



Строительные материалы и изделия Construction Materials and Products

ISSN
2618-7183

journal homepage: <https://bstu-journals.ru>

DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-5-59-69



Использование современных материалов в бионаправленной архитектуре

Жандарова А.А.*^{1,2}, Денисенко Е.В.¹

¹ Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Россия,

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия

**Ответственный автор E-mail: zhandar.a@yandex.ru*

Аннотация: мы живем в динамичное время и необходимость эволюции в архитектуре неизбежна. С приходом новых поколений и стремительного развития прогресса появляются современные стили, идеи, технологии и материалы.

Цель статьи изучить новые материалы, способствующие инновациям и обновлению, которые могут быть использованы в бионаправленной архитектуре. Выделены основные типы современных материалов, дан прогноз на будущее формирование, основанный на развитии и тенденциях проектирования.

Главные результаты исследования заключаются в выявлении вектора развития природного подхода в архитектуре. Ценность полученных знаний состоит в том, что биоматериалы направлены на улучшение качества архитектуры и ее гармоничного сосуществования с природой. Применение существующих и новых биоматериалов позволит улучшить городскую ткань.

Ключевые слова: бионаправленная архитектура, взаимодействие архитектуры и природы, природная аналогия, биотехнология, наноматериал, энергоэффективность

Для цитирования: Жандарова А.А., Денисенко Е.В. Использование современных материалов в бионаправленной архитектуре // Строительные материалы и изделия. 2022. Том 5. № 5. С. 59 – 69. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-5-59-69

Use of modern materials in bidirectional architecture

Zhandarova A.A.*^{1,2} , Denisenko E.V.¹ 

¹ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Russia,

² Kazan (Privolzhsky) Federal University, Russia

*Corresponding author E-mail: zhandar.a@yandex.ru

Abstract: we live in a dynamic time and the need for evolution in architecture is inevitable. With the advent of new generations and the development of technological progress, modern styles, ideas, technologies and materials appear.

The purpose of the article is to explore new materials that promote innovation and renewal, which can be used in bidirectional architecture. The main types of biotechnological materials are identified, a forecast for the future formation is given, based on the development and design trends.

The main results of the study are to identify the vector of development of the natural approach in architecture. The value of the acquired knowledge lies in the fact that biotechnological materials are aimed at improving the quality of architecture and its harmonious coexistence with nature. The application of existing and new biotechnological materials will improve the urban fabric.

Keywords: bidirectional architecture, interaction of architecture and nature, natural analogy, biotechnology, nanomaterial, energy efficiency

Please cite this article as: Zhandarova A.A., Denisenko E.V. Use of modern materials in bidirectional architecture. Construction Materials and Products. 2022. 5 (5). P. 59 – 69. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-5-59-69

ВВЕДЕНИЕ

Биологический мир представляет собой бесконечный источник, из которого человек черпает вдохновение. Одной из интерпретаций такого вдохновения может быть материал, найденный в природе, и использование его так, как задумала природа. Мы стоим на пороге архитектуры будущего поколения: высокотехнологичной, чрезвычайно экологичной, благодаря разумному использованию функционально адаптивных материалов, изделий и конструкций, реагирующей на изменения и способствующей адаптации к ним.

Взаимосвязь между архитектурой и материалами была довольно простой до промышленной революции. Материалы были выбраны либо прагматично – из-за их полезности и доступности, либо формально – из-за их внешнего вида и декоративных качеств. Кроме того, материалы не были стандартизированы, поэтому строители и архитекторы были вынуждены полагаться на внешнее понимание их свойств и производительности. Знание материалов было приобретено благодаря опыту и наблюдениям.

Тема бионаправленной архитектуры (Бионаправленная архитектура – направление в архитектуре, характеризующееся привлечением природной составляющей – цитирование, копирование или интерпретации форм, структур, процессов или природных элементов) – из диссертации Денисенко Е.В. «Принципы формирования архитектурного пространства на основе биоподходов, 2013 г.) актуальна в связи увеличения масштаба биотехнологий (рис.1). Мейнстрим бионаправленной архитектуры пока еще не столь радикален, но достижения науки, применение новых материалов, технологий располагают к строительству архитектуры, взаимодействующей непосредственно с природой и человеком и отвечающей на его потребности и запросы.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Данное исследование выполнено на основе изучения современных материалов, включающие в себя наноматериалы, энергоэффективные материалы, использование биотехнологий и изучение природных аналогий.

