БИОАДАПТИВНАЯ ОБОЛОЧКА ЗДАНИЯ

ROEL LOONEN, ADELYA KHAYRULLINA, JAN HENSEN

Как адаптировать оболочку зданий к воздействию наружного климата и обеспечить заданный микроклимат в помещении, можно поучиться у природы. У биоадаптивных ограждающих конструкций есть большой потенциал в области сокращения энергопотребления и предоставления комфортных условий эксплуатации.

Источник: www.shutterstock.com

ОБ АВТОРАХ

Рул Лунен (Roel Loonen) – магистр Технического университета Эйндховена, Нидерланды. В 2010 году окончил с отличием магистратуру и продолжил научную деятельность в качестве PhD-студента. Его проект посвящён методам обратного моделирования климатически адаптируемых строительных оболочек. В 2011 году занял почётное первое место в международном конкурсе среди студентов REHVA International Student Competition – 2011. С января 2012 года президент сообщества PhD-студентов на факультете Built Environment.

Аделя Хайруллина (Adelya Khayrullina) – магистр Уфимского государственного нефтяного технического университета (УГНТУ, Башкортостан), инженер-строитель по специальности «промышленное и гражданское строительство». В 2012 году защитила магистерскую диссертацию о потенциале ветровой энергии на территории городской застройки с применением методов математического моделирования CFD. С октября 2012 года студентка Технического университета Эйндховена, Нидерланды, кафедра строительной физики и инженерного оборудования зданий.

Ян Хенсен (Jan Hensen) – профессор Технического университета Эйндховена, Нидерланды, кафедра строительной физики и инженерного оборудования зданий.
Профессор Чешского технического университета в Праге, кафедра моделирования эксплуатационных условий. Его исследовательская и преподавательская деятельность основана на моделировании зданий с целью оптимизации их дизайна и проектных решений, повышения энергоэффективности и улучшения эксплуатационных показателей в помещениях. В 2013 году награждён званием почётного члена IBPSA. Хенсен – выдающийся член научных сообществ ASHRAE, REHVA; удостоен многочисленных научных и инженерных наград. Член редколлегии журналов Building and Environment, Energy and Buildings, International Journal of Low-Carbon Technologies, а также основатель и главный редактор Journal of Building Performance Simulation.

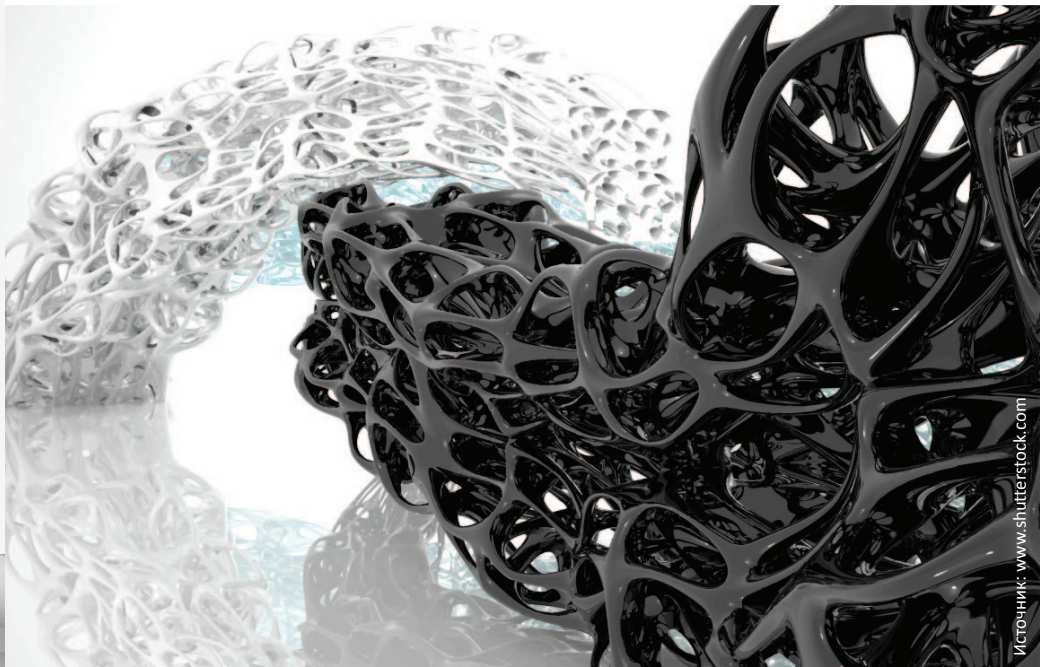
> Биологическая адаптация – это способность системы реагировать на изменение условий окружающей среды. Живые организмы способны эффективно принимать, преобразовывать и накапливать энергию, воду и дневной свет. В противоположность живой природе большинство зданий изначально задуманы как статичные неодушевлённые объекты.

