

Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
115054 Российская Федерация, Москва, ул. Малая Пионерская, 12
Аспирант Школы дизайна
ORCID: 0000-0002-8501-4115
E-mail: dyachenkovaolga@yandex.ru

«ЖИВЫЕ АРТЕФАКТЫ»: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БИОДИЗАЙНЕ

Биодизайн является новой промышленной парадигмой материальных артефактов XXI века. Эта новая практика проектирования предполагает интеграцию в дизайн живых организмов, таких как бактерии, микроводоросли, грибы и растения, в качестве источников материалов, генераторов энергии и пищи, источников света, очистителей воды и воздуха, регуляторов тепла и т. д. Сегодня биодизайн вступает в игру с цифровой реальностью на стыке с областью человеко-компьютерного взаимодействия. Основной акцент сделан на том, как цифровые технологии могут быть полезны «живым артефактам», предметам повседневности, которые являются живыми во время использования и могут расти, адаптироваться и, в конечном итоге, умирать. «Живые артефакты» требуют отзывчивого поведения и возможности взаимодействия, поднимая критические вопросы, касающиеся заботы, симбиоза, совместного проживания и адаптации между людьми и другими существами. В этом процессе важную роль играет концепция обитаемости, которая касается не только создания пригодной среды обитания, но и сохранения жизнеспособности организма в момент использования артефактов. Предлагаемая концепция обсуждает, как мы можем ощущать и воспри-

нимать «жизненность» артефакта в повседневной жизни. Это понятие вызвало серьезную дискуссию в области человеко-компьютерного взаимодействия. Ряд исследований в сообществе занимается изучением роли, которые живые организмы играют в совместном проектировании человека и компьютера. В статье предпринята попытка преодолеть пробел в неизученной роли цифровых инструментов в дизайне, принимая многовидовые виды и их отношения в качестве фокуса практики биодизайна. В рамках статьи вы получите представление о компьютерном проектировании, моделировании, использовании 3D-печати и живых электронных устройствах. В работе выделены конкретные роли, которые цифровые инструменты играют в создании «живых артефактов».

Ключевые слова: биодизайн, живые организмы, живые артефакты, живые материалы, живая эстетика, цифровые технологии, компьютерное проектирование, человеко-компьютерное взаимодействие.

Введение

Предметная область «живого» изучается уже давно. Исследователи естественных, гуманитарных и социальных наук, художники и дизайнеры изучают потенциал живых существ на протяжении всего XX века. В 1920 году австрийский ботаник Рауль Франсе подчеркнул разумность природы в своей книге

«Растения как изобретатели», где «живое» послужило моделью для «конструирования машин». Введенное биофилософом Якобом фон Икскульем понятие «умвельт» («Umwelt»), а позже работа по спекулятивной биологии «Прогулки по жизненному миру животных и людей» (1934) оказали значительное влияние на биотехнические формы современности, позже разработанные, например, художником Ласло Мо-



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

хой-Надем. В послевоенные годы интеллект машины и «живого» связывала кибернетическая мысль. Например, концепция метаболизма в архитектуре японского архитектора Кишо Курокавы, представляющая двухцепочечную спираль ДНК (1961), или роботизированные и органические работы, слившиеся воедино на Всемирной выставке Expo 70 в Осаке. В Европе и Соединенных Штатах интеллект «живого» стал материалом, используемым в художественных инсталляциях. Такие художники, как Ханс Хааке, Алан Сонфист, Сьюзанна Анкер и Дэвид Медалла, включали измерение интеллекта «живого» в свои работы. Микроорганизмы, по мнению Хааке и Сонфиста, формировали меняющийся материал их инсталляций, который показывал новый подход к пространству и времени.

«Живое» стало определяться как «система», «информационная сеть», которая соединяет виды вместе и порождает новые связи между людьми и другими существами. Американский биолог и эколог Джанин Бенюс, известная своими работами по биомимикрии и биомиметики, приводила в пример деревья, которые создают подземную экологическую сеть, деревянную паутину, своего рода, интернет, который передает информацию между корнями деревьев через грибы. Тем самым, деревья могут обмениваться информацией и помогать друг другу. Однако еще в 1940-х годах английский математик Алан Тьюринг был первым, кто рассматривал «живое» как компьютер. Он связал машинный интеллект с понятием морфогенеза, трансформации «живого». Его концепция «искусственной жизни» расцвела с конца 1980-х годов. Позже американский математик и физик Джон фон Нейман связал работу клеточных автоматов с живыми системами, соединив биологические и машинные системы. Связь между математикой и природой через процесс морфо-

генеза подчеркнул французский математик Рене Том в своей работе «Структурная устойчивость и морфогенез» (1972). Их предложения мало чем отличались от предложений британского физика и изобретателя программного обеспечения Mathematica (1988) Стивена Вольфрама, который постоянно исследовал взаимосвязь между вычислительной техникой и природой.

Таким образом, с самого своего зарождения компьютерные науки были пронизаны разумом «живого». Цифровые технологии привели к радикальному изменению парадигмы, стирая границы не только между реальным и виртуальным, но и органическим и искусственным. Инструменты цифрового моделирования позволили воссоздавать «живое» и ставить под сомнение связи между живым и искусственным. Например, моделирование принципов выращивания живых организмов благодаря программному обеспечению. Архитекторы сравнивали эти процессы с развитием жизни.

По мере развития цифровых технологий пришло глобальное осознание экологических проблем, что привело к более глубокому изучению возможностей живых организмов. В области дизайна появились новые устойчивые биоразлагаемые объекты, изготовленные из таких организмов, как мицелий, грибы, бактерии, дрожжи и др. Живые организмы стали сырьем, «неживым артефактом». Тем самым, художники и дизайнеры стали первыми, кто применил этот экологически чистый подход, используя новые морфологии, вдохновленные живым. Но дизайн в самом широком смысле может представлять себя как живой разумный артефакт, который растет и функционирует. Тогда «живые артефакты» могут выступать в качестве генераторов энергии и источника пищи, света, очистителями воды и воздуха, регуляторами тепла и др. Организм, в данном случае микро-



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

водоросли, бактерии, грибы, интегрирован в мебель, одежду, архитектуру и другие предметы. Он продолжает жить в течение всего времени использования. Такие «живые артефакты» часто создаются с помощью роботизированного производства и программного обеспечения. С. Гилберт и др. указывают, что цифровые технологии стали важным инструментом понимания биологического мира, в котором мы живем¹. Дизайнеры все чаще ищут закономерности в данных для продвижения исследований. Они могут способствовать общению, сотрудничеству и аффективным формам взаимоотношений между живыми организмами и людьми. Таким образом, мы считаем, что в будущем цифровые инструменты могут сыграть ключевую роль в создании новой взаимозависимой среды обитания.

