

Таким образом, в республике предпринимаются существенные усилия по обеспечению «зеленого» экономического роста при сохранении природного капитала, а также по гармонизации экономических, экологических и социальных интересов белорусского общества. Благодаря цифровизации все отрасли «зеленой» экономики могут дать прорывные эффекты в обеспечении устойчивого развития.

Библиографический список

1. Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 годы. Утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 10.12.2021 № 710.
2. О национальных статистических показателях развития цифровой экономики в Республике Беларусь / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: <http://www.belstat.gov.by> [Электронный ресурс], дата обращения: 30.03.2022.
3. Ковалев М.М. Цифровая экономика – шанс для Беларуси : моногр. / М. М. Ковалев, Г. Г. Головенчик. – Минск : Изд. центр БГУ, 2018. – 327 с.
4. Неверов А.В., Масилевич Н.А., Равино А.В. Воспроизводство экологического капитала в системе устойчивого развития // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление.

УДК 502.31

Гудим Юлия
специалист по зеленому развитию

Гудим Магнус
*менеджер по бизнес-развитию и инновациям
Компания по управлению отходами
Mr.Gjenvinning, г.Осло, Норвегия*

Гудим Ю., Гудим М.

ГАРМОНИЧНОЕ СОСУЩЕСТВОВАНИЕ С ПРИРОДОЙ КАК ОСНОВНОЙ ТРЕНД СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ БУДУЩЕГО. ЧАСТЬ 2. БИОМИМИКРИЯ

Аннотация. За последние годы в человеческой деятельности намечается тренд перехода к развитию, имитирующему природные процессы и формы. В данной статье рассматриваются некоторые из примеров, дающие представление о всеохватывающем характере данного направления. Они учат нас тому, что природа выработала оптимальные решения, которые могут быть применены нами в различных отраслях экономики и жизни. Многие прорывные технологии современности основаны на подражании природе. Возможно, в будущем, мы перейдем от биомимикрии отдельных процессов и явлений к биомимикрии экосистем и взаимодействий между ними.

HARMONIOUS COEXISTENCE WITH NATURE AS THE MAIN TREND OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE FUTURE. PART 2. BIOMIMICRY

Annotation. Human activity in recent years has developed a trend of transition to development that imitates natural processes and forms. In this article, the authors give some examples of such trend in various fields of science, technology and life. They show us that nature has developed optimal solutions that can be applied in various sectors of the economy. Many breakthrough technologies of our time are based on the imitation of nature. Perhaps, in the future, we will move from the biomimicry of individual processes and phenomena to the biomimicry of ecosystems and interactions between them.

В настоящее время при анализе разработок, создаваемых в различных сферах человеческой деятельности, можно проследить, что научная и инженерная мысль развивается в направлении, получившем название биомимикрия. Оно заключается в более пристальном наблюдении за природой и попытках воспроизведения ее элементов. То есть, когда технологии, архитектура и дизайн подражают уже существующим в природе формам и процессам. Подражание природе как направление человеческой мысли не является чем-то новым. Ещё Леонардо Да Винчи в своих изобретениях перенимал особенности движения птиц, зверей, насекомых и растений. Сам же термин биомимикрия появился ещё в 1950-х годах, когда американский биофизик Отто Шмитт разработал концепцию «биомиметики». Эта концепция изменила стандартный взгляд на биофизику того времени [1]. Наибольшее же распространение термин биомимикрия получил благодаря опубликованной в 1997 г. книге американского биолога Джанин Бениус «Биомимикрия: инновации, вдохновленные природой». По определению Дж. Бениус, биомимикрия – это наука, которая изучает модели природы и вдохновляется ее конструкциями и процессами для решения человеческих задач [2]. Это новая дисциплина, которая имитирует замыслы и процессы природы, чтобы создать более здоровую и устойчивую планету.