Ограждающие конструкции

Ограждающие конструкции отделяют внутренние помещения и их обитателей от окружающей среды. С одной стороны, ограждающие конструкции защищают от суровых условий окружающей среды, таких как ветер, дождь, чрезмерное солнечное излучение и экстремальные температуры; с другой – они играют роль связующего элемента между пользователями помещений и окружающим миром, регулируя обмен энергией и предоставляя возможность обзора, дневного освещения и поступления свежего воздуха.

Во многих климатических зонах условия окружающей среды в течение года экстремальны и не рассматриваются как комфортные. Ограждающие конструкции способны в определённой степени смягчать эти условия. Для обеспечения здорового и благоприятного микроклимата в помещениях на протяжении года время от времени требуется интенсивное использование искусственного освещения и механических систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Во многих странах применение экологичных источников энергии в строительной отрасли стимулируется с целью снижения выбросов углекислого газа, которые на данный момент представляют одну треть от общемирового количества (IEA, 2012). Межправительственная группа экспертов по изменению климата определила строительную отрасль как сектор с наивысшим экономическим потенциалом для снижения выбросов углекислого газа (Ürge-Vorsatz, Novikova, 2008).

С целью улучшения энергоэффективности зданий Европейский союз



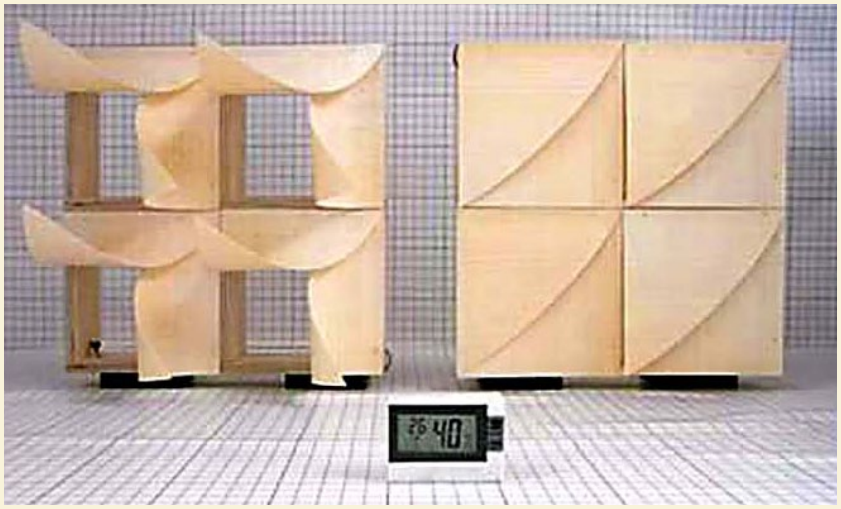
Источник: www.shutterstock.com

занимается разработкой обязательных к применению норм как для строящихся, так и для реконструируемых зданий (Energy Performance of Buildings Directive – Директива по энергопотреблению зданий). Эти нормы направлены на снижение энергопотребления зданий за счёт использования эффективной теплоизоляции и снижения инфильтрации.