Метод исследования основывается на комплексном подходе, включающем в себя общенаучные – наблюдения, классификации материалов, графоаналитический метод анализа архитектурных проектов, нахождения зависимости и общих свойств, а также сравнительный анализ характеристик. В статье представлены авторская схема.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Бионаправленная архитектура подразумевает использование замкнутых материальных циклов и минимизацию общего энергопотребления [1]. При выборе материалов в дополнение к конструктивным, эстетическим и экономическим аспектам необходимо учитывать также экологические аспекты:

- Бережное обращение с ресурсами, особенно с невозобновляемыми.
- Экологическое воздействие, воплощенное в материале (как следствие производства и транспортировки).
- Потенциальное повторное использование или переработка.
- Токсичность (материала или побочных продуктов).
- Энергетический баланс, содержащий: количество химически связанной энергии, которое было необходимо для производства; воплощенная энергия для производства и транспортировки; энергия для эксплуатации и технического обслуживания; энергия для переработки материала.

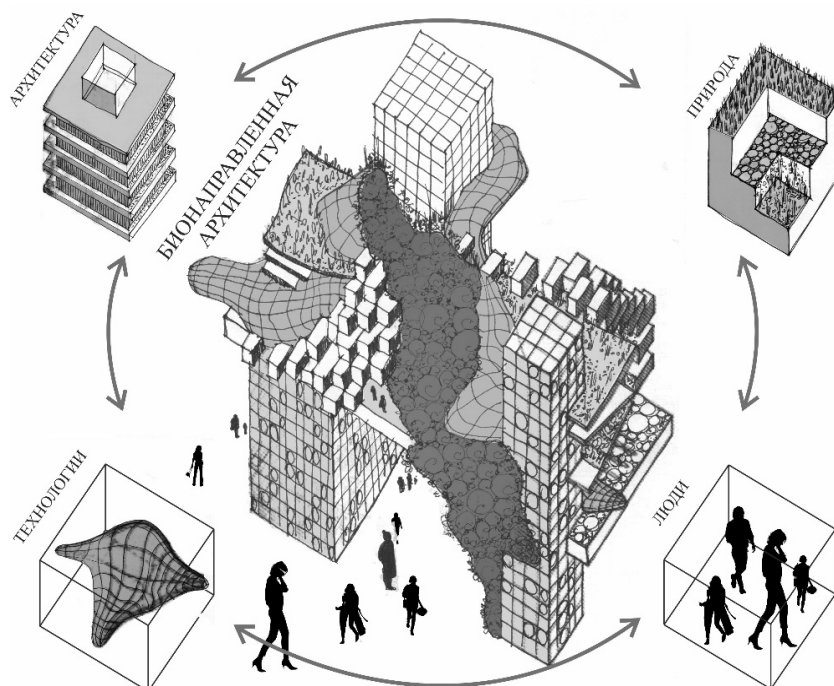


Рис. 1. Структура бионаправленной архитектуры. (Авторская схема.)

Fig. 1. Structure of bioreciprocal architecture. (Author's scheme)

Наноматериалы в архитектурном проектировании

Наноархитектура – это слияние нанотехнологий и архитектуры. Наноархитектура варьируется от материалов, повышающих энергоэффективность зданий, до проектирования различных форм и архитектурных выражений в строительном секторе. Нанотехнологии окажут влияние на строительные материалы и смогут манипулировать их свойствами на наноуровне [2].

Поскольку строительная отрасль является крупнейшим производителем выбросов CO₂, использование нанотехнологий играют важную роль в изменении свойств традиционных методов и повышении их энергоэффективности [3]. Нанотехнология обладает следующими преимуществами: борется с изменением климата; сокращает выбросы парниковых газов в будущем; повышает энергоэффективность здания; устойчивое строительство.

Наночастица. Это атомная частица, размер которой измеряется в нанометрах (нм). При введении в сыпучий материал наночастицы могут сильно влиять на механические свойства материала, такие как жесткость или эластичность. Такие нанотехнологически улучшенные материалы позволят снизить вес, сопровождаемый повышением стабильности и улучшенной функциональностью. Две наноразмерные частицы, которые выделяются при их применении в строительных материалах, – это диоксид титана (TiO₂) и углеродные нанотрубки (УНТ) [4].

Углеродные нанотрубки. Нанотрубки представляют собой трубчатую форму углерода диаметром 1 нм, изготавливается из листов, свернутых в трубки [5]. Они имеют электропроводность, которая на 6 порядков выше, чем у меди, и соотношение прочности к весу, которое в 500 раз больше, чем у алюминия. Мы сможем программировать свойства материала. Кроме того, построение снизу-вверх может позволить самосборку материала, при которой случайное (не непрерывное) движение атомов приведет к их объединению, или к самовоспроизведению, при котором рост происходит за счет экспоненциального удвоения.

