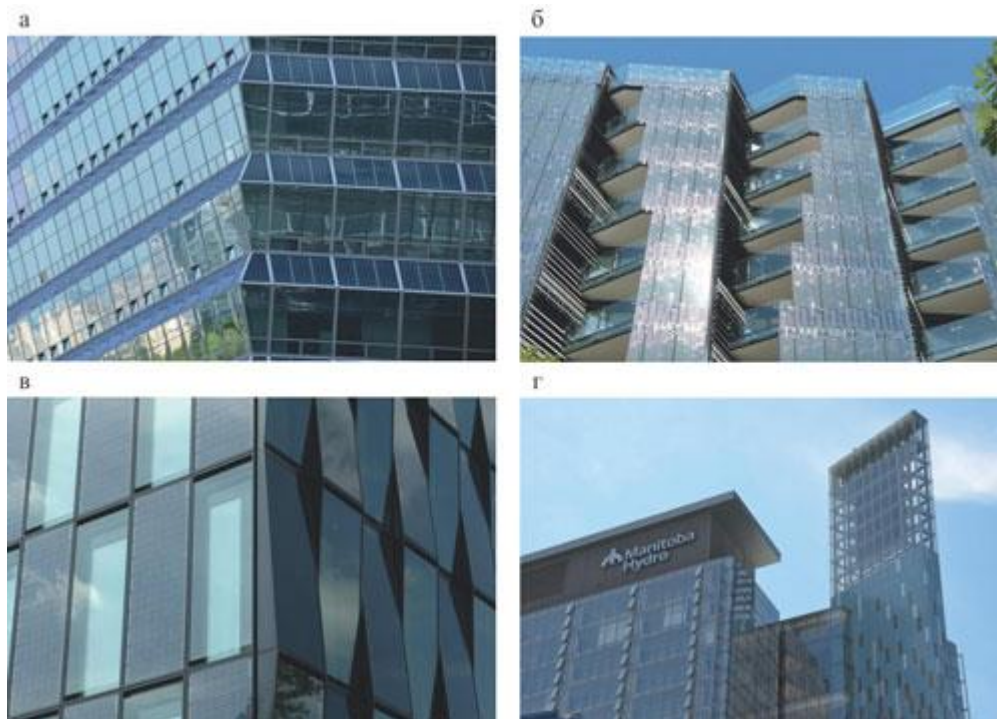


Рисунок 4.

Фасадные системы, использующие энергетический потенциал солнца: а – FKI Tower (Сеул, Южная Корея), б – Hikari Lyon (Франция), в – NEW-Blauhaus (Мёнхенгладбах, Германия), г – Manitoba Hydro Place (Виннипег, Канада)

Взаимодействие с солнцем проявляется не только в «умном» подходе к защите от его излишнего воздействия с помощью активных или пассивных затеняющих элементов фасада, но и в использовании его энергетического потенциала. Существует множество примеров интеграции фотоэлектрических панелей в фасадные конструкции. При этом дизайн фасада и форма здания специально разрабатываются с учетом максимально эффективного функционирования фотоэлектрических элементов по производству энергии (рис. 4, а–в).

Также можно привести пример, как солнце участвует в системе климатической адаптации здания в условиях умеренного континентального климата, характеризующегося стабильно жарким летом и стабильно морозной зимой с колебанием температур в течение года от -35 до $+34$ °С. В офисном здании Manitoba Hydro Place (Канада) для эффективной циркуляции воздуха в системе естественной вентиляции используется «солнечная вентиляция» (рис. 4, г). В структуру здания включена «солнечная труба» (solar chimney), представляющая собой шахту высотой 115 метров. Отработанный воздух удаляется из здания через эту «солнечную вытяжку» за счет подогрева теплом солнечной радиации. «Солнечная вытяжка» работает во взаимосвязи с инновационным решением двойной оболочки здания (внутренний слой с одинарным остеклением отделен от стеклопакета внешнего слоя буферной зоной шириной в один метр). Зимой, когда фасад герметично закрыт, он играет роль солнечного коллектора, без использования активного отопления температура в пространстве между фасадами достигает $+20$ °С, даже если температура воздуха на улице ниже -25 °С.

Анализируя зарубежный опыт, можно представить информацию и по «покорению климата» с использованием потенциала ветра, делая акцент на том, как эта «стихия» влияет на элементы фасадных конструкций. В проекте

высотного комплекса «Танцующие драконы» (Dancing Dragons) в Сеуле развивается тема бионической архитектуры, использующей закономерности формообразования живой природы (рис. 5). Фасадная конструкция, созданная из заостренных панелей, напоминает кожу мифического существа. При этом образная составляющая лишь часть стратегии. Панели являются элементами «дышащей» оболочки здания. Они накладываются друг на друга с отступом, создавая возможность устройства вентиляционных отверстий шириной 600 мм для циркуляции воздуха, решая проблему естественной вентиляции и открывания окон для проветривания на большой высоте при значительных ветровых нагрузках.

