



Получена: 25.09.2020 г.

Приета: 14.12.2020 г.

КИНЕТИЧНА ФАСАДА – ИЗСЛЕДВАН ПРИМЕР AL BAHAR TOWERS, АБУ ДАБИ, ОБЕДИНЕНИ АРАБСКИ ЕМИРСТВА

Д. Дамов¹

Ключови думи: параметрична архитектура, параметричен дизайн, кинетична фасада, засенчващи елементи

РЕЗЮМЕ

До скоро обликът на сградите се диктуваше от пластиката на обема, орнамента и материалите. Фасадите се изменяха пасивно чрез околната среда – придобиваха различен облик в зависимост от позицията на слънцето и атмосферните условия като ясно време, дъжд, мъгла и т.н. С напредването на технологиите се прави следващата стъпка в адаптацията към околната среда – кинетичните фасади реагират активно на промените, засягащи сградите. Те се видоизменят, за да имат оптимална пропускливост на светлина и въздушна маса в зависимост от промените в климата. Модерните софтуерни приложения позволяват анализирането в реално време на множество фактори, постъпващо от редица сензори за сила на слънчевата радиация, сила и посока на вятъра, влажност и температура на въздуха и така нататък.

Настоящата статия анализира различията при кинетичните фасади, предимствата и недостатъците им. Фасадата се разглежда в един от основните ѝ аспекти – като преграда между вътрешните пространства и прилежащата околна среда. Проследява се историческият контекст и еволюцията на фасадите, като по-подробно се изследват характеристиките на кулите Ал Бахар в Абу Даби, Обединени арабски емирства, тъй като те са сред най-мощните проекти, възползващи се от предимствата на кинетичната фасада.

¹ Дамян Дамов, ас. арх., кат. „Жилищни сгради”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: damian.damov@gmail.com