Нанокompозиты. Нанокompозиты состоят из наноразмерных частиц, встроенных в различные матрицы, например, в полимеры, стекло и керамику. С помощью этой технологии можно создавать разнообразные химические, физические, электрические и оптические свойства в архитектурном проектировании. Нанокompозиты объединяют новые наноматериалы с традиционными материалами, такими как сталь, бетон, стекло, и делают их намного прочнее обычных материалов и даже улучшают производительность, долговечность и соотношение прочности к весу этих материалов [5].

В архитектуре функциональные фасадные поверхности становятся все более распространенными. Примерами таких применений являются легко моющиеся и фотохромные покрытия (темнеет с интенсивностью света).

По словам Джона М. Йохансона (Джон М. Йохансон – американский архитектор из FAIA.), предсказано, что с помощью нанотехнологий здания смогут общаться сами с собой. Интеллектуальное здание – это здание, которое может думать и оценивать свои потребности, чтобы устранить свои слабые стороны, но, если здания обладают искусственным интеллектом, даже не консультируясь с архитектором, они могут вписаться в окружающую среду как единое целое [6].

В ближайшем будущем материалы достигнут молекулярного совершенства, следовательно, архитектурные проекты будут развиваться и производить революцию. По мере развития новых материалов и методов строительства, начало повседневного использования нанотехнологий, безусловно, дадут волю воображению архитектора. Ученые, работающие в области нанотехнологий, предсказывают будущее, поскольку наноматериалы будут вести себя как совершенно отдельная сущность. Изменения в архитектурной сфере в некоторых развивающихся странах неизбежны благодаря нанотехнологиям.

Энергоэффективные материалы в архитектурном проектировании

Основной принцип энергоэффективного проектирования представляет собой использование современных материалов, методов и технологий. Основываясь на новых подходах в проектировании, немаловажное значение уделяется энергоэффективности, экологичности, экономичности в последующей эксплуатации архитектурного пространства [7]. Используя устойчивые технологии производства, природа добилась лучших эксплуатационных характеристик.

Антибликовая поверхность. Микроскопически маленькие решетки, уже чем длина волны света, покрывающие глазные поверхности насекомых – мотыльков. Эта структура влияет на отражение и преломление света. Насекомому это обеспечивает хорошее ночное зрение, поскольку его глаза почти ничего не отражают – эффективно используется доступный свет и хорошая маскировка [8].

Архитектурная среда имитирует этот принцип. Производство реализуется методом лазерного травления оргстекла и фольги и сегодня используется в качестве просветляющего покрытия для оптических стекол.

Аэрогель. Аэрогели были открыты в 1960-х годах. Основными материалами являются оксиды кремния, алюминия, железа, титана и тантала. Наиболее широко используется оксид кремния, химически обработанный углеродом или формальдегидом. Гели сушат при высоком давлении и высокой температуре в так называемом сверхкритическом состоянии вещества, чтобы избежать усадки. Затем части аэрогеля создают трехмерную сеть, подобную консолидированному туману, который обладает особыми свойствами:

- Чрезвычайно низкая плотность, высокая пористость и высокая прочность
- Прозрачность (относительная)
- Аэрогели могут быть проводниками электричества или изоляторами
- Превосходный изоляционный материал, теплопроводность которого составляет 0,012 Вт/(м*К) (пенополистирол 0,024)
- Акустическая скорость меньше, чем в воздухе

Эти эффекты представляют собой результат фрактальной структуры материала, который состоит на 98% из воздуха. Состояние вещества находится между жидким и газообразным.

Из-за энергозатрат производство материала обходится дорого. Поэтому используются аэрогелевые грануляты. В архитектуре они используются для прозрачной изоляции внутри стеклопакетов или доски из поликарбоната, и они используются в пассивных солнечных панелях. Например, шведская компания Airglass и BASF производят аэрогель [5].

Пленка ЭТФЭ (ETFE). SMO Architektur (SMO Architektur – немецкое архитектурное бюро, основанное в 1994 году С. М. Орейзи. Сейед Мохаммад Орейзиродился в Ширазе, Иран, в 1959 году. Он иранского происхождения и с 1974 года живет в Европе) и Agur (Agur – британское архитектурное бюро. Бюро было основано в 1963 инженером Ове Арупом (Ove Arup) и архитектором Филипом Даунсоном (Philip Downson) спроектировали пузырь High-rise (Берлин, 2002 г.), упаковав структурный объем пузырьками различных размеров, а затем использовали пересечение пузырьков и внешних плоскостей объема для создания структуры, которая дает полностью свободные от колонн внутренние пространства [3]. Стратегия проектирования и строительства, основанная на заполняющих пространство многогранниках и геометрии пенопласта, представляет прочные и пластичные конструктивные системы.