Один из важнейших вопросов, которые остаётся открытым, как цифровые технологии могут способствовать созданию «живых артефактов», в которых биологический организм является живым во время использования. В статье предпринята попытка преодолеть пробел в неизученной роли цифровых инструментов в дизайне, принимая многовидовые виды и их отношения в качестве фокуса практики биодизайна. В центре внимания понятие «живых артефактов» и концепция их обитаемости, предложенная профессором Делфтского технического университета, основателем и руководителем лаборатории по изучению материалов Элвин Карана. Автор объясняет, как это понятие помогает проанализировать роль цифровых инструментов в проектировании и использовании «живых артефактов». Цель статьи – выделить

конкретные функции цифровых инструментов в создании «живых артефактов».

**«Живые артефакты»
и концепция обитаемости**

Сегодня дизайнеры иллюстрируют прочные симбиотические отношения между человеком и живыми организмами, в которых они являются взаимными бенефициарами. Они сотрудничают с живыми организмами и интегрируют их в качестве сырья, предлагая устойчивые альтернативы традиционным материалам. Совсем недавно Элвин Карана, профессор Делфтского технического университета, основатель и руководитель лаборатории по изучению материалов Material Incubator, ввела понятие «живых артефактов» – «предметов повседневного использования, которые являются живыми, могут восприниматься, расти, адаптироваться и, в конечном итоге, умирать»². Например, лампы на основе светящихся организмов. Биолюминесценция организмов и растений – одна из наиболее интересных областей в исследованиях биодизайна. Многие компании, в том числе Philips, занимаются разработкой осветляющих растворов, в состав которых входят микроорганизмы. В своей исследовательской работе Элвин Карана выдвигает на первый план понятие «жизненность» как биологический, экологический и эмпирический феномен. Живые организмы предстают, как «артефакты человеческой культуры, которые экологически и социально встроены повседневную жизнь»³.

В таких проектах понятие «жизненность» становится частью дизайна и пытается перенести отношения людей и живых существ в

¹ Gilbert, S. F., Sapp, J., & Tauber, A. I. (2012). A symbiotic view of life: We have never been individuals // *The Quarterly Review of Biology*, 87(4), 2012. 325–341. <https://doi.org/10.1086/668166>

² Karana, E., Barati, B., & Giaccardi, E. (2020). Living artefacts: onceptualizing livingness as a material quality in everyday artefacts // *International Journal of Design*, 14(3) 2020. 39.

³ Ibid. 50.



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

новое изменение. Такой подход идет дальше, чем биофильный дизайн, который стремится к увеличению связи человека с природой. Вместо этого, «живые артефакты» требуют отзывчивого поведения и возможности взаимодействия, поднимая критические вопросы, касающиеся заботы, симбиоза, совместного проживания и адаптации. В этой теории авторы выводят определение «живой эстетики» – принципа биодизайна, который исследует то, как люди воспринимают живые артефакты с течением времени. Например, постепенное или быстрое изменение цвета, формы или функции «живого артефакта», что предполагает новое отзывчивое поведение и возможности взаимодействия в дизайне. Не смотря на то, что живые организмы хорошо изучены, их «живая эстетика», то есть то, как люди воспринимают уникальные временные изменения в живой среде, практически не исследовано. Предлагаемая концепция обсуждает, как мы можем ощущать и воспринимать «жизненность» артефакта в повседневной жизни. Это понятие вызвало серьезную дискуссию в области взаимодействия человека и компьютера (HCI). Предложенная модель подчеркивают важность совместного творчества с живыми организмами, а сохранение жизнеспособности этих организмов в процессе проектирования формирует уникальные возможности для поиска альтернативных материалов и энергии.

В проектировании «живых артефактов» важную роль играет концепция обитаемости, которая касается не только создания пригодной среды обитания, но и сохранения жизнеспособности организма в момент использования артефактов, посредством тщательного создания условий обитания, которые заботятся о взаимном благополучии, как людей, так и других существ. Ключевым моментом становится определение жизнеспособности артефакта на про-

тяжении всей его жизни, то есть от времени проектирования до времени использования. Это также требует понимания того, как люди могут социально относиться к «живому артефакту», чтобы он процветал, и как артефакт может продолжать приносить людям функциональные преимущества. Например, очищать воздух с помощью водорослей или обеспечивать освещение с помощью бактерий и других организмов. Авторы подчеркивают, что такой принцип необходим «для перехода от эксплуататорской позиции антропоцена к обеспечению и облегчению сосуществования нескольких видов»⁴.

Таким образом, при проектировании «живых артефактов» необходимо синтезировать экологическое и социальное понимание среды обитания, и цифровые инструменты в этом могут помочь. После обзора методологии мы постараемся выделить определенные функции цифровых инструментов в проектировании «живых артефактов» и создании пригодной среды обитания.

Методология

В последнее время возросло количество работ в области дизайна, в которых описывают недостаточное изучение других живых организмов. В своей книге «Когда виды встречаются» (2008), Донна Харауэй страстно выступает за антропологический сдвиг, который признал бы сплетение видов. Она отвергает человеческую исключительность и поощряет новые способы построения мира⁵. Её точка зрения была поддержана американским антропологом Ан-

⁴ Westerlaken M. (2022). Multispecies worlding through design // *Interactions* 29, 6 (November – December 2022), 14–15. <https://doi.org/10.1145/3568306>

⁵ Haraway, D. (2008). *When Species Meet*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2008.



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

ной Цин в работе «Неистовая биология»⁶ и повлияла на рассмотрение многовидовых проблем в дизайне через понятия «совместного выживания»⁷, а также понятие «заботы», упомянутое Элвин Карана. В этом мы убедились, разбирая понятие «живых артефактов» и концепцию обитаемости. В работах Р. Смит и др., Ц. Чжоу др. исследователи подчеркивают уникальное сочетание биологических инструментов с передовыми компьютерными технологиями в биодизайне⁸. Эта категория, которую можно обозначить, как «цифровое биопроизводство», особенно интересна нам, так как она помогает собрать примеры, в которых цифровой инструмент описывается как часть процесса биодизайна, особенно при исследовании и создании обитаемости вещей, которые определяют жизнеспособность «живого артефакта». Появились работы Д. Коллинз, А. Гинсберг и др., которые выделяют категорию «дополненной биологии», где дизайнеры с помощью изменения клеток пытаются найти выход из социальных проблем, например голод, болезни и нехватка энергии⁹.

⁶ Tsing, A.L. (2015). Feral biologies. In: Inaugural conference: Anthropological visions of sustainable futures. Organised by Brightman, M and J. Lewis. London: Centre for the Anthropology of Sustainability (CAOS), University College London. February 13, 2015.

⁷ Liu, J., Byrne, D., & Devendorf, L. (2018). Design for collaborative survival: An inquiry into human-fungi relationships. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (no. 40, pp.1-13). ACM. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173614>

⁸ Smith, N., Bardzell, S., & Bardzell, J. (2017). Designing for cohabitation: Naturecultures, hybrids, and decentering the human in design. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (pp. 1714-1725). ACM. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025948>;

Zhou, Jiwei & Barati, Bahar & Wu, Jun & Scherer, Diana & Karana, Elvin. (2020). Digital biofabrication to realize the potentials of plant roots for product design. *Bio-Design and Manufacturing*. 4. 1–12. 10.1007/s42242-020-00088-2.