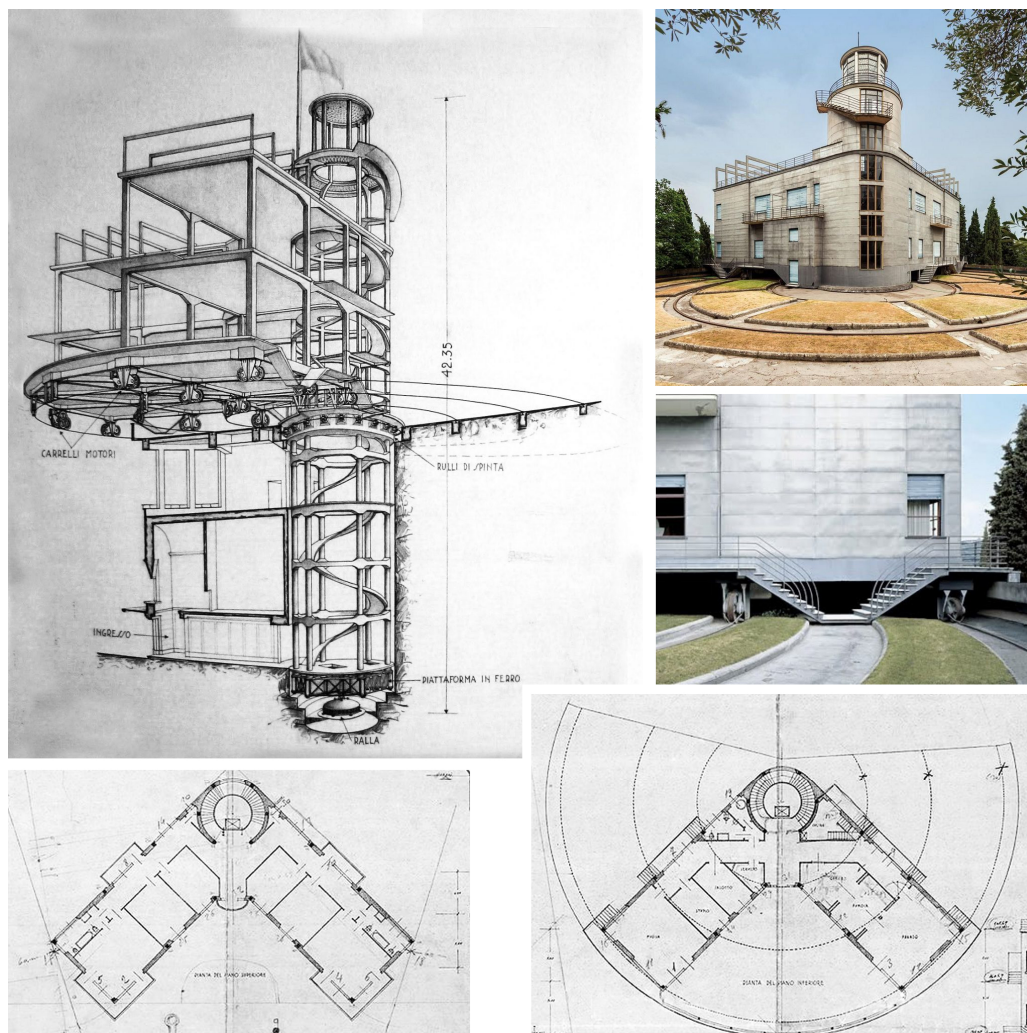
1. Въведение

Светлинният и топлинният комфорт на обитателите на една сграда зависи пряко от климатичните условия, а те непрестанно се менят, съответно е логично и фасадите да се менят заедно с тях. В настоящата статия фасадата се разглежда освен като естетически завършек на сградата, също така и в най-ранния ѝ аспект – като граница между околната среда и жилищното пространство. Първите фасади в исторически план са голи стени, но отделят пространство от външните, атмосферни влияния. Сред най-добре запазените примери е неолитното селище Чаталхьоюк (на турски: Çatalhöyük, от думите çatal – вилица и höyük – могила, хълм), което датира от 7500 – 5700 година преди Христа и се намира в южната част на Анадола, на територията на днешна Турция. В този тип селища отделните жилищни структури представляват долепени един до друг правоъгълници в план, без улици, тротоари и вътрешни пространства между тях. Хората се придвижват по покривите на сградите, а достъпът се осъществява чрез моряшка стълба през отвори в покривите на отделните единици. Този отвор служи не само за достъп до жилищата, но също така и за вентилация и осветление, а на фасадите, в това число и на външните за селото, няма отвори. С разделянето на вътрешно от външно пространство се налага и появата на отвори във фасадите. Първоначално, това са отвори във фасадните равнини и не реагират активно на промени в околната среда – независимо от атмосферните условия тези отвори са с константен размер и не се затварят. Отворът на покрива на жилищните единици в Чаталхьоюк винаги е отворен, а не само когато хората влизат или излизат, като през останалото време служи за проветряване и осветяване. Преди около 4000 години се обособяват първите отваряеми врати и прозорци и от тогава насам измененията в отворите на фасадите са по-скоро естетически подобрения, отколкото нещо иновативно. Докато не се появяват кинетичните фасади.

2. Поява на кинетичната фасада

През вековете фасадите стават по-богати, с по-сложна орнаментика и геометрия, използваните материали в строителството стават по-ефективни в изпълнение на функциите си, но всичко това са малки стъпки в еволюцията, липсва революционният елемент. Големият пробив са фасадите, които реагират активно на околната среда и се видоизменят, за да изпълняват най-добре функциите си. Това също не е ново явление, прозорците се отварят и затварят в зависимост от климатичните условия и желанията на обитателите; във всички култури, пребиваващи в по-топъл климат се наблюдават външни капаци, които могат да се отварят и затварят, съответно реагират на околната среда. През трийсетте години на миналия век архитектът Анжело Инверници изгражда цяла движеща се сграда. Gigasole villa (на италиански вила слънчоглед) (фиг. 1), която се върти, за да следва слънцето. Проектът е архитектурен експеримент без прецедент. Жилищните помещения получават възможно най-доброто ослънчаване, независимо от часа и деня на годината. Сградата се върти около ядрото си, като в него са изнесени вертикалната комуникация и инсталационните пакети. Механизмът за ротиране на сградата е изключително сложен и скъп, като това възпрепятства масовото навлизане на подобен тип сгради. Архитектите стигат до извода, че динамично, фасадно покритие е по-ефективно решение от гледна точка на съотношението между първоначална инвестиция и предоставени ползи.