Биомимикрия, таким образом, основана не на том, что мы можем забрать у природы, а на том, чему мы можем у нее научиться. Биомимикрию можно разделить на три вида: подражание природным формам, подражание процессам и подражание целой экосистеме. В качестве наиболее известного примера подражания форме можно привести усовершенствование высокоскоростного японского поезда Синкансен в 1997 г. Проблема, стоящая перед инженерами заключалась в том, что возникающая при входе поезда в тоннель мощная звуковая волна приводила к громкому хлопку и замедлению скорости движения поезда. Для решения этой задачи японский инженер Эйдзи Накацу обратился к орнитологии. Разные части поезда были вдохновлены разными птицами. На токосъемник поезда были

нанесены рассеивающие аэродинамическое давление зазубрины. Они имитировали перья совы, которая, как известно, летает, не создавая никакого шума. Это позволило снизить уровень шума при движении, однако не решило проблему, возникающую при прохождении тоннеля. Окончательное решение данной задачи было найдено при изучении анатомии зимородка, который при нырянии в воду подвергается резким перепадам аэродинамического сопротивления, но благодаря уникальной форме своего клюва, делает это без всплеска. Придав передней части поезда форму клюва зимородка и протестировав эту модель, инженеры выяснили что данный дизайн не просто решил имеющуюся проблему, но к тому же сделал поезд на 10% быстрее, позволил использовать на 15% меньше электроэнергии, а шум, исходящий от поезда, не превышал теперь 70 дБ [3]. Это стало одним из первых случаев использования природного дизайна для решения технических проблем человека. Данный пример наглядно демонстрирует, что в природе ничто не работает отдельно. И применение биомимикрии для улучшения одного параметра, как следствие, привело к улучшению и других сопряженных с ним систем.

Что же касается биомимикрии природных процессов, то наибольшее внимание исследователей в этой области привлекает поведение таких насекомых, как муравьи и пчелы. К примеру, алгоритм пчелиной колонии, основанный на имитации поведения медоносных пчел при сборе нектара, широко используется для решения оптимизационных задач в области информатики [4]. А муравьиный алгоритм, подражающий процессу поиска источника питания муравьиной колонией, используется для построения оптимальных маршрутов в транспортной логистике, и применяется такими крупными транспортными компаниями как, к примеру, DHL [5]. Муравьиная коммуникация также вдохновила компанию Epcos, которая создала на ее основе роевую технологию, позволяющую координировать бытовые приборы в доме. С помощью беспроводных контроллеров устройства вступают во взаимодействие между собой и саморегулируются так,

чтобы одни отключались, когда работают другие. На имитации взаимодействия муравьев построена целая область робототехники, получившая название «роевая» робототехника. Коммуникация между такими группами роботов осуществляется на основе роевого интеллекта. Так, вместо того чтобы посылать одного, сложно устроенного и дорогого робота для исследования, к примеру, другой планеты или поисков в горящем здании, более эффективно использовать группу более дешевых роботов, которые будут обмениваться минимумом информации, как это делают муравьи [6]. Инженеры изучают и физику построения огненными муравьями плавучих плотов, которые строятся ими для преодоления водных препятствий и выживания в бушующей воде. Такие живые плоты, состоящие из тысяч отдельных муравьев, обладают способностью к трансформации, они сжимаются, расширяются или образуют длинные выступы. При этом муравьиный плот состоит из двух слоев. На дне его находятся структурные муравьи, которые крепко цепляются друг за друга, образуя основу, в то время как верхний слой состоит из свободно передвигающихся муравьев, что придает конструкции устойчивость, гибкость и подвижность одновременно. В исследовании 2021 г. говорится о том, что наблюдение за огненными муравьями и их процессом построения плотов может помочь инженерам разработать миниатюрных роботов, или самовосстанавливающиеся материалы следующего поколения, в которых молекулы мигрируют, чтобы исправить поврежденные места [7].