Несмотря на кажущуюся хаотичность, элементы конструкции рациональны, следовательно, экономичны для строительства. Сеть стальных трубчатых элементов покрыта полупрозрачными мембранами из этилен-тетрафторэтилена (ETFE). Мембраны ETFE делают здание очень энергоэффективным, а во внутреннее пространство попадает достаточное количество солнечного света [5].

Hybrid Muscle. Примером того, как здание может преобразовывать механическую энергию в электрическую, является проект Hybrid Muscle французских архитекторов R & Sie (Франсуа Рош (Франсуа Рош – французский архитектор. Рош является соучредителем и директором R & Sie (n) Architects и исследовательской архитектурной фирмы New Territories / M4.) и Филипп Паррено (Филипп Паррено – современный французский художник, живущий и работающий в Париже. Его работы включают фильмы, инсталляции, перформансы, рисунки и тексты.)). Противовес, установленный в здании, был поднят буйволом и обеспечил электроэнергией, от электрического генератора, для питания десяти лампочек, ноутбука, мобильных телефонов [4].

Архитектор Митчелл Джоахим (Митчелл Джоахим – архитектор, профессор и лидер в области экологического дизайна и урбанизма) представил идею плавучей фитнес-студии (рис. 2). Энергия, поступающая во время движения от людей, посещающих тренажерный зал, преобразуется в электрическую и используется для приведения в действие RiverGym NY, который, способен изменить геометрию архитектурного пространства. Интеллектуальный материал деформируется и стабилизируется за счет переноса объемов воздуха, для получения электроэнергии.



Рис. 2. RiverGym NY. (Автор: Митчелл Джоахим, 2009 г.)
Fig. 2. RiverGym NY. (Author: Mitchell Joachim, 2009)

Биотехнологии в архитектурном проектировании

Биотехнологии – одни из ключевых технологий XXI века. Термин «Био» охватывает множество различных технологий, методов и материалов. Технологический дизайн превосходит ограничения эволюционного дизайна [9]. Эволюционный дизайн включает в себя больше информации, он максимально усовершенствован и консервативен. Синтез биотехнологий и эволюции должен предоставить еще больше возможностей.

AguaHoja. Это исследование, объединяющее дизайн и природу (рис. 3, 4). Инновационная структура, в которой используются самые простые соединения, найденные в ветвях деревьев, экзоскелетах насекомых и человеческих костях, была спроектирована в цифровом виде и роботизировано изготовлена компанией Neri Oxman Mediated Matter Group (Нери Оксман – американско-израильский дизайнер и профессор Медиа-лаборатории Массачусетского технологического института. Руководитель исследовательской группы по опосредованной материи).

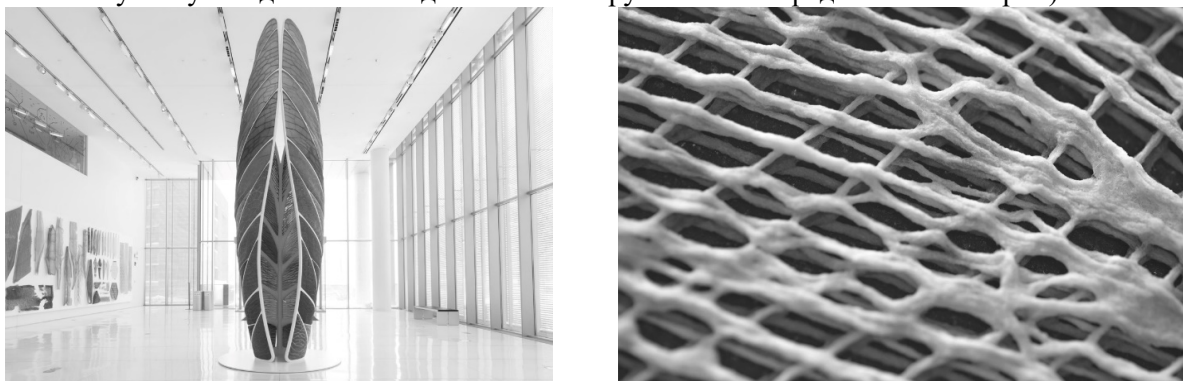


Рис. 3, 4. AguaHoja. (Автор Нери Оксман, 2019 г.)
Fig. 3, 4. AguaHoja. (Author: Neri Oxman, 2019)

Пятиметровая оболочка сооружения состоит из целлюлозы, хитозана и пектина – самых распространенных материалов на планете (The Mediated Matter Group, 2014). Эти материалы, содержащиеся в деревьях, ракообразных и коже яблок, могут быть использованы для создания уникальных, эффективных и биоразлагаемых структур [10].