Характерно за кинетичните фасади е, че адаптацията на фасадната повърхност е изведена на по-високо ниво спрямо простата отваряемост на прозорци и щори, новите технологии позволяват използването на далеч по-сложни форми на засенчване и централизирано управление. При наличието на огромен брой вариации във фасадата и динамичната ѝ същност, проектирането е възможно да се извърши само с помощта на параметрично моделиране и генеративен дизайн. За да се оправдае първоначалната инвестиция в кинетична фасада, е необходимо да се оцени ефективността ѝ при различни климатични условия и възможността за осигуряване на максимален светлинен и топлинен комфорт при всякакви климатични условия, ден от годината и час на денонощието и също така, това да се случва с минимални разходи.



Фиг. 1. Girasole villa. Цялата сграда се върти, за да следва слънцето. Жилищните помещения са отворени към вътрешната страна на L формата.

Източник: <https://hiddenarchitecture.net/villa-girasole/>

Изискванията за светлинен и топлинен комфорт стават все по-високи, както и изискванията за енергийна ефективност, като все по-често цената на сградата се разглежда комплексно и в дългосрочен план – не само първоначалната инвестиция, а първоначалната инвестиция плюс експлоатационните разходи през годините. Използването на кинетични фасади позволява оползотворяване на наличните на място ресурси, като слънчева радиация и вятър. Слънчевото греене, например, е с различен интензитет в зависимост от часа и датата, както и външната температура варира значително спрямо тези променливи. Оптимално ще се пропуска постоянно количество светлина до интериора на сградата през целия ден, през летните дни това количество ще е по-малко, за да не прегрява интериора, а през зимата ще се търси максимално количество допуснатата светлина. Това обаче може да се постигне само с постоянна промяна на геометрията на засенчващите елементи или свойствата на стъклата по фасадата. За да се изчисли оптималното разположение на засенчващите елементи и техният ъгъл, или, респективно, нужното затъмняване на стъклото, трябва да се анализират огромен брой възможни варианти на базата на различни комбинации от елементите на климата. Това е същността на кинетичните фасади.

3. Al Bahar Towers

Данни за проекта:

- **Клиент:** Abu Dhabi Investment Council, Абу Даби, Обединени арабски емирства.
- **Архитекти:** Aedas, Лондон, Великобритания.
- **Инженери:** Агур, дисциплини: фасадно инженерство, строително инженерство, ВиК, ОВИ, ландшафт, геодезия, осветление, акустика, пожаро-безопасност, аеродинамични изследвания, охрана и безопасност, транспортно проектиране, вертикални връзки, IT съгласуване, съгласуване с част обслужване на сградата.
- **Фасадни проектант:** Reef, Лондон, Великобритания.
- **Съгласували местни проектант:** Diar Consult, Абу Даби, Обединени арабски емирства.
- **Финансово консултиране:** Abu Dhabi office of AECOM.
- **Мениджър на проекта:** Mace, Лондон, Великобритания.
- **Основен изпълнител:** Al-Futtaim Carillion LLC, Абу Даби, Обединени арабски емирства.
- **Изпълнител на фасадата:** Yuanda China Holdings Limited, Шънян, Китай.

Ситуирани във финансовия център на Абу Даби, Обединени арабски емирства, кулите Al Bahar се нареждат сред най-представителните примери за адаптивна архитектура и кинетични фасади (фиг. 2). Сградите са проектирани от лондонското архитектурно бюро Aedas в периода 2007 – 2009 година и до 2012-та г. са завършени. Сред главните приоритети е създаването на емблематични сгради, съобразени с местната традиция и култура, същевременно имащи възможно най-висока енергийна ефективност. Проектантите го постигат чрез контролиране на количеството слънчева радиация, проникващо в сградата. В подобен климат за целта обикновено се използва силно затъмнено стъкло, но

в случая екипът се спира на външна засенчваща система. Формата на слънцезащитните елементи е инспирирана от традиционните за арабската жилищна архитектура елементи машарабуя (مشربية), известни още и като шаншул (ششول) и рушан (روشان). Те представяват богато орнаментирани с дърворезба слънцезащитни елементи. В дървесината се изсичат мотиви, а в някои варианти се закрепя и оцветено стъкло. Обикновено се използват за осигуряване на интимитет на прозорците към улицата, но също така, в определени случаи, се разполагат към т. нар. сахн (вътрешен двор). Точната датировка на тези засенчващи елементи не е известна, но през дванадесети век вече се използват на територията на Багдад. Предизвикателството е да им се направи модерен прочит, като се приложат на сграда с височина 150 m.