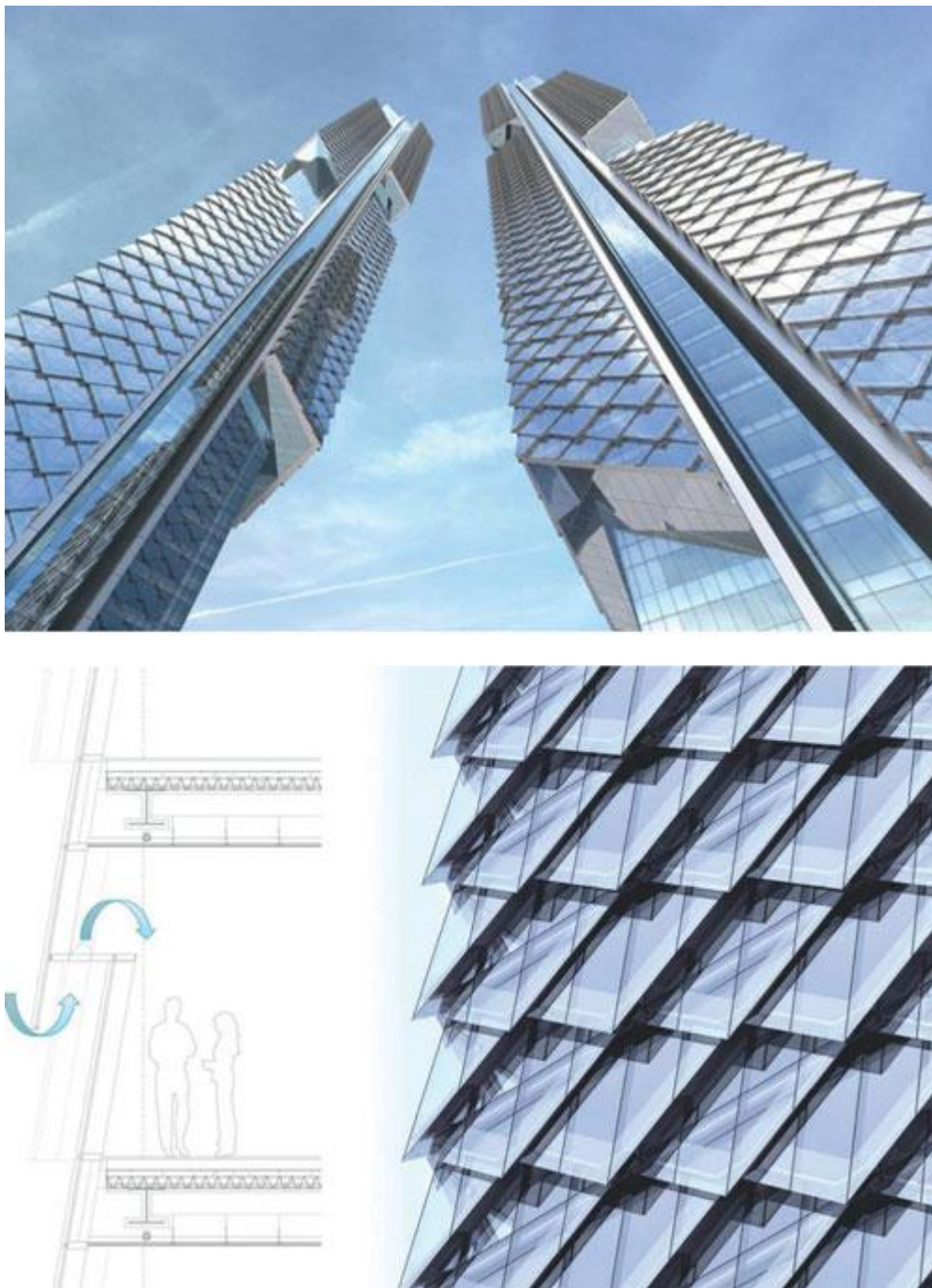


Рисунок 5.
«Dancing Dragons», AS+GG (Сеул, Южная Корея). Источник:
smithgill.com/work/dancing_dragons/

Рассматривая проект еще одного высотного комплекса – Clean Technology Tower (Чикаго, США), основанного на концепции «биомимикрии», можно сказать, что здесь используются самые передовые системы устойчивого развития. Уникальная оболочка башни находится в симбиотических отношениях с окружающей средой (рис. 6). На углах здания расположены ветровые турбины, захватывающие ветровые потоки, когда они достигают максимальной скорости, разгоняясь вокруг башни. Количество турбин увеличивается на верхних уровнях, где скорость ветра возрастает. Вершина башни превращена в «ветроферму», купольная конструкция имеет полость, захватывающую потоки ветра, с размещенными в ней ветровыми турбинами. В наружную конструкцию купола интегрированы фотоэлектрические ячейки, которые захватывают южное солнце.