⁹ Collins, J. (2012). Synthetic biology: Bits and pieces come to life. *Nature*, 483(7387), 8–10. <https://doi.org/10.1038/483S8a>;

Исследования С. Камере и Э. Карана¹⁰, В. Чиуффи, М. Монтальти¹¹ описывают наиболее распространенную практику «растущего дизайна», ориентированную на разработку новых материалов для дизайна продуктов. Особую категорию «биодизайн фикшн» составляют размышления А. Гинсберг и др.¹², А. Мойси и Л. Пшец¹³ о последствиях биотехнологического будущего с разработкой сценариев и прототипов.

За последние годы возросло изучение биологических материалов, в которых компьютерные устройства ввода и вывода информации могут быть дополнены или даже заменены живыми организмами. Работы Ф. Асплинг и др., Э. Чок и др., П. Фернандо и др., П. Гоф¹⁴ изу-

Ginsberg, A. D., Calvert, J., Schyfter, P., Elfick, A., & Endy, D. (2014). *Synthetic aesthetics: Investigating synthetic biology's designs on nature*. MIT Press.

¹⁰ Camere, S., & Karana, E. (2017). Growing materials for product design. *Alive. Active. Adaptive*. In Proceedings of the international conference on experiential knowledge and emerging materials. TU Delft Open. 101–115.

¹¹ Ciuffi, V. (2013). Growing design. *Abitare Magazine*, 531. 108–111;

Montalti, M. (2010). *Officina corpuscoli*. <https://www.corpuscoli.com/> (Accessed: June 21, 2024)

¹² Ginsberg, A. D., & Chieza, N. (2018). Editorial: Other biological futures. *Journal of Design and Science*, 1–14. <https://doi.org/10.21428/566868b5>

¹³ Moisy, A., & Pschetz, L. (2017). Designing with living organisms. In Proceedings of the 3rd biennial research through design conference. 323–339. RTD. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.4746994>

¹⁴ Aspling, F., Wang, J., & Juhlin, O. (2016). Plant-computer interaction, beauty and dissemination. In Proceedings of the 3rd international conference on animal-computer interaction. No.5. 1–10. ACM. <https://doi.org/10.1145/2995257.2995393>;

Cheok, A. D., Kok, R. T., Tan, C., Fernando, O. N. N., Merritt, T., & Sen, J. Y. P. (2008). Empathetic living media. In Proceedings of the conference on designing interactive systems. 465–473. ACM. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1394445.1394495>;

Fernando, P. (2019). Tools for public participation in science: Design and dissemination of open-science hardware. In Proceedings of the international conference on the creativity and cognition. 697–701. ACM. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3325480.3326560>;



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

чают отношения между биологическими системами, областью человеко-компьютерного взаимодействия (HCI), от одиночных и односторонних отношений до многовидовой сети симбиотических отношений. Многие из этих работ подчеркивают вовлечение животных и растений во взаимодействие человека и компьютера.

Ряд исследований в сообществе человеко-компьютерного взаимодействия занимается изучением роли, которую живые организмы играют в совместном проектировании человека и компьютера. Например, исследуется потенциал микроорганизмов для создания интерфейсов из живых материалов в работе В. Манзелла и др.¹⁵, различных дисплеев, а также новых медиа в трудах И. Пупырева и др.¹⁶. В рамках этого объема исследований Аманда Паркс и Коннор Дики определяют биодизайн, как возможность дизайна взаимодействий¹⁷. Н. Вильямс и К. Коле считают, что интеграция биологических систем в вычислительные создаст новые виды технологий, но это вызовет некоторые радикальные изменения в том, как мы концептуализируем технологии¹⁸. По сути, мы должны позволить са-

мой системе процветать как живому существу, подверженному эволюции, а не контролировать ее как послушный объект.

Во многих исследованиях сделана попытка определить концептуальные основы и определения. Например, Патаран и др. исследуют проекты, в которых микроорганизмы являются частью вычислительной системы¹⁹. В этой работе удалось подчеркнуть похожие свойства живых медиа-интерфейсов и физических вычислительных систем, выделить способы проектирования совместно с живыми медиа-интерфейсами. Однако такие исследования показывают лишь часть проблемы взаимосвязи людей, технологий и биологических материалов. К биологическим материалам относятся главным образом с точки зрения эксплуатации, а не взаимного сосуществования.

Дж. Лю и др. рассматривают отношения между биологическими системами, компьютерами и людьми и призывает к тщательному рассмотрению этического императива и значения вовлечения видов, не относящихся к человеку²⁰. Многие из них, например, в работе П. Чобану, пытаются познать точку зрения насекомых в городской среде или рассматривают благополучие растений, используя практику человеко-компьютерного взаимодействия для родства человека и растения²¹. Д. Чен и другие обсуждают, как новые технологии, интегрирующие микроорганизмы, такие как бактерии и слизи-

Gough, P. (2020). The nature of biodesigned systems: Directions for HCI. In Proceedings of ACM international conference on designing interactive systems. 389–392. ACM. <https://doi.org/10.1145/3393914.3395908>

¹⁵ Manzella, V., Gaz, C., Vitaletti, A., Masi, E., Santopolo, L., Mancuso, S., Salazar, D., & de las Heras, J. J. (2013). Plants as sensing devices: The pleased experience. In Proceedings of the 11th conference on embedded networked sensor systems (no. 76, 1–2). ACM. <https://doi.org/10.1145/2517351.2517403>

¹⁶ Popyrev, I., Schoessler, P., Loh, J., & Sato, M. (2012). Botanicus interacticus: Interactive plants technology. In Proceedings of the SIGGRAPH conference on emerging technologies (no. 4, 1). ACM. <https://doi.org/10.1145/2343456.2343460>

¹⁷ Parkes, A., & Dickie, C. (2013). A biological imperative for interaction design. In Proceedings of the conference on human factors in computing systems. 2209–2218. ACM. <https://doi.org/10.1145/2468356.2468742>

¹⁸ Williams, N.; Collet, C. (2020). Biodesign and the Allure of “Grow-made” Textiles: An Interview with Carole Collet. *GeoHumanities*, 1–13.

¹⁹ Pataran, P., Kong, D. S., Maes, P., & Sra, M. (2020). Living bits: Opportunities and challenges for integrating living microorganisms in human-computer interaction. In Proceedings of the augmented humans international conference. 3.