Таким образом, в инженерных решениях и логистике воссоздаются внешние формы поведения муравьев и пчел, но не их задуманное природой содержание. Возможно, здесь важен не только механизм, но и принцип: почему они делают это, а не как. Ведь уникальность этих насекомых заключается в том, что они координируют свое поведение на общее благо, для всей колонии. Можно сказать, что наиболее успешные технологии в области биомимикрии не только повторяют внешние формы природных явлений, но и в какой-то мере

пытаются воссоздать внутренние процессы, происходящие в том или ином организме или элементе природы. Интересными примерами в этой связи являются технологии в сфере получения энергии. На рис. 1 представлена компактная ветряная мельница в форме дерева, разработанная французской компанией New Wind. Дерево снабжено пластиковыми листьями, которые бесшумно поворачиваются на ветру, независимо от того, куда он дует. Высота дерева при этом составляет около 9 метров, и его 54 зеленых листьев-турбин производят примерно 2400 кВтч в год, что может удовлетворить половину годовых потребностей среднего французского домохозяйства или небольшого офиса в энергии [8]. Промышленные ветряные турбины при этом работают только при скорости ветра более 35 км/ч, тогда как листьям для получения энергии требуется менее 8 км/ч [8]. Преимуществом данной технологии является также её компактность. К примеру, солнечная батарея аналогичной мощности заняла бы примерно 131 м², в то время как изогнутые ветви дерева можно прикрепить к любому балкону или крыше.



Рис. 1. Прототип компактной ветряной мельницы компании New Wind [9].

Подобные открытия были сделаны и в солнечной энергетике, где благодаря биомимикрии ученые заметили, что расположение листьев на растении, а также их форма адаптированы природой для оптимального сбора солнечной энергии. Это наблюдение позволило создать элементы солнечных батарей, имитирующих листья и узоры на них, что привело к росту производства энергии на 47% [10]. Инженерами были также изучены преломляющие свет свойства глаза мотылька, чтобы оптимизировать отражательную способность солнечных панелей [11]. Данные примеры биомимикрии являются более эффективными, так как внешняя форма технологии здесь соответствует внутреннему предназначению, а именно процессу получения и распределения энергии растениями и листьями. Эстетика данных технологий также играет не последнюю роль. Ведь то, что выглядит как естественная часть природы, часто находится с ней в большей гармонии. В качестве интересного примера сочетания природных технологий и искусства можно привести созданный во Вьетнаме прототип системы кондиционирования, основанный на местной истории, культуре и оригинальных конструкциях, использовавшихся древними цивилизациями. Построенная из бамбуковых труб система, получившая название адиабатической, используется для естественного охлаждения воздуха за счет процесса испарения воды. Данный процесс энергоэффективен, так как для его реализации не требуется производства энергии или использования загрязняющих окружающую среду хладагентов. Для разработки охлаждающей бамбуковой конструкции архитекторы обратились к местным вьетнамским ремесленникам, превратив, таким образом, итоговый продукт в предмет декоративно-прикладного искусства [12]. В результате, сочетание современной природной архитектуры с традиционными ремеслами, стало жизнеспособным, экологичным и энергоэффективным решением для охлаждения открытых пространств города.



Рис.2. Адиабатическая система охлаждения воздуха, Вьетнам [12].

Помимо своей природной составляющей данные примеры интересны тем, что в виду возрастающей вероятности резких погодных и климатических изменений, а также растущей солнечной активности, зачастую приводящей к сбоям и помехам в энергетической инфраструктуре, технологии децентрализованного снабжения энергией и кондиционирования представляются значимым элементом устойчивой энергетики ближайшего будущего. Тенденция к децентрализации энергоснабжения в свою очередь означает, что ответственность от государства и больших корпораций постепенно переходит к людям. Это символизирует начало большого сдвига в том, как мы понимаем экономику и энергетику в целом, и какую роль в этих глобальных отраслях играет отдельный человек, отдельное здание, дом, квартал и даже район города. Это также дает нам понять, как наши разрозненные усилия и строительные проекты должны быть взаимосвязаны, так как именно объединение усилий на локальном уровне приведет к укреплению экологической и энергетической стабильности и безопасности. Только при вовлечении людей в жизнь Планеты можно говорить об успешном внедрении принципов зеленой экономики. Ведь зеленой делает её не природа, но сам человек своим желанием и усилием к преобразению.