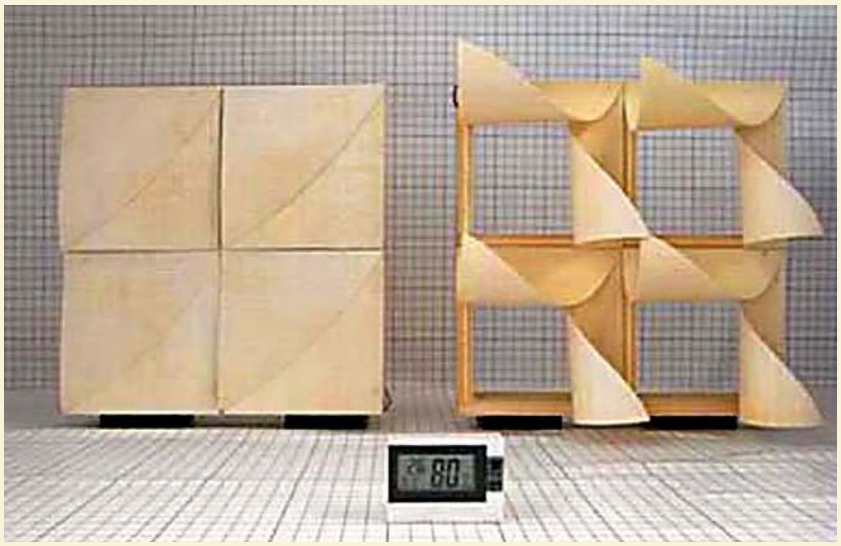
Временами создаётся впечатление, что пассивная стратегия не уделяет внимания комфортному микроклимату в помещениях. Действительно существует много примеров зданий с низким уровнем комфорта (преимущественно с перегревом в летнее время), при проектировании которых главной целью ставилось снижение энергопотребления.

Попытка уравновесить требования энергоэффективности и качества микроклимата в помещениях привела к альтернативному, вдохновлённому природой направлению в проектировании. Суть его в приспосабливаемости ограждающих конструкций. Бионика (биомиметика, biomimicry) – новое направление в науке, изучающее природные структуры и их применение в жизни человека, формирует концептуальные решения в архитектуре. С помощью современных технологий строительства, инноваций в сфере строительных материалов и контролируемых фасадных компонентов возможна разработка новаторских фасадов, способных реагировать на изменения окружающей среды и функционировать как живой организм (Loonen et al., 2013; Loonen, 2014). Созданные природой ограждающие конструкции, такие как ракушки, кожа, оболочки, претерпели значительные изменения в процессе эволюции: снизился расход энергии, но при этом сохранилась способность разрастаться и воспроизводиться. Применяя принципы функционирования живых организмов в архитектуре, можно создать ключевой компонент для развития экологичного строительного сектора.

РИС. 1. ПРОТОТИП ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ METEOROSENSITIVE ARCHITECTURE



Закрытие фасада



Открытие фасада при повышении влажности воздуха

Примечание. Автор исследований и оригинальных фотографий Reichert et al., 2014.

Принципы биоадаптивных конструкций

Биологическая адаптация – это способность системы приспосабливаться, т. е. удовлетворять заданным требованиям, в том числе при изменении условий окружающей среды. Строительные оболочки (ограждающие конструкции), обладающие этим свойством, способны самостоятельно реагировать на изменение окружающих их условий, в частности солнечное излучение, скорость и направление ветра, температура воздуха, осадки и т. д. Таким образом удаётся сократить энергопотребление по сравнению с традиционными статичными зданиями, т. к. ценные источники энергии будут эффективно использоваться, только когда они действитель-

Сооружение Burke Brise Soleil в Музее искусств в Милуоки (Висконсин, США)

но необходимы (Loonen et al., 2013). Биоадаптируемые фасады играют роль своего рода климатического посредника между требованиями комфорта и условиями окружающей среды (Wigginton, Harris, 2002).

Фасады со встроенной функцией биоадаптивности могут быть спроектированы непосредственно под конкретного пользователя.