²⁰ Liu, S. Y., Bardzell, J., & Bardzell, S. (2018). Photography as a design research tool into natureculture. In Proceedings of the designing interactive systems conference. 777–790. ACM. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196819>

²¹ Ciobanu, P. (2019). Designing for and with care in multi-species kinship: Exploring methods of decentering the human in design. <https://www.essays.se/essay/450ead73d6/> (Accessed: June 21, 2024)



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

вики, будут все больше полагаться на симбиотические отношения между пользователем и организмами, участвующими в интерактивных системах²². Эти исследования выдвигают на первый план необходимость участия живых существ, таких как насекомые, растения и микроорганизмы. По мнению Э. Лайт и др., многие эти работы выдвинули на первый план постгуманистические ценности и децентрализацию людей по отношению к глобальным экологическим и социальным вызовам²³.

Таким образом, в рамках изучения методологии мы провели поиск во множестве существующих областей на стыке биологии, человеко-компьютерного взаимодействия, биодизайна, биотехнологий и собрали примеры, где «живой артефакт» остается живым при использовании, а цифровые инструменты включены в часть процесса биодизайна.

Функции цифровых инструментов

Цифровые инструменты помогают в проектировании «живых артефактов», позволяя наблюдать, записывать, моделировать и имитировать сложные отношения между живыми и неживыми компонентами окружающей среды. Мы отдали предпочтение тем проектам, которые связаны с повседневной жизнью. Исключили случаи, связанные с сельским хозяйством (например, производство продуктов питания), медицины и те случаи, когда цифровые инструменты использовались только в проектирова-

нии и не создавали «живой артефакт». Важным критерием стало развитие эмпатии, заботы между различными формами жизни и не только.

Первую функцию, которую мы выделяем, становится обеспечение понимания среды. При разработке «живых артефактов», исследователи часто применяют специализированное лабораторное оборудование, такое как микроскопы. Однако одним из наиболее широко применяемых методов, который помогает людям лучше понять поведение живых организмов в искусственных средах обитания, является использование фотографий. В современном биодизайне широко используются различные виды оборудования для фотографирования и наблюдения за живыми организмами. Камеры для фотографирования, цифровые микроскопы и методы микротомографии являются незаменимыми инструментами для получения изображений и данных о росте организмов, их поведении, включая движение и другие аспекты. Эти технологии позволяют исследователям и дизайнерам более глубоко погрузиться в мир живых организмов. Например, исследование Дж. Лю и др.²⁴, К. Рамиреса-Фигероа и др.²⁵ указывает на то, что фотографии могут помочь расширить понимание отношений между живыми организмами и их окружением на микроуровне. Они считают, что это ключевой аспект при проектировании «живых артефактов».

В проекте «Vespers III» от дизайнера и профессора лаборатории Массачусетского тех-

²² Chen, D., Seong, Y. ah, Ogura, H., Mitani, Y., Sekiya, N., & Moriya, K. (2021). Nukabot: Design of care for human-microbe relationships. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (no. 291, 1–7). ACM. <https://doi.org/10.1145/3411763.3451605>

²³ Light, A., Powell, A., & Shklovski, I. (2017). Design for existential crisis in the anthropocene age. In Proceedings of the 8th international conference on communities and technologies. 270–279. ACM. <https://doi.org/10.1145/3083671.3083688>

²⁴ Liu, S. Y., Bardzell, J., & Bardzell, S. (2018). Photography as a design research tool into natureculture. In Proceedings of the designing interactive systems conference. 777–790. ACM. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196819>

²⁵ Ramirez-Figueroa, C., Hernan, L., & Pei-Ying, L. (2018). The biological unseen. Producing and mediating imaginaries of protocells. In Proceedings of the 5th biennial transdisciplinary imaging conference. 122–137. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.6104687.v2>



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

нологического института Нери Оксмана и группы MIT Media Lab живая маска воплощает среду обитания и заставляет искусственно созданные микроорганизмы вырабатывать полезные химические вещества для улучшения здоровья человека (маска была активна с 2018 по 2020). Это исследование открывает новые возможности в области медицины: от витаминов, противомикробных препаратов индивидуального производства антибиотиков, до умной упаковки и покрытий, способных обнаруживать загрязнения. Авторы исследования интегрируют компьютерный дизайн с аддитивным производством и синтетической биологией для создания объектов в цифровом виде. Р. Смит и др. отмечают, что в этом проекте сделаны покадровые цифровые изображения для документирования реакции организма в часы инкубации²⁶. Таким образом, цифровые технологии позволяют нам познавать и понимать среду, в которой живые организмы взаимодействуют.

Вторая важная функция – проектировать и изготавливать среду обитания для живого организма. Наиболее распространенным инструментом дизайнеров является автоматизированное проектирование, способное моделировать живые организмы, сокращая при этом количество лабораторных экспериментов. Например, изготовление каркасов, на которых размещаются живые организмы: стул «Mycelium» от студии Klarenbeek & Dros или проект «H.O.R.T.U.S. XL», где материалы, созданные биологическим и цифровым способом, обеспечивают друг другу структурную стабильность.

²⁶ Smith, R. S. H., Bader, C., Sharma, S., Kolb, D., Tang, T. C., Hosny, A., Moser, F., Weaver, J. C., Voigt, C. A., & Oxman, N. (2020). Hybrid living materials: Digital design and fabrication of 3D multimaterial structures with programmable biohybrid surfaces. *Advanced Functional Materials*, 30(7), 14. <https://doi.org/10.1002/adfm.201907401>

Кресло «Mycelium», разработанное голландской дизайн-студией Klarenbeek & Dros в 2018 году, является инновационным проектом, который соединяют цифровые технологии и интеллект живых людей. Кресло, которое теперь является частью коллекции Центра Помпиду в Париже, создано в результате применения технологии 3D-печати с использованием живого мицелия, который был впервые разработан этими дизайнерами в 2011 году, когда они стремились найти промышленную альтернативу пластмассе и биопластику. Стул изготовлен на основе трехмерной печатной структуры, в которой мицелий напечатан цифровым способом в воде, состоящей из измельченной соломы и опилок. Мицелий действует как форма живого клея. После того, как этот «живой стул» напечатан, он продолжает расти в лаборатории с помощью грибов в течение нескольких дней. Затем наносится тонкий слой биопластика, чтобы остановить рост грибов. Стул поддается компостированию. Компания Klarenbeek & Dros также заинтересована в использовании водорослей для получения новых инновационных материалов. В похожих проектах традиционные материалы для производства заменяются живым материалом. Такой производственный процесс может стать обыденностью в продуктах повседневного спроса.

В проекте «H.O.R.T.U.S. XL», крупномасштабной установке от ecoLogic Studio, засеянной микроводорослями, физический каркас был изготовлен на 3D-принтере высокого разрешения методом моделирования. Основанный на фотосинтезе, метаболизм водорослей преобразует кислород и биомассу. Цифровой алгоритм имитирует рост субстрата, вдохновленного морфологией кораллов. К. Паскерио и М. Поллетто отмечают, что «значение плотности каждого биопикселя вычисляется в цифровом виде,



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

чтобы максимизировать поступающий свет и метаболизм организма на изоповерхностях»²⁷. К. Бадер и др. выделяют первый этап прикрепления клеток к физическим каркасам – засев клеток²⁸. Они считают, что эффективность и распространение могут повлиять на конечные биологические характеристики каркаса. Х. Цзянь и др. делают вывод, что компьютерные технологии, такие как 3D-био печать, помогают точно контролировать пространственное положение живых клеток²⁹. Таким образом, Х. Лю и др. уверены, что такая технология будет применена в доставке лекарств, тканевой инженерии и других направлениях³⁰.