Наиболее сложной формой биомимикрии считается подражание природным экосистемам, ведь изучить и имитировать всё богатство взаимосвязей даже в рамках небольшой системы очень трудно. Одним из наиболее наглядных примеров воссоздания целых природных экосистем является сфера архитектуры и строительства. В настоящее время в архитектуре развивается новое направление, получившее название биоклиматический дизайн. Он представляет собой проектирование зданий с учетом местного климата и ресурсов окружающей среды для обеспечения комфортных условий проживания внутри дома. Внешне такие здания сливаются с природой и окружающим их ландшафтом. Основным принципом биоклиматической архитектуры – это уважение к природе, что подразумевает отказ от использования загрязняющих материалов, поддержание благополучия местного биоразнообразия, а также эффективное использование энергии и других ресурсов [13]. Как правило, при строительстве дома мы стремимся отгородиться от всех внешних погодных условий и природных влияний. А затем, искусственно воссоздаем их внутри дома, проведением систем отопления, охлаждения, вентиляции и т.д., часто разрозненных между собой и потребляющих для своей работы большое количество энергии. Таким образом, мы строим свои жилища не в согласии с природными условиями а скорее вопреки им. Когда всё окружающее может и должно быть использовано на благо. Наши дома также должны быть частью экосистемы города, а не способом отгородиться от всех окружающих воздействий.

Биоклиматическая архитектура является междисциплинарным подходом к устойчивому проектированию, который использует природу не только в качестве эстетического вдохновения, но и для решения практических проблем функционирования здания и экономии энергии. Основными стратегиями при этом являются адаптированный к местному климату дизайн; разумное использование пространства для оптимизации потребления энергии; использование экологически

устойчивых материалов (дерево, камень, натуральное волокно, переработанные материалы и т.д.); а также умных материалов (автоматически затемняющиеся оконные стекла, плитка сохраняющая тепло солнца, материалы способные к самовосстановлению, что продлевает срок их службы); использование возобновляемых источников энергии. Среди элементов биоклиматической архитектуры можно перечислить: ориентацию, размер, высоту, планировку и даже цвет дома для оптимизации использования энергии; компактность здания и максимальное использование пассивной солнечной энергии с помощью ориентации и размера окон; изоляцию материалов (в целях избежания потери тепла); систему вентиляции по принципу теплового насоса; использование растений, вертикальных садов, зеленых крыш для охлаждения здания и защиты от солнца; аккумуляторы солнечного и другого тепла; контроль за уровнем влажности внутреннего климата в доме за счет управления воздушными потоками, испарением и уменьшением образования конденсата, особенно в условиях жаркого климата [13]. Такой вид архитектуры выгоден как строительным компаниям, так и их клиентам, и, что немаловажно, более предпочтителен для окружающей среды и общества в целом.

Основными преимуществами интеграции здания с окружающей средой является экономия на счетах за электроэнергию, поддержание стабильной температуры внутри помещения независимо от климата и времени года, снижение углеродного следа за счет меньшего потребления энергии и воды, снижение шумового загрязнения за счет хорошей изоляции, инвестиции в инновации и возобновляемые источники энергии, а также выработка устойчивых зеленых привычек, или зеленого поведения жителей таких домов. Таким образом, биоклиматическая архитектура стремится к обеспечению устойчивости сферы строительства, присутствующей в природе. При изучении природных техник строительства, интерес ученых также вызывает способность термитов поддерживать постоянный уровень температуры и