AguaHoja предлагает альтернативу пластику за счет производства биополимерных композитов, обладающих настраиваемыми свойствами с «различными механическими, оптическими, обонятельными и даже вкусовыми свойствами», разрушая цикл токсичных отходов. Роботизи-

рованная производственная платформа предназначена для превращения целлюлозы, хитозана, пектина и других широко доступных биополимеров в высокопроизводительные, возобновляемые гидрогели, которые могут быть напечатаны в 3D объекты любого масштаба.

Habitat 2020. Это перспективный пример биомиметической архитектуры, которая сочетает высокотехнологичные идеи с базовыми клеточными функциями для создания живых структур, функционирующих подобно живому организму (рис. 5).

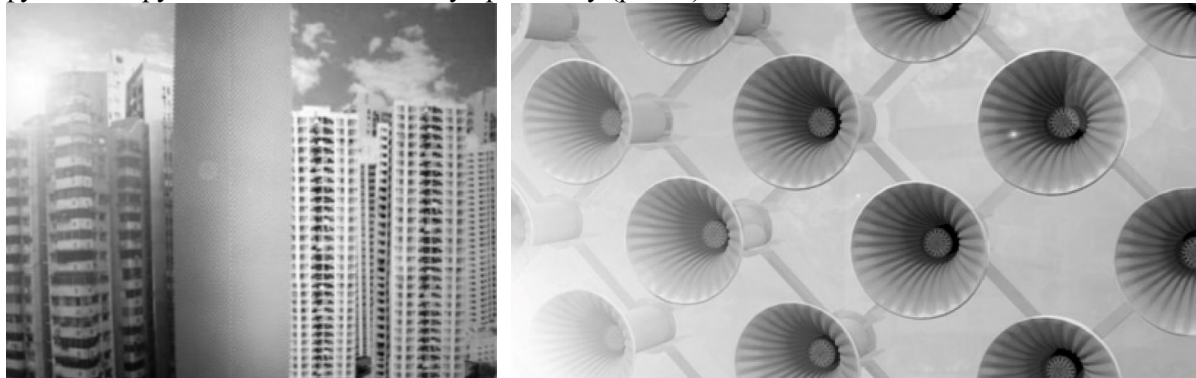


Рис. 5. Habitat 2020. (Автор Philips Design, 2008 г.)

Fig. 5. Habitat 2020. (Author: Philips Design, 2008)

Внешний вид был спроектирован как живая кожа. Кожа, представляет собой мембрану, служащую связующим звеном между внешней и внутренней средой обитания. Альтернатива кожи - поверхность листа, имеющая несколько устьиц, клеточных отверстий, участвующих в газообмене и транспирации в растениях.

Поверхность позволяла бы проникать свету, воздуху и дождевой воде во внутрь здания, где она будет очищаться, фильтроваться, использоваться и рециркулировать. Образующиеся отходы будут преобразованы в энергию биогаза, которая может быть использована для различных целей [6].

Биотехнологии окажут влияние на строительные материалы и смогут манипулировать их свойствами. По мере развития новых технологий и методов строительства, начало повседневного использования биотехнологии, безусловно, дадут волю воображению архитектору.

Природные аналогии в архитектурных материалах

Живые организмы обладают огромным потенциалом при поиске благоприятных и «умных» условий и реализации структурных элементов в архитектуре. Архитектура, имеющая характеристики живого организма, призвана улучшать окружение и жизнь человека; создавать приспособляющую, комфортную, мобильную и устойчивую архитектурно-пространственную среду; отображать движение научно-технического прогресса, соответствовать общественным и природным идеалам и решать глобальные проблемы.

Зеленые макроводоросли. Проект «Анатомия водорослей» архитектурной школы Бартлетта («The Bartlett School of Architecture» – Академический центр по изучению застроенной среды при Университетском колледже Лондона, входящий в состав Лондонского университета в Лондоне, Соединенное Королевство), посвящен определенному типу водорослей, классифицируемых как зеленые макроводоросли (рис. 6). Зеленые макроводоросли, или морские водоросли, обычно встречаются во многих различных морских средах и могут расти круглый год. В своем естественном состоянии они способны фильтровать воду, а под воздействием солнечного света являются естественным источником кислорода.



Рис. 6. Анатомия водорослей. (Автор: Архитектурная школа Бартлетта, 2019-2020 г.)
Fig. 6. Algae anatomy. (Author: The Bartlett School of Architecture, 2019-2020)

Учитывая физические свойства, водоросли обладают привлекательной естественной окраской. Во влажном или высушенном состоянии их потенциал для манипуляций меняется – влажное состояние обеспечивает повышенную плотность, что облегчает лепку материала. В ходе экспериментов по извлечению крахмала из различных видов водорослей, был получен мембраноподобный материал, обладавший различными уровнями прочности, эластичности и прозрачности.