В уже рассмотренном выше проекте «Vesper III» можно увидеть, как компьютерное моделирование может повлиять на дизайн среды обитания, обеспечивая понимание различных элементов и их сложных взаимосвязей. Авторы создали вычислительную модель для понимания и прогнозирования пространственно-временного распределения химически индуцированных бактерий на инокулированном объекте. Тем самым, при моделировании они учитывали распространение химических сигналов от 3D-объекта, возникающего в результате бактериальной реакции, и сложность напечатанного

на 3D-принтере объекта из нескольких материалов, в котором обитают бактерии.

Кроме понимания и проектирования, есть еще одна важная функция – сохранять и обеспечивать процветание и жизнеспособность артефакта. Цифровые инструменты регулируют уход и заботу, а также способствуют участию человека. Все больше появляется проектов в области биоцифровой архитектуры. В проекте «Living Wall», разработанном Данеллой Бриско из Техасского университета в Остине, зеленая стена покрыта местными растениями и возведена в условиях жаркого климата. Уникальной особенностью является возможность поддержания экосистемы: стена обеспечивает охлаждение здания, города, смягчает ливневые стоки, защищает от шума и служит естественным воздушным фильтром. Информационное моделирование зданий (BIM) помогает поддерживать стену в течение времени. Д. Бриско отмечает, что «дизайнеры и инженеры активно исследуют возможности интерактивных BIM-платформ для улучшения управления живыми стенами и другими экологическими системами»³¹. Платформы дают возможность регулировать и реагировать на живую фауну и изменения климата.

В городском навесе от ecoLogic Studio человек и водоросли общаются через систему затемнения. В этом интерактивном павильоне объединены живые культуры микроводорослей, которые насыщают воздух кислородом и тем самым быстрее растут, образуя зону затемнения. В солнечные дни этот навес занимают люди, вырабатывая углекислый газ, что способствует симбиотическим взаимоотношениям климата, микроводорослей, человека и цифровых систем управления. В навесе используется

²⁷ Pasquero, C., & Poletto, M. (2020). Bio-digital aesthetics as value system of post: Anthropocene architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 18(2), 120–140. <https://doi.org/10.1177/1478077120922941>

²⁸ Bader, Christoph & Sharma, Sunanda & Smith, Rachel & Disset, Jean & Oxman, Neri. (2018). Viva in Silico: A position-based dynamics model for microcolony morphology simulation.

²⁹ Jian, Honglei & Wang, Meiyue & Wang, Shengtao & Wang, Anhe & Bai, Shuo. (2018). 3D bioprinting for cell culture and tissue fabrication. *Bio-Design and Manufacturing*. 1. 10.1007/s42242-018-0006-1.

³⁰ Liu, X., Yuk, H., Lin, S., Parada, G. A., Tang, T. C., Tham, E., de la Fuente-Nunez, C., Lu, T. K., & Zhao, X. (2017). 3D Printing of living responsive materials and devices. *Advanced Materials*, 30(4). <https://doi.org/10.1002/adma.201704821>

³¹ Briscoe, D. (2020). Living wall: Digital design and implementation. *Journal of Digital Landscape Architecture*. (5). 652. https://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis/open/DLA_2020/537690066.pdf (Accessed: June 21, 2024)



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

целая система современных технологий. Цифровая камера отслеживает местоположение людей в реальном времени. Эта информация подается в центральную систему, которая управляет процессом распределения тени, создаваемой водорослями. Датчики приближения и контроллеры вычисляют состояние электроклапанов, регулируя рост водорослей. Это позволяет создавать комфортные условия взаимоотношений людей и растений.

Голландский дизайнер Николь Спит, основатель студии Dáárheen, заглядывает в будущее потребительских биотехнологических продуктов, которые сочетают электронику, живые клетки и взаимодействуют друг с другом. Один из проектов ее студии – «биотрониколы», живые электронные изделия, где привычный нам сенсорный экран, заменен кожей. На ощупь он может быть теплым или холодным, мягким или с неровностями. Дизайнер считает, что тактильность будет становиться все более и более важной темой. В этом устройстве живые клетки растут поверх и внутри оболочки печатной платы. Клетки и электронные части взаимодействуют друг с другом через электрические и химические синапсы. Продукт дает тактильную обратную связь, и к нему нужно прикасаться. Т. Меррит и др. считает, что живые медиа интерфейсы демонстрируют огромный потенциал гибридного мира, где границы между биологическими, химическими и алгоритмическими микроматериалами растворяются в результатах биодизайна³².

Эти примеры показывают, как дизайнеры, задавая определенное биологическое поведение, могут моделировать и изготавливать среду обитания конкретного живого организма.

³² Merritt, T., Hamidi, F., Alistar, M., & DeMenezes, M. (2020). Living media interfaces: A multi-perspective analysis of biological materials for interaction. *Digital Creativity*, 31(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/14626268.2019.1707231>

Таким образом, мы видим, как технологии вступают в симбиоз с природой, создавая уникальные возможности для взаимодействия. Не менее удивительно то, что даже при простом прикосновении или заботе, «живые артефакты» могут реагировать на наше внимание. Этот момент открывает перед нами перспективу взаимной заботы, о котором упоминает Элвин Карана, где символические связи между человеком и природой становятся более яркими и осязаемыми. Современные цифровые инструменты не только помогают нам взаимодействовать с окружающим миром, но и создают новые возможности для глубокого понимания и уважения живой природы. Весь этот комплексный механизм взаимодействия между разными видами жизни становится более доступным и понятным благодаря симбиозу цифровых технологий и «живого».

Еще более важно, что благодаря цифровым моделям мы можем узнавать последствия различных воздействий на окружающую среду и принимать более обоснованные решения в области экологии и устойчивого развития. Цифровые инструменты в биодизайне играют важную роль не только в процессе проектирования среды обитания живых организмов, но и в ее поддержании и улучшении в процессе использования. Они позволяют создавать более эффективные и удобные условия для живых существ, способствуя их благополучию и здоровью.