влажности в термитниках Африки, несмотря на значительные колебания наружной температуры [14]. Исследователи из Римского университета Сапиенца попытались воссоздать систему естественной вентиляции термитника, имитировав пористую природу его стен. Ими был разработан двойной фасад здания, активно применяющийся в строительстве в настоящее время. Данная конструкция значительно сокращает чрезмерно освещенные участки здания, что приводит к снижению общей охлаждающей нагрузки на его энергопотребление [15]. Та же конструкция термитника была использована при строительстве офисного комплекса Eastgate Centre в Хараре, Зимбабве. Благодаря системе пассивного охлаждения здание потребляет на нужды кондиционирования всего 10% от обычного энергопотребления аналогичного здания того же размера [16]. Ключевым элементом строительства являются не только дизайн и архитектура, но и задействованные в нем материалы. И здесь природа открывает нам широкое поле для исследований. Многие ученые уверены, что изучение разнообразных биологических материалов и воспроизведение их структур приведет к созданию более эффективных технологий. Исследователи, в частности, работают над копированием устройства структуры человеческой кости, и воссозданием структуры перламутра, как одних из наиболее прочных материалов [17]. Биологами изучается механизм прикрепления к поверхностям таких животных, как лягушки и саламандры. К примеру, подушечками пальцев древесных лягушек были вдохновлены протекторы автомобильных шин, обеспечивающие лучшее сцепление с мокрой дорогой [18]. Сходные системы прикрепления к вертикальной поверхности таких насекомых, как жуки и мухи, стали основой для создания альпинистского снаряжения и оборудования. А конструкция светодиодных ламп, имитирующая узоры чешуек на брюшках светлячков, привела к повышению их эффективности на 55% [19]. Также были предприняты попытки по производству ткани, воссоздающей свойства кожи акулы, для более эффективного движения в воде [20].

Внимание инженеров привлекли и гигантские амазонские водяные лилии. Будучи самым большим плавающим растением в мире, один лист такой лилии способен удержать на воде вес ступающего по нему ребенка. При этом ткань листка имеет толщину около 1 миллиметра [21]. Листья гигантской лилии обладают уникальным сочетанием прочности и жесткой гибкости. Такого эффекта она добивается за счет сети разветвляющихся, похожих на перекладины вен, оптимизированных природой для прочности и структурной поддержки. Британские исследователи обнаружили, что разветвленные жилки гигантской лилии очень толстые в центре, но сужаются к краю листка, равномерно распределяя вес. Это позволяет водяной лилии покрывать большую площадь поверхности воды для фотосинтеза, используя при этом меньшее количество биомассы [21]. Такая экономия растительного вещества при увеличении способности к получению энергии является ярким примером энергоэффективности в природе. Воссоздание данной технологии может способствовать улучшению конструкции плавучих сооружений и морских ветряных турбин. В 2008 году бельгийский архитектор Винсент Каллебаут, взяв за основу структуру листа гигантской водяной лилии, спроектировал целый плавучий город под названием «Лилипад – плавучий экополис для климатических беженцев». Постройка, которую планируется завершить к 2100 году, по замыслу архитектора, должна стать убежищем для людей, спасающихся от экологических катастроф [22].



Рис.3. Компьютерная модель плавучего города Лилипад [22].

Большой интерес ученых вызывают также и самовосстанавливающиеся природные материалы. В некоторых биологических системах это восстановление происходит за счет высвобождения химических веществ в месте перелома, которые инициируют транспортировку к нему репаративных агентов, что способствует вегетативному заживлению. Имитируя данный процесс учеными, к примеру, была разработана самовосстанавливающаяся мембрана для надувных резиновых лодок, полимеры и композиционные материалы, способные заделывать трещины. В настоящее время также ведутся разработки способных к самодиагностике и саморемонту мостов. В частности профессором Мичиганского университета был изобретен новый вид бетона, который способен самостоятельно заделывать микротрещины. При образовании трещины сухой композит такого бетона обнажается и поглощает влагу из воздуха, тем самым возвращая бетону его первоначальную прочность [23]. Таким образом, самовосстанавливающиеся материалы нового поколения – это уже не научная фантастика, но реальные разработки, которым зачастую, как и большинству новых проектов, не хватает лишь функционального дизайна и финансирования. Биомимикрия также предоставляет нам возможность минимизировать объем материалов, которые мы применяем в производстве и строительстве. А значит и сократить количество отходов, так как научившись у природы создавать прочные минималистичные материалы, мы сможем сократить производство пластика и других искусственных не подлежащих утилизации полимеров.