Архитектура, чувствительная к погодным условиям

Первые бионические проекты, реализованные в строительстве, являлись в основном экспериментальной архитектурой или частными жилыми домами. В настоящее время бионические проекты реализуются на уровне строительных материалов и компонентов, подразумевающих нетрудоёмкое производство и широкую область применения.

Одним из наиболее известных и изученных примеров деформации в природе является открытие и закрытие еловых шишек в ответ на изменение влажности. Учёные S. Reichert, A. Menges и D. Correa в 2014 году заимствовали этот феномен и использовали его в разработке инновационного фасада. Данный подход, названный Meteorosensitive Architecture, предполагает применение упругой деформации фанерной структуры в фасадной системе, реагирующей на влажность. Замечательное свойство этой структуры в том, что материал реагирует как сенсор и как силовой привод. Материал может быть «запрограммирован» для реагирования на преобладающие условия окружающей среды различными способами (рис. 1).

Павильон Quadracci

Безошибочно вдохновлённое крыльями птиц знаковое сооружение Burke Brise Soleil (архитектор Сантьяго Калатрава) ограждает павильон Quadracci Музея искусств в Милуоки (штат Висконсин, США). Архитектурное украшение состоит из 72 стальных рёбер, охватывающих кровлю стеклянного купола высотой 27 м, и синхронно открывающихся и закрывающихся в соответствии со временем работы музея. Морфологическое сходство с птицей задумано не только с эстетической, но и с функциональной точек зрения. Солнечные ламели динамично защищают помещение от избыточного солнечного излучения, но не способом, связанным с орнитологической задумкой этого фасада. Можно, безусловно, поспорить на тему эффективности этой конструкции и его преимуществами перед традиционными фасадными решениями.

BIQ House

Существуют также ограждающие конструкции, способные адаптироваться за счёт внедрённых и функционирующих в них живых организмов. Пример – биофасад BIQ House на международной выставке зданий в Гамбурге (Германия). BIQ House оборудован интегрированными в фасад биологическими реакторами – прозрачными контейнерами с микроводорослями, которые выращиваются

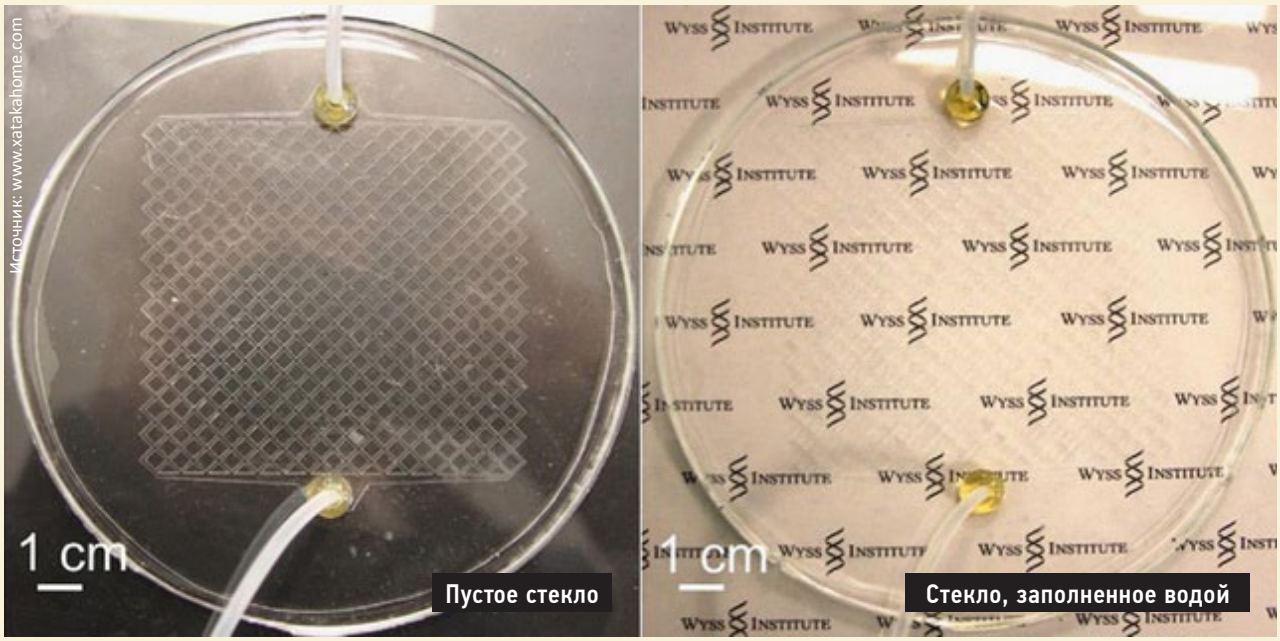
Фасад из водорослей BIQ House на международной выставке зданий в 2013 году в Гамбурге (Германия)