Заключение

На закате эпохи антропоцена человечество все еще оказывает значительное воздействие на окружающую среду. Люди продолжают быть регуляторами экосистемы и осознают свою ответственность за баланс в природе, стремясь к сотрудничеству с другими видами



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

живых существ. Важным аспектом этого взаимодействия являются организмы разных видов, которые существуют в симбиозе, взаимно зависят друг от друга и обеспечивают взаимное процветание. Это сотрудничество напоминает нам о том, что мы, люди, не стоим в стороне, и являемся неотъемлемой частью живой природы. В этом мы убедились во время пандемии Covid-19, которую можно рассматривать как предупреждение об экологической катастрофе, угрожающей самому существованию планеты. «Человечество становится неспособным разделить мир смыслом, который до сих пор позволял ему населять окружающую среду – мир может обойтись без человека, и, следовательно, последний становится «лишним», как выразился Сартр», – писал Квентин Мейясу³³. Кризис здоровья также парадоксальным образом вернул нас к состоянию «мигрантов» на планете. По словам английского философа Тимоти Мортон и автора книги «Темная экология»: «Экологический кризис заставляет нас осознать, насколько все взаимосвязано»³⁴. В статье мы попытались заглянуть в реальность постантропоцена, где происходит взаимодействие цифрового интеллекта, живых систем и человека.

Мы приглашаем задуматься о биологических перспективах, где представленный подход предлагает новые способы взаимодействия с цифровыми технологиями в контексте биодизайна, то есть использования биологических принципов в дизайне окружающей среды. В результате анализа нам удалось выделить следующие функции цифровых инструментов: понимание, проектирование и сохранение, которые способствуют созданию и процветанию «живых артефактов». Выделенные инструменты и за-

ключения могут быть полезным для дизайнеров и специалистов в области человеко-компьютерного взаимодействия, помогая им исследовать новые методы воплощения и сохранения природной среды и предвидеть проблемы, которые могли бы остаться незамеченными. Исследование открывает новые горизонты для сотрудничества между технологиями и биологическими науками, продолжая создавать устойчивые и инновационные решения в области дизайна и человеко-компьютерного взаимодействия.

Список литературы

- Karana, E., Barati, B., & Giaccardi, E. (2020). Living artefacts: conceptualizing livingness as a material quality in everyday artefacts. *International Journal of Design*, 14(3) 2020.
- Gilbert, S. F., Sapp, J., & Tauber, A. I. (2012). A symbiotic view of life: We have never been individuals // *The Quarterly Review of Biology*, 87(4), 2012. 325–341. <https://doi.org/10.1086/668166>
- Westerlaken M. (2022). Multispecies worlding through design // *Interactions* 29, 6 (November – December 2022), 14–15. <https://doi.org/10.1145/3568306>
- Haraway D. (2008). *When Species Meet*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2008.
- Tsing, A.L. (2015). *Feral biologies*. In: Inaugural conference: Anthropological visions of sustainable futures. Organised by Brightman, M and J. Lewis. London: Centre for the Anthropology of Sustainability (CAOS), University College London. February 13, 2015.
- Liu, J., Byrne, D., & Devendorf, L. (2018). Design for collaborative survival: An inquiry into human-fungi relationships. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (no. 40, 1–13). ACM. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173614>
- Smith, N., Bardzell, S., & Bardzell, J. (2017). Designing for cohabitation: Naturecultures, hybrids, and decentering the human in design. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*. 1714–1725. ACM. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025948>

³³ Meillassoux, Q. (2008). *After Finitude: An Essay on the Necessity of Contingency*. New York: Continuum. 187.

³⁴ Morton, T. (2010). *The Ecological Thought*. Cambridge, Mass., Harvard University Press. 30.



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

Zhou, Jiwei & Barati, Bahar & Wu, Jun & Scherer, Diana & Karana, Elvin. (2020). Digital biofabrication to realize the potentials of plant roots for product design. *Bio-Design and Manufacturing*. 4. 1–12. 10.1007/s42242-020-00088-2

Collins, J. (2012). Synthetic biology: Bits and pieces come to life. *Nature*, 483(7387), 8–10. <https://doi.org/10.1038/483S8a>;

Ginsberg, A. D., Calvert, J., Schyfter, P., Elfick, A., & Endy, D. (2014). Synthetic aesthetics: Investigating synthetic biology's designs on nature. MIT Press.

Camere, S., & Karana, E. (2017). Growing materials for product design. *Alive. Active. Adaptive*. In Proceedings of the international conference on experiential knowledge and emerging materials. TU Delft Open. 101–115.

Ciuffi, V. (2013). Growing design. *Abitare Magazine*, 531. 108–111.

Montalti, M. (2010). *Officina corpuscoli*. <https://www.corpuscoli.com/> (Accessed: June 21, 2024)

Ginsberg, A. D., & Chieza, N. (2018). Editorial: Other biological futures. *Journal of Design and Science*, 1–14. <https://doi.org/10.21428/566868b5>

Moisy, A., & Pschetz, L. (2017). Designing with living organisms. In Proceedings of the 3rd biennial research through design conference. 323–339. RTD. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.4746994>

Aspling, F., Wang, J., & Juhlin, O. (2016). Plant-computer interaction, beauty and dissemination. In Proceedings of the 3rd international conference on animal-computer interaction. No.5. 1–10. 10.1145/2995257.2995393.

Cheok, A. D., Kok, R. T., Tan, C., Fernando, O. N. N., Merritt, T., & Sen, J. Y. P. (2008). Empathetic living media. In Proceedings of the conference on designing interactive systems. 465–473. 10.1145/1394445.1394495.

Fernando, P. (2019). Tools for public participation in science: Design and dissemination of open-science hardware. In Proceedings of the international conference on the creativity and cognition. 697–701. 1145/3325480.3326560.

Gough, P. (2020). The nature of biodesigned systems: Directions for HCI. In Proceedings of ACM interna-

tional conference on designing interactive systems. 389–392. ACM.

<https://doi.org/10.1145/3393914.3395908>

Manzella, V., Gaz, C., Vitaletti, A., Masi, E., Santopolo, L., Mancuso, S., Salazar, D., & de las Heras, J. J. (2013). Plants as sensing devices: The pleased experience. In Proceedings of the 11th conference on embedded networked sensor systems (no. 76, 1–2). ACM. <https://doi.org/10.1145/2517351.2517403>

Poupyrev, I., Schoessler, P., Loh, J., & Sato, M. (2012). *Botanicus interacticus: Interactive plants technology*. In Proceedings of the SIGGRAPH conference on emerging technologies (no. 4, 1). ACM. <https://doi.org/10.1145/2343456.2343460>

Parkes, A., & Dickie, C. (2013). A biological imperative for interaction design. In Proceedings of the conference on human factors in computing systems. 2209–2218. ACM. <https://doi.org/10.1145/2468356.2468742>

Williams, N.; Collet, C. (2020). Biodesign and the Allure of “Grow-made” Textiles: An Interview with Carole Collet. *GeoHumanities*, 1–13.

Pataran, P., Kong, D. S., Maes, P., & Sra, M. (2020). Living bits: Opportunities and challenges for integrating living microorganisms in human-computer interaction. In Proceedings of the augmented humans international conference.