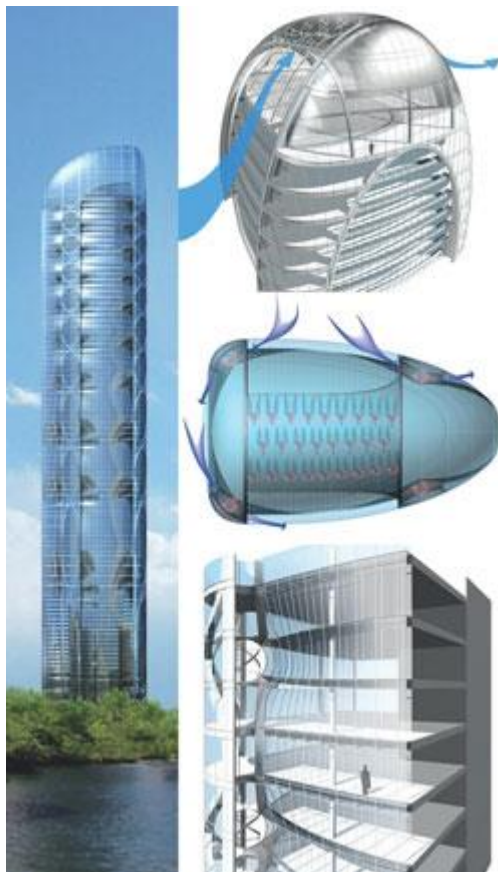


Рисунок 6.
Clean Technology Tower (Чикаго, США). Источник:
smithgill.com/work/clean_technology_tower_1



Рисунок 7.
Холодная кладовая как элемент климатической адаптации зданий

Выводы

Повысить энергоэффективность уже построенного объекта довольно сложно. Современное здание в процессе проектирования должно рассматриваться как единая энергетическая система, основанная на принципах энергонезависимости, эффективно использующая природный потенциал в качестве возобновляемых источников энергии. Для этого необходимо разрабатывать уникальные объемно-планировочные, конструктивные и инженерно-технологические элементы зданий, приспособляющиеся к изменениям наружного климата. При этом ключевым звеном концепции климатической адаптации и энергосбережения должна выступать ограждающая конструкция – фасадная система.

Литература

1. Бродач М. М., Шилкин Н. В. **Стекланные двойные фасады** // Здания высоких технологий. – 2015. – №1. – С. 32–45.
2. Бродач М. М. **Инженерное оборудование высотных зданий**. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007.
3. Вавилова Т. Я. Принцип экологического соответствия как условие развития отраслей высоких технологий // Приволжский научный журнал. – 2010. – №2. – С. 110–116.
4. Генералов В. П., Генералова Е. М. Выявление отличительных особенностей понятий «комфорт проживания» и «комфортная жилая среда» // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2016. – №2 (23). – С.85–90.
5. Генералова Е. М., Генералов В. П. Биоклиматическое направление в проектировании высотных зданий : Сборник «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн сборник статей». Самара: СГТУ, 2017. С. 24–27.
6. Генералова Е. М., Солякова Д. Н. Инновационные фасадные системы энергоэффективных высотных офисных зданий : Сборник «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн сборник статей». Самара: СГТУ, 2017. С. 28–31.
7. Генералов В. П., Генералова Е. М. Устойчивая архитектура. Энергоэффективность и экологичность массового доступного жилья на примере Гонконга // Градостроительство и архитектура. – 2015. – № 4 (21). – С. 23–29.
8. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A. Innovative solutions for building envelopes of bioclimatical high-rise buildings // Environment. Technology. Resources. – 2017. – V. 1. P. 103–108.
9. Есаулов Г. В. **Энергоэффективность и устойчивая архитектура как векторы развития** // АВОК. – 2015. – Т. 5. – № 5. – С. 4–13.
10. Жигулина А. Ю. Зарубежный и отечественный опыт проектирования энергоэффективных жилых домов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – Вып. № 1. – С. 29–30.
11. Кувабара Б., Ауэр Т., Акерстрим Т., Клим Г. и др. Покорение климата. URL: http://zvt.abok.ru/upload/pdf_articles/7.pdf [электронный ресурс] / дата обращения: 6.12. 2016).
12. Табунщиков Ю. А. **Дорожная карта зеленого строительства в России: проблемы и перспективы** // АВОК. – 2014. – №3. – С. 4–10.
13. Табунщиков Ю. А. **Энергетический кризис – 43 года спустя** // АВОК. – 2017. – № 6. – С. 4–9.

14. Табунщиков Ю. А. [Окно как элемент здания высоких технологий](#) // Здания высоких технологий. – 2013. – Т.1. – №1. – С. 30–35.
15. Карта энергоэффективных домов в России. URL: <http://www.energodoma.ru/karta-energoeffektivnykh-domov-rossii> [электронный ресурс / дата обращения: 16.10. 2017.