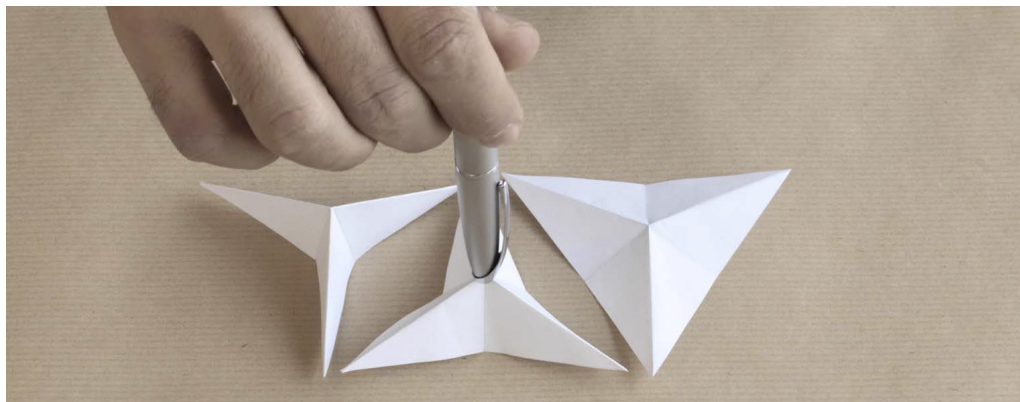


Фиг. 2. Al Bahar Towers – Абу Даби, Обединени арабски емирства.
Източник: <https://www.gulf.glass/speaker-home/meet-our-speakers/abdulmajid-karanouh/>

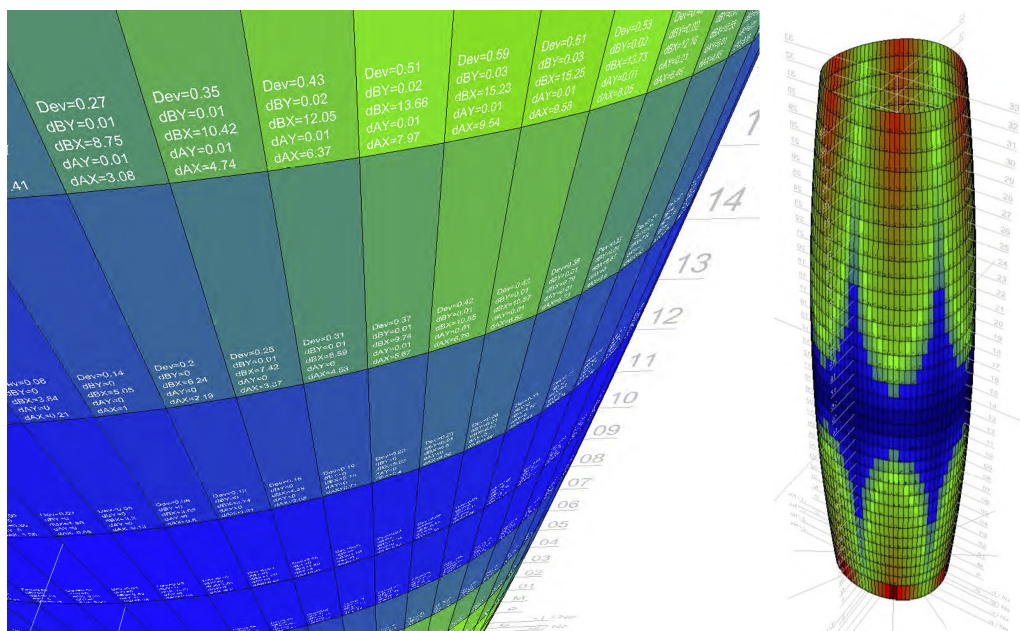
Сред целите на архитектите на този проект е създаването на изцяло остъклен сгради с невъзпрепятствана гледка във всички посоки и възможно най-висок светлинен и топлинен комфорт. От самото начало е ясно, че създаването на обвивка от силно затъмнени или отразяващи прозорци не е опция, поради желанието за допускане на по-голямо количество дневна светлина. Проектантите се спират на много по-прозрачно стъкло от типичното за сградите в района, тъй като освен по-добра панорама, това ще позволи и навлизане на повече дневна светлина в сградите, съответно ще намали разходите за изкуствено осветление. Изниква друг проблем – прегряването и преослънчаването. Единственото решение е използване на адаптивна система за засенчване. Поради близката до цилиндър форма на сградите, използването на хоризонтални или вертикални сенници не е опция. Погледнато от геометрична гледна точка, покриването на всяка една форма е възможно чрез триъгълни повърхнини и екипът разработва подобни на чадър засенчва-

щи елементи, които същевременно създават конфигурацията, силно обвързана с местната традиция (фиг. 3).