В ходе экспериментов структурных свойств чистых водорослей, а также функциональных и эстетических качеств экстрагированного из них крахмала, для более масштабного архитектурного применения был найден наполнитель, который поможет водорослям стать более прочным, несущим структурную нагрузку материалом. Высушенная на воздухе глина, благодаря своей пластичности, нетоксичному составу и низкой степени переработки, стала мощным направлением развития материалов из зеленых водорослей [11].

Результатом всего исследования стал проект экопоселения, расположенный на существующей аквакультурной территории Хуанбяо, где, прилив сливается с ландшафтом. Картография применяемых материалов из водорослей и глины.

Льняное волокно. Проект «Skin of Flax» архитектурной школы Бартлетта, исследует использование натурального льняного волокна в качестве экологически чистого архитектурного материала [12]. Лен обладает высокой долговечностью, прочностью и большой прочностью на растяжение. Благодаря мокрому валянию и формованию разрабатывается «кожа» для зданий. Материал, может быть ворсистым или гладким и одновременно гибким, упругим.

Тутовый шелкопряд. Шелковый павильон II от Нери Оксман, высотой и шириной пять метров, дает представление о радикально устойчивых методах вязания и средствах сотрудничества между людьми. Павильон был разработан путем сочетания биологического строительства и кинетического развития, объединяя построенное и выращенное, технологию и биологию.

Павильон состоит из трех слоев, которые взаимосвязаны по форме и функциям. Его самый внутренний слой изготовлен из одномерных плетеных шнуров из стальной проволоки. Далее идет двухмерная ткань, на которой размещены шелкопряды. Последний, третичный слой представляет собой трехмерную структуру, которая была биологически обработана на одном из самых обширных предприятий по выращиванию тутового шелкопряда [10].

«Platanus x Acerifolia». В индустриальную эпоху в густонаселенных городах, таких как Лондон, воздух начал густеть от смога ядовитых загрязняющих веществ, состоящих из газов, выделяемых вновь построенными заводами [13].

Чтобы улучшить условия воздуха и здоровье населения города, по всему городу был посажен вид гибридного дерева под названием «Platanus x Acerifolia (Platanus x Acerifolia – разно-

видность дерева рода *Platanus*, известное как Лондонский самолет)». Это растение способно извлекать примеси из окружающего воздуха и накапливать их в порах, расположенных на коре дерева. Как только поры заполняются, фрагмент коры обновляется и опадает, обнажая свежий слой, размещающегося под ним.

Проект «Exhale». Биологический проект «Exhale», разработанный инженером-конструктором и новатором в области новых материалов Дж. Мельхиорри в 2014 году (рис. 7, 8). Проект нацелен на урбанизированные города, которые, считаются недостижимыми для природы, путем использования эффективности природы в искусственной среде. «Exhale» вдохновлен процессом фотосинтеза для создания системы, которую можно было бы реализовать искусственным путем.

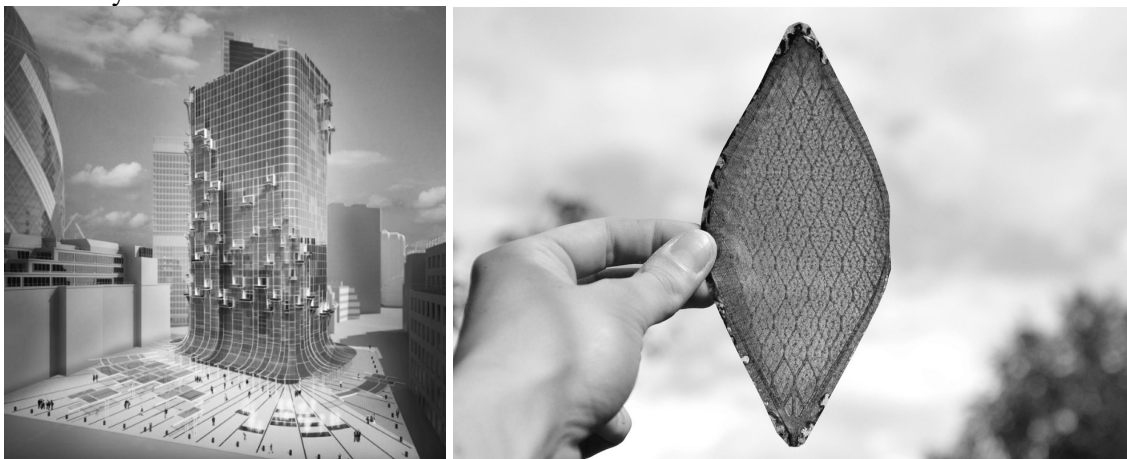


Рис. 7, 8. Exhale. (Автор: Дж. Мельхиорри, 2014 г.)
Fig. 7, 8. Exhale. (Author: J. Melchiorri, 2014)

Элемент, небольшого размера, состоит из сосуда с протеином шелка, микроводорослей и жидкого раствора. Структура шелковых мешочков позволяет безопасно хранить микроводоросли, одновременно пропуская воздух [14]. Таким образом, каждый компонент работает на потребление CO_2 , вырабатывая кислород и производя небольшое количество биомассы, которую впоследствии можно сжигать для выработки энергии.