Liu, S. Y., Bardzell, J., & Bardzell, S. (2018). Photography as a design research tool into natureculture. In Proceedings of the designing interactive systems conference. 777–790. ACM. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196819>

Ciobanu, P. (2019). Designing for and with care in multispecies kinship: Exploring methods of decentering the human in design. <https://www.essays.se/essay/450ead73d6/> (Accessed: June 21, 2024)

Chen, D., Seong, Y. ah, Ogura, H., Mitani, Y., Sekiya, N., & Moriya, K. (2021). Nukabot: Design of care for human-microbe relationships. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (no. 291, 1–7). ACM. <https://doi.org/10.1145/3411763.3451605>

Light, A., Powell, A., & Shklovski, I. (2017). Design for existential crisis in the anthropocene age. In Proceedings of the 8th international conference on commu-



Ольга Викторовна ДЬЯЧЕНКОВА

| «Живые артефакты»: перспективы развития цифровых технологий в биодизайне |

nities and technologies. 270–279. ACM.
<https://doi.org/10.1145/3083671.3083688>

Liu, S. Y., Bardzell, J., & Bardzell, S. (2018). Photography as a design research tool into natureculture. In Proceedings of the designing interactive systems conference. 777–790. ACM.
<https://doi.org/10.1145/3196709.3196819>

Ramirez-Figueroa, C., Hernan, L., & Pei-Ying, L. (2018). The biological unseen. Producing and mediating imaginaries of protocells. In Proceedings of the 5th biennial transdisciplinary imaging conference. 122–137.
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.6104687.v2>

Smith, R. S. H., Bader, C., Sharma, S., Kolb, D., Tang, T. C., Hosny, A., Moser, F., Weaver, J. C., Voigt, C. A., & Oxman, N. (2020). Hybrid living materials: Digital design and fabrication of 3D multimaterial structures with programmable biohybrid surfaces. *Advanced Functional Materials*, 30(7), 1–14.
<https://doi.org/10.1002/adfm.201907401>

Pasquero, C., & Poletto, M. (2020). Bio-digital aesthetics as value system of post: Anthropocene architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 18(2), 120–140. <https://doi.org/10.1177/1478077120922941>

Bader, Christoph & Sharma, Sunanda & Smith, Rachel & Disset, Jean & Oxman, Neri. (2018). Viva in Silico: A position-based dynamics model for microcolony morphology simulation.

Jian, Honglei & Wang, Meiyue & Wang, Shengtao & Wang, Anhe & Bai, Shuo. (2018). 3D bioprinting for cell culture and tissue fabrication. *Bio-Design and Manufacturing*. 1. 10.1007/s42242-018-0006-1.

Liu, X., Yuk, H., Lin, S., Parada, G. A., Tang, T. C., Tham, E., de la Fuente-Nunez, C., Lu, T. K., & Zhao, X. (2017). 3D Printing of living responsive materials and devices. *Advanced Materials*, 30(4).
<https://doi.org/10.1002/adma.201704821>

Briscoe, D. (2020). Living wall: Digital design and implementation. *Journal of Digital Landscape Architecture*. (5).
https://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_open/DLA_2020/537690066.pdf (Accessed: June 21, 2024)

Merritt, T., Hamidi, F., Alistar, M., & DeMenezes, M. (2020). Living media interfaces: A multi-perspective analysis of biological materials for interaction. *Digital Creativity*, 31(1), 1–21.
<https://doi.org/10.1080/14626268.2019.1707231>

Meillassoux, Q. (2008). *After Finitude: An Essay on the Necessity of Contingency*. New York: Continuum.

Morton, T. (2010). *The Ecological Thought*. Cambridge, Mass., Harvard University Press.



Olga V. DYACHENKOVA

| "Living Artifacts": Perspectives on the Development of Digital Technologies in Biodesign |

Olga V. DYACHENKOVA

National Research University Higher School of Economics
12, Malaya Pionerskaia ul., Moscow, 115054 Russian Federation
Art and Design School
PhD Student in Art and Design
ORCID: 0000-0002-8501-4115
E-mail: dyachenkovaolga@yandex.ru

"LIVING ARTIFACTS": PERSPECTIVES ON THE DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN BIODESIGN

Biodesign is the new industrial paradigm for material artifacts of the 21st century. This new design practice involves the integration of living organisms such as bacteria, microalgae, fungi and plants into design as sources of materials, generators of energy and food, sources of light, purifiers of water and air, regulators of heat, etc. Today, biodesign is coming into play with digital reality at the interface with the field of human-computer interaction. The main focus will be on how digital technologies can benefit "living artifacts", everyday objects that are alive during use and can grow, adapt and eventually die. "Living artifacts" require responsive behavior and opportunities for interaction, raising critical questions regarding care, symbiosis, cohabitation, and adaptation between humans and other beings. The concept of habitability plays an important role in this process, which is concerned not only with creating a suitable habitat, but also with maintaining the viability of the organism at the time of artifact use.

The proposed concept discusses how we can experience and perceive the "vitality" of an artifact in everyday life. This concept has sparked a major debate in the field of human-computer interaction (HCI). This article will attempt to bridge the gap in the unexplored role of digital tools in design by taking multi-species species and their relationships as the focus of biodesign practice. The paper will provide an introduction to computer-aided design, modeling, the use of 3D printing, and living electronic devices. The paper will highlight the specific roles that digital tools play in the creation of "living artifacts".

Keywords: Biodesign, living organisms, living artifacts, living materials, living aesthetics, digital technologies, computer-aided design, human-computer interaction.

References

- Karana, E., Barati, B., & Giaccardi, E. (2020). Living artefacts: conceptualizing livingness as a material quality in everyday artefacts. *International Journal of Design*, 14(3) 2020.
- Gilbert, S. F., Sapp, J., & Tauber, A. I. (2012). A symbiotic view of life: We have never been individuals. *The Quarterly Review of Biology*, 87(4), 2012. 325–341. <https://doi.org/10.1086/668166>
- Westerlaken M. (2022). Multispecies worlding through design. *Interactions* 29, 6 (November – December 2022), 14–15. <https://doi.org/10.1145/3568306>
- Haraway D. (2008). *When Species Meet*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2008.
- Tsing, A.L. (2015). *Feral biologies*. In: Inaugural conference: Anthropological visions of sustainable futures. Organised by Brightman, M and J. Lewis. London: Centre for the Anthropology of Sustainability (CAOS), University College London. February 13, 2015.
- Liu, J., Byrne, D., & Devendorf, L. (2018). Design for collaborative survival: An inquiry into human-fungi relationships. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (no. 40, 1–13). ACM. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173614>
- Smith, N., Bardzell, S., & Bardzell, J. (2017). Designing for cohabitation: Naturecultures, hybrids, and de-centering the human in design. In Proceedings of the



Olga V. DYACHENKOVA

| "Living Artifacts": Perspectives on the Development of Digital Technologies in Biodesign |