В самото начало на проектантския процес са изградени прецизни, триизмерни модели, които се използват за анализ на слънчевото греене по фасадата (фиг. 4). Те включват отделни сектори от фасадната повърхност по различно време на деня и различни дни на годината. На базата на данните от тези модели се изчислява необходимото засенчване и оптималният процент на отваряне на засенчващите елементи и се стига до извода, че на част от северната фасада такива елементи няма да са необходими.



Фиг. 3. Хартиен модел на засенчващите елементи. Проектантите го използват, за да проследят различните нива на сгъване и разгъване на фигурата.
Източник: <https://www.gulf.glass/speaker-home/meet-our-speakers/abdulmajid-karanouh/>



Фиг. 4. Анализ на количеството слънчева радиация по отделни фасадни сектори
Източник: <https://igsmag.com/market-trends/super-tall-buildings/the-al-bahar-towers-shading-the-real-envelope/>

Стъклата на фасадата са от плоча до плоча, като са използвани стъклопакети с газ аргон между отделните стъкла. Вътрешното стъкло е ламинирано, за да издържа на удар, а вътрешното и външното са третирано топлинно, за да издържат на климата в региона. Използването на стъклопакети рядко се среща до 2005 – 2010 година в подобен климат и тип сгради, защото разликата в температурата не е много голяма (от порядъка на 10 – 15 градуса), а стъклопакети с подобен размер и удароустойчивост са скъпи. Усецането за горещ климат се базира на комбинация от висока температура и висока влажност на въздуха. Изсушаването на въздуха е сравнително лесно с помощта на климатични инсталации, а дори единично стъкло възпрепятства навлизането на външен, влажен въздух. Положено е усилие да се минимализират и термомостовете при пробива на крепежните елементи на засенчващите машарабуя.

На базата на анализите на слънчевото греене по фасадата са определени и оптималните стойности на пропускливост на светлина както на стъклата, така и на засенчващите елементи и на ансамбъла от двете системи. Използвано е стъкло със специално покритие, което отблъсква 74% от инфрачервените лъчи, пренасящи топлинна енергия, а същевременно пропуска сравнително голямо количество светлина от видимия спектър. Короната на сградата е предмет на отделен соларен анализ, защото слънцезащитните елементи не стигат до самия връх на сградата. Желаните нива пропусната светлина се постигат чрез фритирано (поресто, съответно матово и с намалена пропускливост на светлина) стъкло. С помощта на анализа се определя нивото на фритиране на отделните стъкла по короната.

Тези необикновени нива на прозрачност на стъклата и съответно количеството дневна светлина са възможни благодарение на подвижната мрежа, разположена пред фасадата. Тя позволява засенчване когато и където е необходимо. За изработката на тази мрежа са тествани множество материали, като проектантите се спират на перфорирани панели от фибростъкло, покрити с политетрафлуоретилен (PTFE), по-известен с търговското наименование „тефлон“. Панелите от фибростъкло са здрави и леки, издържат на огъване, съответно, на вятър и това ги прави идеални за целта. Покритието от политетрафлуоретилен издържа на високи температури и е самопочистващо, което е голямо предимство, като се има предвид сложността на фасадата, пясъчните бури и ветровете, носещи солена вода от морето. Пропускливостта на материята е 25% и е комбинирана с възможна площ на засенчване от 15 до 100 процента.