«Exhale» может стать новым строительным материалом, использованным в качестве фасадного, вентиляционного и интерьерного решения. Мельхиорри, утверждает, что по мере увеличения потока воздуха, эффективность материала повышается.

Итак, простые существа, такие как бактерии и водоросли, представляют собой системы огромной сложности, которые предлагают множество различных областей исследований. Несмотря на множество предположений и интригующих исследований, следует помнить, что никакая жизнь еще не была синтезирована в лаборатории. Разрыв между химической эволюцией и настоящими клетками остается неизменным.

ВЫВОДЫ

Архитектура сливается с биологией и инженерией, формируя новые методы производства [15]. Наряду с архитектурным моделированием, разработки в области синтетической биологии, материаловедением и биотехнологией продвинулись вперед. Использование биотехнологий в более широком масштабе, изучение больших экологических систем в архитектуре, представляет собой важный процесс.

Изучив современные материалы в архитектуре, исследование показало, потенциал научного прогресса в области технологичного движения по концепции бионаправленной архитектуры в будущем. Изучая окружающие нас живые материалы, мы можем начать применять аналогичные характеристики для формирования новых жизнеподобных материалов для строительства. Очевидно, что архитектура сливается с биологией и инженерией, формируя новые методы производства [16]. Вместе с архитектурным моделированием, ведутся разработки в синтетической

биологии, материаловедении и биотехнологий. Мы видим новые гибридные технологии, материальность живых форм, интегрированных в архитектурную среду. Многие из представленных современные материалы в этой статье спрогнозировали развитие дизайна, структуры и методов перемен в архитектуре ближайшего будущего.

Сложное взаимодействие между формой, материалом и структурой природных материальных систем легло в основу бионаправленных промышленных процессов, создающих новые высокоэффективные материалы [17]. Новые процессы оказывают неотразимое влияние на многие отрасли промышленности, а новые материалы радикально трансформируют окружающую и архитектурную среду.

Бионаправленная архитектура характеризуется прогрессивными технологиями и материалами; нацеленными на удовлетворение актуальных требований и решение экономических, социальных и культурных проблем современного города, в том числе дефицит природных ресурсов и систем инфраструктуры, экспоненциальный рост населения, ухудшение окружающей среды и рост городов. Новые тенденции в области цифровизации и глобализации продолжают перестраивать сферы повседневной жизни и изменять нашу физическую среду, в том числе архитектуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Денисенко Е.В. Принципы формирования архитектурного пространства на основе биоподходов: дис. ... канд. архит. Нижний Новгород, 2013. С. 185.
- [2] Жуйков С.В. Использование нанотехнологий для проектирования строительных конструкций // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 6. С. 26 – 47.
- [3] Petra Gruber. Biomimetic in architecture. A.: SpringerWienNewYork, 2019. 276 p.
- [4] Lacroix A., Sleiman H.F. DNA Nanostructures: Current Challenges and Opportunities for Cellular Delivery // ACS Nano. 2021. Vol. 15. № 3. P. 3631 – 3645.
- [5] Andreas Muller. Smart materials in architecture, interior architecture and design. B.: P.: Arch, 2020. 187 p.
- [6] Michael Addington. Daniel Schodek, Smart Materials and New Technologies. M.: Arh Architectural Press, 2019-2020. 254 p.
- [7] Сапрыкина Н.А. Тезаурус параметрической парадигмы формирования архитектурного пространства // Архитектура и современные информационные технологии. 2017. № 3 (40). С. 281 – 303.
- [8] Etienne Benson. Environment between System and Nature: Alan Sonfist and the Art of the Cybernetic Environment, 2014. 228 p.
- [9] Елюхина В.А., Краснобаев И.В. К вопросу о взаимосвязи архитектуры и строительных технологий (по материалам зарубежных публикаций) // Известия КГАСУ. 2019. № 2 (48). С. 40 – 47.
- [10] Giuseppe Strappa. City as organism. R.: U+D edition Rome, 2016. 482 p.
- [11] Bryan Law, Dinel Mao, Jie Song, Algae anatomy. M.: Arh Architectural Design, 2019-2020. 120 p.
- [12] Hannah Hansell. BIOMatters. MA. :Sustainable Design University of Brighton, 2017. 116 p.
- [13] Shelby Burnett. Biophilic Design + Biomimicry. A.: P.: Arch, 2017. 93 p.
- [14] Giuseppe Strappa. City as organism. R. : U+D edition Rome, 2016. 482 p.
- [15] Sharifi A., Yamagata Y. Resilient Urban Planning: Major Principles and Criteria // Energy Procedia. 2014 p.
- [16] Салех М. Внедрение цифровых методов на разных этапах архитектурного проектирования // Архитектура и современные информационные технологии. 2021. № 1 (54). С. 268 – 278.
- [17] Ремизов А.Н. Экоустойчивая архитектура как процесс // Жилищное строительство. 2016. № 4. С. 48 – 51.