На наших глазах происходит постепенное перерождение строительства. Не только дизайн, но и сами строительные материалы становятся ближе к природе и ее естественным процессам. Как будто бы подсознательно мы уже понимаем, что без интеграции в экосистему Земли, не может быть будущего для человечества. Что надежнее всего строить на века, а значит из материала, наиболее благоприятного для окружающей среды. С разных сторон и разных

областей знания мы подходим к одной и той же мысли. Чем ближе к природе – тем долговечнее и устойчивее результат. На перечисленных в этой статье примерах было показано, что наиболее прогрессивный и ориентированный на будущее дизайн как продуктов, так и зданий и городов, всегда подразумевает гармоничное сосуществование с природой. Именно копирующие природу формы и линии вызывают наиболее благоприятную реакцию человека, находят отклик в его сердце. А свободное пространство, обеспечиваемое этой новой архитектурой, дает нам возможность видеть небо и горизонт. Лучшая естественная вентиляция города, лучшая терморегуляция благодаря естественным формам и материалам, лучшая водопроводимость, более равномерное распределение людей, и, как результат этих факторов, лучшее психическое здоровье жителей. Новейшие дизайнерские разработки в этой сфере указывают нам на то, что биомимикрия природы станет одним из ведущих направлений дизайна городов, зданий и товаров будущего. И это только малая часть примеров перенятия технологий из природы.

Во всех новейших проявлениях науки и техники можно увидеть стремление к экосистемной целостности. Города представляются нам в будущем уже не как набор отдельно стоящих зданий, но как экосистема, где всё подчинено одной цели и замыслу, где все работает и развивается на благо не только самих горожан, но и региона, страны в целом. Здесь мы опять же возвращаемся к идеям целостности и взаимосвязи существования всех живых организмов. Ученые сходятся во мнении, что города будущего в конечном итоге будут имитировать природные экосистемы. И именно строительство показывает нам, как от биомимикрии отдельных природных элементов мы перейдем к биомимикрии целых механизмов, а потом и целых природных систем и их взаимодействий. Как пишет в своей книге активная сторонница биомимикрии Джанин Бениус: «Долгое время мы думали, что мы лучше природы, а сейчас некоторые из нас склонны

думать, что мы хуже нее, а всё, к чему мы прикасаемся, обращается в пепел. Но ни одна из этих точек зрения не верна. Мы должны вспомнить, каково это – быть наравне с другими живыми существами» [2].

Библиографический список

1. Bharat Bhushan. Biomimetics [Электрон. ресурс]. URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsta.2009.0026> (дата обращения: 21.03.2022)
2. Biomimicry Institute. Janine Benyus [Электрон. ресурс]. URL: <https://biomimicry.org/janine-benyus/> (дата обращения: 07.04.2022)
3. Janine Benyus. Biomimicry in action [Электрон. ресурс]. URL: https://www.ted.com/talks/janine_benyus_biomimicry_in_action?language=en (дата обращения: 17.04.2022)
4. Yuce B., Packianather M.S., Mastrocinque E., Truong Pham D., Lambiase A. Honey Bees Inspired Optimization Method: The Bees Algorithm [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4553508/> (дата обращения: 16.02.2022)
5. Dorigo M. Ant colony optimisation [Электрон. ресурс]. URL: http://www.scholarpedia.org/article/Ant_colony_optimization (дата обращения: 18.02.2022)
6. Ботарев С. Биомимикрия: Почему подражание природе может уберечь нас от экологической катастрофы [Электрон. ресурс]. URL: <https://knife.media/bio-mimic/> (дата обращения: 08.04.2022)
7. Strain D. The physics of fire ant rafts could help engineers design swarming robots [Электрон. ресурс]. URL: <https://phys.org/news/2022-03-physics-ant-rafts-swarming-robots.html> (дата обращения: 02.03.2022)
8. Breene K. Meet the wind turbine that looks like a tree [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2016/10/wind-turbine-that-looks-like-a-tree/> (дата обращения: 16.02.2022)