- SIGCHI conference on human factors in computing systems. 1714–1725. ACM. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025948>
- Zhou, Jiwei & Barati, Bahar & Wu, Jun & Scherer, Diana & Karana, Elvin. (2020). Digital biofabrication to realize the potentials of plant roots for product design. *Bio-Design and Manufacturing*. 4. 1–12. 10.1007/s42242-020-00088-2
- Collins, J. (2012). Synthetic biology: Bits and pieces come to life. *Nature*, 483(7387), 8–10. <https://doi.org/10.1038/483S8a>;
- Ginsberg, A. D., Calvert, J., Schyfter, P., Elfick, A., & Endy, D. (2014). *Synthetic aesthetics: Investigating synthetic biology's designs on nature*. MIT Press.
- Camere, S., & Karana, E. (2017). Growing materials for product design. *Alive. Active. Adaptive*. In Proceedings of the international conference on experiential knowledge and emerging materials. TU Delft Open. 101–115.
- Ciuffi, V. (2013). Growing design. *Abitare Magazine*, 531. 108–111.
- Montalti, M. (2010). *Officina corpuscoli*. <https://www.corpuscoli.com/> (Accessed: June 21, 2024)
- Ginsberg, A. D., & Chieza, N. (2018). Editorial: Other biological futures. *Journal of Design and Science*, 1–14. <https://doi.org/10.21428/566868b5>
- Moisy, A., & Pschetz, L. (2017). Designing with living organisms. In Proceedings of the 3rd biennial research through design conference. 323–339. RTD. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.4746994>
- Aspling, F., Wang, J., & Juhlin, O. (2016). Plant-computer interaction, beauty and dissemination. In Proceedings of the 3rd international conference on animal-computer interaction. No.5. 1–10. 10.1145/2995257.2995393.
- Cheok, A. D., Kok, R. T., Tan, C., Fernando, O. N. N., Merritt, T., & Sen, J. Y. P. (2008). Empathetic living media. In Proceedings of the conference on designing interactive systems. 465–473. 10.1145/1394445.1394495.
- Fernando, P. (2019). Tools for public participation in science: Design and dissemination of open-science hardware. In Proceedings of the international conference on the creativity and cognition. 697–701. 1145/3325480.3326560.
- Gough, P. (2020). The nature of biodesigned systems: Directions for HCI. In Proceedings of ACM international conference on designing interactive systems. 389–392. ACM. <https://doi.org/10.1145/3393914.3395908>
- Manzella, V., Gaz, C., Vitaletti, A., Masi, E., Santopolo, L., Mancuso, S., Salazar, D., & de las Heras, J. J. (2013). Plants as sensing devices: The pleased experience. In Proceedings of the 11th conference on embedded networked sensor systems (no. 76, 1–2). ACM. <https://doi.org/10.1145/2517351.2517403>
- Poupyrev, I., Schoessler, P., Loh, J., & Sato, M. (2012). *Botanicus interacticus: Interactive plants technology*. In Proceedings of the SIGGRAPH conference on emerging technologies (no. 4, 1). ACM. <https://doi.org/10.1145/2343456.2343460>
- Parkes, A., & Dickie, C. (2013). A biological imperative for interaction design. In Proceedings of the conference on human factors in computing systems. 2209–2218. ACM. <https://doi.org/10.1145/2468356.2468742>
- Williams, N.; Collet, C. (2020). Biodesign and the Allure of “Grow-made” Textiles: An Interview with Carole Collet. *GeoHumanities*, 1–13.
- Pataran, P., Kong, D. S., Maes, P., & Sra, M. (2020). Living bits: Opportunities and challenges for integrating living microorganisms in human-computer interaction. In Proceedings of the augmented humans international conference.
- Liu, S. Y., Bardzell, J., & Bardzell, S. (2018). Photography as a design research tool into natureculture. In Proceedings of the designing interactive systems conference. 777–790. ACM. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196819>
- Ciobanu, P. (2019). Designing for and with care in multispecies kinship: Exploring methods of decentering the human in design. <https://www.essays.se/essay/450ead73d6/> (Accessed: June 21, 2024)
- Chen, D., Seong, Y. ah, Ogura, H., Mitani, Y., Sekiya, N., & Moriya, K. (2021). Nukabot: Design of care for human-microbe relationships. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (no. 291, 1–7). ACM. <https://doi.org/10.1145/3411763.3451605>
- Light, A., Powell, A., & Shklovski, I. (2017). Design for existential crisis in the anthropocene age. In Pro-



Olga V. DYACHENKOVA

| "Living Artifacts": Perspectives on the Development of Digital Technologies in Biodesign |

ceedings of the 8th international conference on communities and technologies. 270–279. ACM. <https://doi.org/10.1145/3083671.3083688>

Liu, S. Y., Bardzell, J., & Bardzell, S. (2018). Photography as a design research tool into natureculture. In Proceedings of the designing interactive systems conference. 777–790. ACM. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196819>

Ramirez-Figueroa, C., Hernan, L., & Pei-Ying, L. (2018). The biological unseen. Producing and mediating imaginaries of protocells. In Proceedings of the 5th biennial transdisciplinary imaging conference. 122–137. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.6104687.v2>

Smith, R. S. H., Bader, C., Sharma, S., Kolb, D., Tang, T. C., Hosny, A., Moser, F., Weaver, J. C., Voigt, C. A., & Oxman, N. (2020). Hybrid living materials: Digital design and fabrication of 3D multimaterial structures with programmable biohybrid surfaces. *Advanced Functional Materials*, 30(7), 1–14. <https://doi.org/10.1002/adfm.201907401>

Pasquero, C., & Poletto, M. (2020). Bio-digital aesthetics as value system of post: Anthropocene architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 18(2), 120–140. <https://doi.org/10.1177/1478077120922941>

Bader, Christoph & Sharma, Sunanda & Smith, Rachel & Disset, Jean & Oxman, Neri. (2018). Viva in Silico: A position-based dynamics model for microcolony morphology simulation.

Jian, Honglei & Wang, Meiyue & Wang, Shengtao & Wang, Anhe & Bai, Shuo. (2018). 3D bioprinting for cell culture and tissue fabrication. *Bio-Design and Manufacturing*. 1. 10.1007/s42242-018-0006-1.

Liu, X., Yuk, H., Lin, S., Parada, G. A., Tang, T. C., Tham, E., de la Fuente-Nunez, C., Lu, T. K., & Zhao, X. (2017). 3D Printing of living responsive materials and devices. *Advanced Materials*, 30(4). <https://doi.org/10.1002/adma.201704821>

Briscoe, D. (2020). Living wall: Digital design and implementation. *Journal of Digital Landscape Architecture*. (5). https://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_opn/DLA_2020/537690066.pdf (Retrieved June 21, 2024)

Merritt, T., Hamidi, F., Alistar, M., & DeMenezes, M. (2020). Living media interfaces: A multi-perspective analysis of biological materials for interaction. *Digital Creativity*, 31(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/14626268.2019.1707231>

Meillassoux, Q. (2008). *After Finitude: An Essay on the Necessity of Contingency*. New York: Continuum.

Morton, T. (2010). *The Ecological Thought*. Cambridge, Mass., Harvard University Press.



Olga V. DYACHENKOVA

| "Living Artifacts": Perspectives on the Development of Digital Technologies in Biodesign |