в фасадных элементах. Во время роста водоросли выполняют функции системы затенения, солнечных тепловых коллекторов и поглотителей углекислого газа. После культивирования часть водорослей может быть высушена и использована в качестве биомассы (Wurm, 2013).

Искусственная сосудистая система для теплового регулирования окон

Внутренние сосудистые системы, присутствующие в большинстве теплокровных организмов, формируют основу для биоадаптируемого оконного стекла, разработанного в Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering Гарвардского университета (США) (Hatton et al., 2013). Стекло снабжено матрицей тончайших прозрачных водяных каналов, играющей роль микроструйного теплообменника для контроля температуры поверхности стекла (рис. 2). Благодаря регулированию потока воды в системе, достигается динамическое терморегулирование.

РИС. 2. ИСКУССТВЕННО СОЗДАННАЯ СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА В СТЕКЛЕ С СЕТКОЙ 10 Ч 10 СМ², ДИАМЕТР КАНАЛОВ 1 ММ



Примечание. Автор исследований и оригинальных фотографий Hatton et al., 2013.

Исследователи сообщают об охлаждающей способности данной системы на 7–9 °C при сравнительно малом потоке воды и верят в значительный потенциал снижения энергопотребления при применении инновационного стекла на всей площади фасада (Hatton et al., 2013). Следующей целью является увеличение теплоёмкости данной конструкции с помощью применения материалов с изменяемым фазовым состоянием (phase change materials, PCM) на уровне наноструктуры.

Smart Energy Glass

«Переключаемые» окна (Smart Energy Glass) способны контролировать светопроницаемость в ответ на изменяющиеся условия окружающей среды и требования по освещению помещений.

В настоящее время данная технология производства окон обещает стать важным игроком в проектировании энергоэффективных зданий. Более того, такие окна предоставляют возможность регулировать уровень естественного освещения без слепящей яркости и перегревания помещений. Прогресс за последние годы привёл к выпуску в продажу первого поколения «переключаемых» стеклопакетов. Smart Energy Glass не только поглощает часть солнечного излучения, но и конвертирует его в электричество. Благодаря своим свойствам, это стекло является идеальным решением при реконструкции зданий, т. к. стеклопакеты не требуют дополнительных проводов или источников питания.

Скользящий дом

Скользящий дом (Sliding House) – проект, реализованный dRMM Architecture в Суффолке (Великобритания). Выглядит он как простое деревянное строение и, возможно, не особо впечатлит вас с первого взгляда. Однако стоит узнать, что скрывает в себе это непримечательное здание. Дизайн дома настолько уникален, что ни один архитектурный термин не сможет должным образом его определить. Лучший способ описать дом – это сказать, что он скользит. Наружная стена здания представляет собой оболочку (вторую «кожу»), которая скользит вдоль продольной оси здания и скрывает под собой фасад. Скользя туда и обратно, мобильная оболочка здания предоставляет жителям невероятную свободу в выборе внешнего вида и функционирования

Источник: www.peerplus.nl

Установка «переключаемых» стеклопакетов (Smart Energy Glass)

Скользящий дом (Sliding House) в Суффолке (Великобритания)

Photo © Alex de Rijke

Прозрачная солнечная панель Solar Swing

здания. Освещение и сфера интерьеров могут быть изменены за счёт простого перемещения оболочки. Можно также регулировать систему отопления и кондиционирования воздуха в течение года. Здание будто натягивает одеяло при холодах и скидывает его, если жителям хочется больше солнца и свежего воздуха.