9. Clark L. Nature Inspired Windmill Trees Can Go Anywhere[Электрон. ресурс].URL: <https://www.naturalblaze.com/2017/04/nature-inspired-windmills-trees-can-go-anywhere.html> (дата обращения: 28.02.2022)
10. Treacy M. Leaf-Mimicking Solar Cells Generate 47% More Electricity[Электрон. ресурс].URL: <https://www.treehugger.com/leaf-mimicking-solar-cell-generates-more-electricity-4855882> (дата обращения: 01.03.2022)
11. Williams M.. Moth Eyes Inspire New Means of Boosting Solar Efficiency [Электрон. ресурс].URL: <https://www.herox.com/blog/178-moth-eyes-inspire-new-means-of-boosting-solar-effi> (дата обращения: 18.02.2022)
12. Hammon D. Energy efficient bamboo device in Vietnam is a cooling system [Электрон. ресурс]. URL: <https://inhabitat.com/energy-efficient-bamboo-device-in-vietnam-is-a-cooling-system/> (дата обращения: 31.01.2022)
13. Bioclimatic architecture, buildings that respect the environment[Электрон. ресурс]. URL: <https://www.iberdrola.com/innovation/bioclimatic-architecture-passivhaus> (дата обращения: 01.04.2022)
14. Термитник – шедевр «инженерного искусства» [Электрон. ресурс]. URL: <https://animalreader.ru/termitnik-shedevr-inzhenernogo-iskusstva.html> (дата обращения: 27.01.2022)
15. El Ahmar S., Fioravanti A. Biomimetic-Computational Design for Double Facades in Hot Climates[Электрон. ресурс]. URL: http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015_235.content.pdf (дата обращения: 25.03.2022)
16. Pearce M. Passively Cooled Building Inspired by Termite Mounds [Электрон. ресурс]. URL: <https://asknature.org/innovation/passively-cooled-building-inspired-by-termite-mounds/> (дата обращения: 02.02.2022)
17. Ortiz C., Boyce M.C. Bioinspired Structural Materials[Электрон. ресурс]. URL: <http://web.mit.edu/cortiz/www//1053.pdf> (дата обращения: 15.01.2022)

18. Banik A., Tan K-T. Dynamic Friction Performance of Hierarchical Biomimetic Surface Pattern Inspired by Frog Toe-Pad[Электрон. ресурс]. URL: <https://en.x-mol.com/paper/article/1297945794396262400> (дата обращения: 29.01.2022)
19. Ayre J. Brighter LEDs Inspired By Fireflies, Efficiency Increased By 55%[Электрон. ресурс]. URL: <https://cleantechnica.com/2013/01/09/brighter-leds-inspired-by-fireflies-efficiency-increased-by-55-percent/> (дата обращения: 25.02.2022)
20. Sharklet Technology Overview[Электрон. ресурс]. URL: <https://www.sharklet.com/technology-overview/> (дата обращения: 30.03.2022)
21. Sima R. What a huge lily pad can teach us about building design[Электрон. ресурс]. URL: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/what-a-huge-lily-pad-can-teach-us-about-building-design> (дата обращения: 15.03.2022)
22. Проект Лилипад[Электрон. ресурс]. URL: <https://scientifically.info/news/2014-10-17-2965> (дата обращения: 24.02.2022)
23. Bridges That Fix Themselves?[Электрон. ресурс]. URL: <https://www.digitalschool.ca/bridges-that-fix-themselves/> (дата обращения: 13.03.2022)

УДК 130.12+130.2

Дик Пётр Францевич
к. филос. н., профессор
Костанайский инженерно-экономический
университет им. М. Дулатова,
г. Костанай, Казахстан
e-mail: personality21@mail.ru

Дик П.Ф.