Опростяването на геометрията на сградите е важна стъпка в проектантския процес. Формата е близка до цилиндър, с леки отклонения в план, съобразени със слънчевото греене, и леко издуване на формата по средата във вертикала. Това позволява използването на няколко вида типови панели за покриването на фасадата, съответно осезаемо понижаване на цената за строителство. Използването на триизмерни модели по време на проектирането е ключово, не само за анализ на слънчевото греене и определяне на оптималното засенчване при различни климатични условия, но също така и за закрепянето на засенчващите елементи и определяне на пробивите на крепежните елементи с окачената фасада. Фасадните панели се почистват и могат да бъдат сменени при нужда чрез платформата, поддържана от кран на покрива, като тази платформа се движи в междината между фасадата и засенчващите елементи. В долната половина на кулите, която се прибира навътре към ядрото на сградите, са налични допълнителни крепежни точки за тази платформа, за да може тя да се движи под ъгъл. Същата тази платформа може да се използва и от външната страна на засенчващите елементи за поддръжка и замяна на отделни елементи.

Най-характерният елемент за сградите остават подвижните засенчващи елементи, които ги обвиват почти изцяло и променят формата, външния облик и слънце-пропуска-

щите характеристики на фасадите в зависимост от дневните и сезонни промени. Засенчващите елементи, а не окачената фасада, са окончателната обвивка на сградите и така форма и функцията работят в пълна хармония. Финалният резултат е плод на скици, макети от хартия, модели в умален мащаб и триизмерни дигитални модели. Всички тези стъпки са били необходими, за да бъде сигурен проектантският екип, че засенчващата система и съответната голяма инвестиция ще работят по план.

Архитектите правят множество тестове в ранните етапи на проектантския процес и един от основните изводи е, че от първостепенно значение е връзката между отделните засенчващи елементи и суперструктурата. Панелите са окачени конзолно на 2,8 m от основната структура и това улеснява замяната им и почистването на фасадата зад тях. Конзолите, на които се носят панелите, са захванати за етажните плочи и към повечето от тях (с изключение на крайните) се закрепят по един от трите ъгъла на шест отделни панела (фиг. 5).

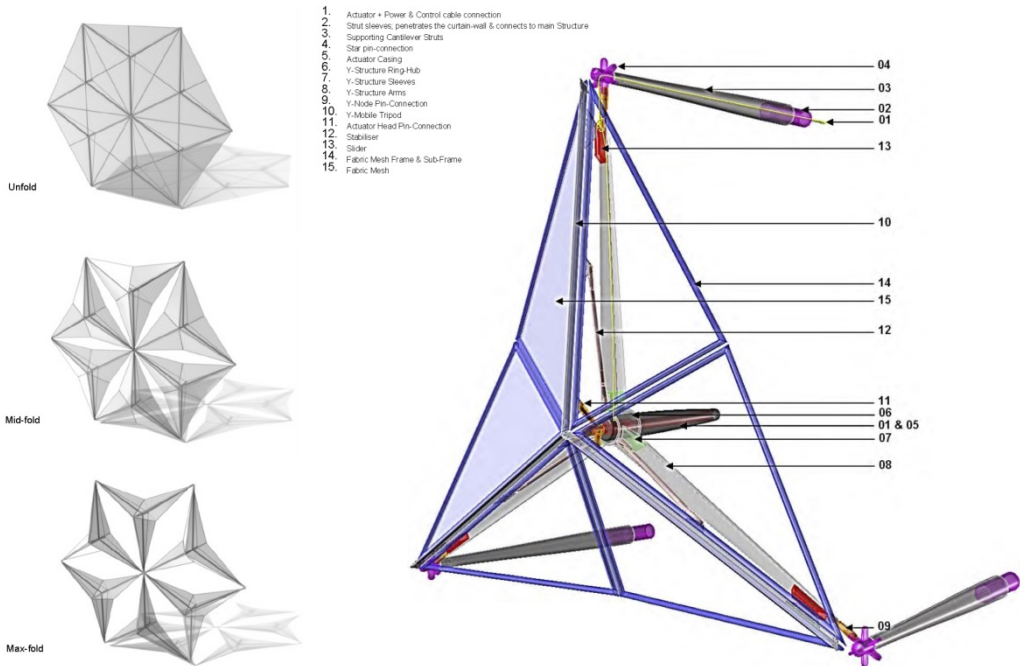


Фиг. 5. Поставяне на засенчващите елементи машарабуя. Виждат се металните конзоли, които служат за закрепване на елементите.