Прозрачная солнечная панель, следующая за солнцем

Представьте подсолнухи, следующие за лучами солнца. Что если и фотоэлектрические системы затенения могли бы постоянно ориентироваться на солнце? Solar Swing – это интегрированная в здание прозрачная солнечная панель, которая оптимизирует естественное освещение и генерацию электроэнергии от солнечного излучения. Здание превращается в источник энергии и хорошего самочувствия для его пользователей. Данное решение сможет заменить традиционные светопрозрачные фасады и кровли. В отличие от обычных солнцезащитных приспособлений, способных только абсорбировать и отражать свет, Solar Swing использует линзы для концентрации солнечного света и проецирует полученную энергию на маленькие фотоэлектрические ячейки. Рассеянный свет при этом не блокируется, и система предоставляет естественное дневное освещение без слепящего блеска.

«Земля, ветер и огонь»

Концепция «земля, ветер и огонь» реализует потенциал возобновляемых источников энергии (геотермальные источники, ветер и солнечная энергия) для того, чтобы не использовать ископаемое топливо для вентиляционного и охлаждающего оборудования (Bronsema, 2013). Здесь оболочка здания играет ключевую роль в создании комфортного микроклимата в помещениях.

Концепция состоит из трёх главных компонентов для кондиционирования воздуха и вентиляции и создания необходимой тяги (разницы давлений) (рис. 3):

1. Кровля формы Venturi – для увеличения притока свежего воздуха (естественная вентиляция).
2. Фасад-теплообменник Climate Cascade с системой распыления за счёт гравитации – для испарительного охлаждения.
3. Солнечный (тепловой) дымоход – под воздействием солнечного излучения нагревается и стимулирует тягу.

Результаты математического моделирования доказывают, что применение дополнительных систем хранения теплоты позволяет достигнуть нулевого энергопотребления здания (Bronsema, 2013).

Средства проектирования

Бионика – развивающаяся отрасль в архитектуре и строительстве, и значительное число биовдохновлённых адаптируемых фасадов прошли путь от концепции к реальности. Существуют споры, что во многих случаях термин «биовдохновлённый» присвоен ограждающим конструкциям по надуманной причине. Более того, некоторые биовдохновлённые здания часто

не продуманы и не всегда соответствуют принципам природы.

Для того чтобы достичь основательного применения бионики в архитектуре, с потенциалом влияния на эффективность жизнедеятельности, необходимо установить более основательный, систематичный и рациональный «переводный» процесс от природы к ограждающим конструкциям (Badarnah, 2013). Препятствиями к этому процессу можно назвать:

- труднодоступность информации при систематизации природных принципов;
- сложности в проведении аналогии между биологическими существами и зданиями (недостаточно знаний);
- конфликт между требованиями функциональности и эстетики;
- масштабирование – сложности перехода от микронаблюдений к принципам проектирования на уровне человека или здания.