REFERENCES

- [1] Denisenko E.V. Principles of formation of architectural space on the basis of biological approaches: dis. ... Cand. of Archit. Nizhny Novgorod, 2013. P. 185. (rus.)
- [2] Zhuikov S.V. The use of nanotechnology for the design of building structures. Construction materials and products. 2021. 4 (6). P. 26 – 47. (rus.)
- [3] Petra Gruber. Biomimetic in architecture. A.: SpringerWienNewYork, 2019. 276 p.
- [4] Lacroix A., Sleiman H.F. DNA Nanostructures: Current Challenges and Opportunities for Cellular Delivery. ACS Nano. 2021. 15 (3). P. 3631 – 3645.
- [5] Andreas Muller. Smart materials in architecture, interior architecture and design. B.: P.: Arch, 2020. 187 p.
- [6] Michael Addington. Daniel Schodek, Smart Materials and New Technologies. M.: Arh Architectural Press, 2019-2020. 254 p.
- [7] Saprykina N.A. Thesaurus of parametric paradigm of architectural space formation. Architecture and modern information technologies. 2017. 3 (40). P. 281 – 303. (rus.)
- [8] Etienne Benson. Environment between System and Nature: Alan Sonfist and the Art of the Cybernetic Environment, 2014. 228 p.
- [9] Elyukhina V.A., Krasnobaev I.V. On the question of the relationship between architecture and construction technologies (based on materials of foreign publications). Proceedings of KSUACE. 2019. 2 (48). P. 40 – 47. (rus.)
- [10] Giuseppe Strappa. City as organism. R.: U+D edition Rome, 2016. 482 p.
- [11] Bryan Law, Dinel Mao, Jie Song, Algae anatomy. M.: Arh Architectural Design, 2019-2020. 120 p.
- [12] Hannah Hansell. BIOMatters. MA. :Sustainable Design University of Brighton, 2017. 116 p.
- [13] Shelby Burnett. Biophilic Design + Biomimicry. A.: P.: Arch, 2017. 93 p.
- [14] Giuseppe Strappa. City as organism. R. : U+D edition Rome, 2016. 482 p.
- [15] Sharifi A., Yamagata Y. Resilient Urban Planning: Major Principles and Criteria. Energy Procedia. 2014 p.
- [16] Salekh M. Introduction of digital methods at different stages of architectural design. Architecture and modern information technologies. 2021. 1 (54). P. 268 – 278. (rus.)
- [17] Remizov A.N. Eco-sustainable architecture as a process. Housing construction. 2016. 4. P. 48 – 51. (rus.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Жандарова А.А., e-mail: zhandar.a@yandex.ru, тел. +7(917) 927-96-86, ORCID ID: 0000-0003-3881-1119, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, аспирант; Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра «Конструктивно-дизайнерское проектирование», ассистент

Денисенко Е.В., e-mail: e.v.denisenko@bk.ru, тел. +7(904) 764-91-27, ORCID ID: 0000-0002-3155-2153, Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра «Конструктивно-дизайнерское проектирование», доцент, зам. директора по развитию Института дизайна и пространственных искусств, кандидат архитектуры

Zhandarova A.A., e-mail: zhandar.a@yandex.ru, тел. +7(917) 927-96-86, ORCID ID: 0000-0003-3881-1119, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Russia, postgraduate student; Kazan (Volga Region) Federal University, Department of Structural and Design Engineering, Assistant Professor

Denisenko E.V., e-mail: e.v.denisenko@bk.ru, tel.: +7(904) 764-91-27, ORCID ID: 0000-0002-3155-2153, Kazan (Privolzhsky) Federal University, Department of Structural and Design Engineering, Associate Professor, Deputy Development Director of the Institute of Design and Spatial Arts, Candidate of Architecture (Ph.D.)

Поступила в редакцию 3 сентября 2022 г.
Принята в доработанном виде 26 сентября 2022 г.
Одобрена для публикации 1 октября 2022 г.

Received: September 3, 2022
Revised: September 26, 2022.
Accepted: October 1, 2022