Източник: <https://igsmag.com/market-trends/super-tall-buildings/the-al-bahar-towers-shading-the-real-envelope/>

На всяка кула са разположени 1049 машарабуя елемента, всеки висок 4,2 m и с тегло от 600 kg, 1500 kg с крепежните елементи (фиг. 6 и 7). Липсва прецедент за подвижно засенчване с подобни размери и проектантите полагат големи усилия, за да са сигурни, че системата ще функционира правилно и надеждно. Допълнително предизвикателство е климатът – сградите се намират в Абу Даби, Обединени арабски емирства, на стотина метра от водите на Персийския залив. Ключов момент от проектирането на машарабуите е изграждането на напълно функциониращ прототип в мащаб 1:1. Моделът е тестван в аеродинамичен тунел и климатична камера на 30 000 цикъла на отваряне и затваряне. Това тестване е изпълнено в широк температурен диапазон, променливи нива на относителната влажност на въздуха, както и вятър от различни ъгли. По време на тес-

товете всички ключови компоненти, свързки, актуатори и лагери се излагат на обилни количества пясък и солена вода.

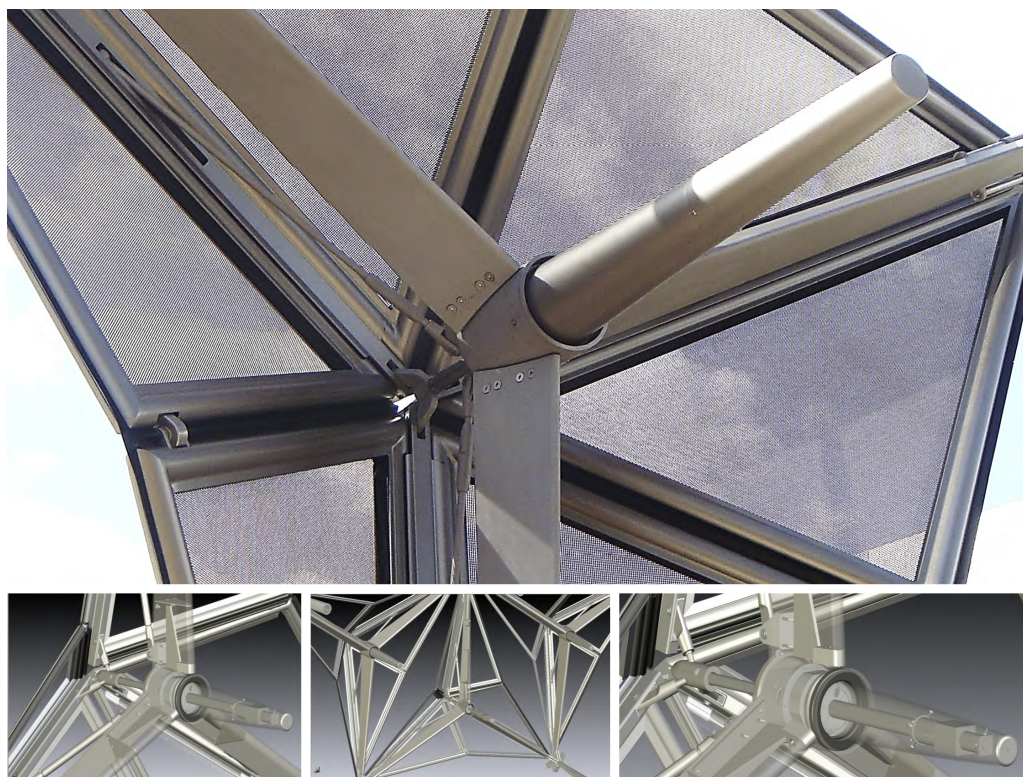


Фиг. 6. Детайл на засенчващите елементи.

Източник: http://alt.ises.org/fileadmin/user_upload/PDF/2013.11.15_AK_Presentation_part2.pdf

Засенчващите елементи са групирани по сектори на базата на слънчевите анализи и се оперират от специализиран софтуер, следящ слънчевото греене. Също така е възможно да се пренебрегнат командите от този софтуер и да се контролират ръчно отделни панели. Системата е свързана с анемометър (устройство, което измерва скоростта на вятъра) и сензори за слънчево греене и това позволява автоматичното ѝ опериране при аномалии в атмосферните условия.