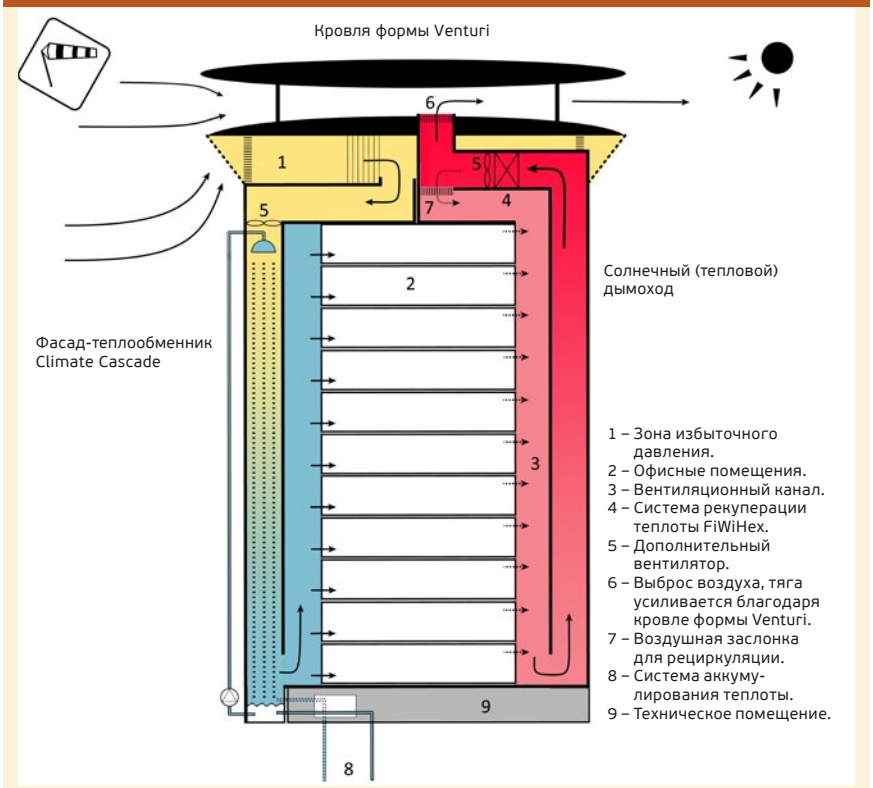
Недавно был предложен ряд методологий и средств для стимулирования проектирования вдохновлённых природой зданий.

С одной стороны, эти методы фокусируются на классификации и организации. Здесь стоит отметить результаты проекта Austrian BioSkin. По завершении стадии фундаментальных исследований были отобраны 240 организмов, обладающих потенциалом применения их функций в фасадных системах. В результате были сформированы 43 биологических принципа для ограждающих конструкций, которые подробно описаны в базе данных и находятся в свободном доступе в Сети.

С другой стороны, были попытки разработать методологии, помогающие проектировщикам от стадии изысканий до разработки концепции. Ссылаясь на адаптируемые фасадные системы, стоит отметить диссертацию PhD Лидии Бадарнах (Технический университет Делфта, Нидерланды). В своей работе она разработала избирательную методологию для создания концепций ограждающих конструкций, вдохновлённых природой. Автор также описывает различные принципы построения организмов в доступной для архитекторов и инженеров форме.

Вышеописанные методы помогут выдвинуть идеи биовдохновлённых адаптируемых фасадов из среды плохо изученных и образных концепций в строительную практику.

РИС. 3. ПРИНЦИП ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ СИСТЕМЫ «ЗЕМЛЯ, ВЕТЕР И ОГОНЬ».



Примечание. Иллюстрация заимствована из диссертации PhD Bronsema, 2013

Литература

1. Badarnah L. Towards the LIVING Envelope: Biomimetics for Building Envelope Adaptation: PhD Thesis. Delft University of Technology, 2013.
2. Braun D. H. Bionisch Inspirierte Gebäudehüllen: PhD Thesis. Stuttgart University, 2008.
3. Bronsema B. Earth, Wind & Fire – Natural Air Conditioning: PhD Thesis. Delft University of Technology, 2013.
4. Brownell B. Transmaterial 3: A Catalog of Materials That Redefine Our Physical Environment. N. Y.: Princeton Architectural Press, 2010.
5. Chen P. Y., McKitrrick J., Meyers M. A. Biological Materials: Functional Adaptations and Bioinspired Designs // Progress in Material Science. 2012. Vol. 57 (8). Pp. 1492–1704.
6. Loonen R. C. G. M. Climate Adaptive Building Shells. 2014.
7. Loonen R. C. G. M., Trčka M., Cóstola D., Hensen J. L. M. Climate Adaptive Building Shells: State-of-the-Art and Future Challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 25. Sept. Pp. 483–493. doi:10.1016/j.rser.2013.04.016.
8. www.pinterest.com/CABSoverview

С полным списком литературы можно ознакомиться на сайте www.zvt.abok.ru.