Кулите са въведени в експлоатация през 2012 г., 8 години преди публикуването на текущата статия. За този период от време кинетичните им фасади са оправдали очакванията. Тестванията в аеродинамичен тунел и последвалите оптимизации на механизмите дават резултат – нито един панел не е дефектирал. Намалването на потреблението на енергия е в границите 20% – 50%, спрямо сгради с подобни габарити и функция. Процентът варира, тъй като нощем сградите не се възползват от кинетичната фасада и разликата във вътрешната спрямо външната температурата е минимална, тоест потреблението на енергия и на по-традиционни сгради драстично спада. Средният процент остава близък до 50%, тъй като по-голямата част от площта на сградата е заета от офиси, които се използват само денем. Изчислено е, че благодарение на кинетичните фасади двете кули годишно спестяват отделянето на 1750 тона въглероден диоксид.



Фиг. 7. Детайл на засенчващ елемент машарабуя и металните крепежни конзоли.
Източник: http://alt.ises.org/fileadmin/user_upload/PDF/2013.11.15_AK_Presentation_part2.pdf

4. Заключение

Кинетичните фасади са фасадите на бъдещето, но пред масовото им използване стоят редица пречки. Основната е, че те се характеризират с висока първоначална инвестиция, както като финансов ресурс за самото изпълнение, така и като времеви и човешки ресурси за проектиране и тестване. Друг ограничаващ фактор е малкият брой архитектурни бюра, които биха се справили със задачата и още по-малкият брой изпълнители, които биха могли да реализират подобно решение. Недостатък се явява не само по-трудното изпълнение, но и възможността за отхвърляне на това решение за фасада по всяко време в проектантския процес – дори в по-напреднал стадий. Възможно е да се инвестират много ресурси в разработването на идеен проект за кинетична фасада, но когато се стигне до по-прецизни модели и прототипи да се окаже, че тя не би била рентабилна. В същото време, предимствата на кинетичните фасади могат да се разгледат в два аспекта – нетрадиционна и постоянноменяща се визия на сградата и по-ниски разходи за климатизация и осветление в дългосрочен план, т.е. динамичен архитектурен образ, съчетан с висока енергоефективност. Тези положителни характеристики биха извели на преден план употребата на кинетичните фасади, при евентуално бъдещо намаляване и оптимизиране на разходите за проектиране, тестване и реализация на подобни обекти.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Hidden Architecture*. Villa Girasole. <https://hiddenarchitecture.net/villa-girasole/>, accessed 14.09.2020.
2. *Buffoni, Giorgio*. The Al Bahar Towers: Shading, The Real Envelope. <https://igsmag.com/market-trends/super-tall-buildings/the-al-bahar-towers-shading-the-real-envelope/>, accessed 14.09.2020.
3. *Karanouh, Abdulmajid*. AK Presentation. http://alt.ises.org/fileadmin/user_upload/PDF/2013.11.15_AK_Presentation_part2.pdf, accessed 14.09.2020.
4. *Karanouh, Abdulmajid, Kerber, Ethan*. Innovations in dynamic architecture. // *Journal of Facade Design and Engineering* 3(2): p. 185-221, October 2015, https://www.researchgate.net/publication/283683836_Innovations_in_dynamic_architecture, accessed 14.09.2020.

KINETIC FACADE – STUDY EXAMPLE OF AL BAHAR TOWERS, ABU DABI, UNITED ARAB EMIRATES

D. Damov¹

Keywords: *parametric architecture, parametric design, kinetic façade, shading elements*

ABSTRACT

Until recently, the appearance of buildings was dictated by the plasticity of the volume, ornamentation, and materials. The facades changed passively through the environment – they acquired a different look depending on the position of the sun and weather conditions such as clear weather, rain, fog, etc. With the advancement of technology, the next step in the adaptation to the environment is being taken – the kinetic facades are actively reacting to the changes affecting the buildings. They change to have optimal light transmission and air flow depending on climate change. Modern software applications allow real-time analysis of many factors coming from a number of sensors for solar radiation strength, wind strength and direction, humidity and air temperature, etc.

This article analyzes the differences in kinetic facades, their advantages and disadvantages. The facade is considered in one of its main aspects – as a barrier between the interior of a building and the surrounding environment. The historical context and evolution of the facades are traced, studying in more detail the characteristics of the Al Bahar towers in Abu Dhabi, United Arab Emirates, as they are among the largest projects taking advantage of the kinetic façade.

¹ Damyan Damov, Assist. Prof. Arch., Dept. “Residential Buildings”, UACEG, 1 H. Smirrenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: damian.damov@gmail.com