

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИЗ МИЦЕЛИЯ

Соломина Дарья Сергеевна,

магистрант,
Научный руководитель: профессор А.А. Мордвов,
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, Новосибирск,
e-mail: d.solomina@sibstrin.ru

Мордвов Аркадий Алексеевич,

профессор, лауреат Госпремии Совета Министров СССР,
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, Новосибирск,
e-mail: a.mordvov@sibstrin.ru

УДК: 72.023

Шифр научной специальности: 2.1.12

DOI: [https://doi.org/10.47055/19904126_2024_3\(87\)_9](https://doi.org/10.47055/19904126_2024_3(87)_9)

Аннотация

В статье рассматривается существующий опыт интеграции биотехнологий с использованием мицелия в архитектуре. Рассмотрены ключевые этапы в развитии данного направления. Проекты, связанные с использованием мицелиевых конструкций, оцениваются по критериям геометрии объекта и способам реализации. Проведенный сравнительный анализ позволяет отследить хронологию развития указанного направления и выявить основные тенденции развития архитектуры с использованием конструкций из мицелия сегодня.

Ключевые слова:

биотехнологии в архитектуре, архитектурные биокомпозитные материалы, биоархитектура, мицелий в архитектуре

MYCELIUM ARCHITECTURE: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Solomina Darya S.,

Master degree student,
Research supervisor: Professor A.A. Mordvov,
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, Novosibirsk,
e-mail: d.solomina@sibstrin.ru

Mordvov Arkadiy A.,

Professor,
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, Novosibirsk,
e-mail: a.mordvov@sibstrin.ru

УДК: 72.023

Шифр научной специальности: 2.1.12

DOI: [https://doi.org/10.47055/19904126_2024_3\(87\)_9](https://doi.org/10.47055/19904126_2024_3(87)_9)

Abstract

The article reviews current experiences in the integration of mycelium-based biotechnologies into architecture. Key developments in this area are considered. Projects using mycelial structures are assessed by the criteria of construction geometry and methods of implementation. A comparative analysis is used to re-trace the chronology and identify the main trends in the development of architecture that uses mycelium structures today.

Keywords:

biotechnology in architecture, architectural biocomposite materials, bio-architecture, mycelium in architecture

Введение

Сегодня строительная индустрия столкнулась с беспрецедентным вызовом реорганизации ввиду ухудшения экологической ситуации. В частности, это актуально для проектируемой городской среды и ее дальнейшей эксплуатации, основанной на существующей системе потребления ресурсов.

Интеграция биотехнологий относится к подходам, способным изменить ситуацию в лучшую сторону. На сегодняшний день изучение биокompозитов уже дало значительный толчок к решению ряда актуальных вопросов архитектурно-строительной отрасли. Из них стоит выделить композиты на основе мицелия. Мицелий – это вегетативная ткань гриба (например, шампиньонов), которая находится под землей. Он выступает в качестве среды, через которую гриб поглощает питательные вещества.

Мицелий является альтернативным экологически чистым материалом. В настоящее время есть примеры применения мицелия в строительстве: биокompозитный материал на основе бетона и спор мицелия как «самовосстанавливающийся бетон» – исследования команды Бингемтонского университета (Бингемтон, Нью-Йорк, США) [1]; ряд патентов на биокompозиты с использованием мицелия, например патент Филипа Росса на технологию производства сборных структур из мицелия [2], или патент Анны Будниковой «Микокарст» – технология укрепления карстовых почв [3].

Но в настоящее время тема мало изучена, несмотря на то, что стремительно набирает свою популярность. На сегодняшний день нет зданий, полностью реализованных из мицелия. В связи с этим **объектом исследования** является биотехнологии на основе мицелия в архитектуре. **Предмет исследования** – архитектура на основе мицелия. **Цель:** периодизация развития с темпоральным анализом архитектуры из мицелия, конструктивно-технологическая классификация структур на основе мицелия, определение перспектив применения мицелия в архитектуре.

Методы и материалы

В процессе исследования был применен хронологический анализ развития архитектуры из мицелия для выявления темпоральности развития отрасли. Выявлены подходы к созданию архитектуры из мицелия предлагается зафиксировать как классификацию по конструктивно-технологическому признаку. Материалы исследования – реализованные архитектурные объекты из мицелия, конструктивно-технологические особенности и приемы их создания.

Результаты исследования

Архитектура из мицелия представляет собой радикальное видение архитектуры, которая способна стремительно, словно живой организм, расти и формироваться в конкретно выбранной среде и меняться под ее влиянием, самостоятельно генерируя строительный ресурс в процессе роста. Исследование «Грибковая архитектура» («Fungal architecture») команды Королевской датской академии (Royal Danish Academy) подтверждает высокие возможности электропроводимости сети мицелия, что доказывает ее вычислительно-активный ресурс, порождая новые биологически обоснованные функции для зданий и сооружений, такие как саморегуляция, адаптация, выявление оптимальных стратегий формообразования, автономный рост и самовосстановление; а также создавая новые преимущества современной архитектурной среды и ее наполнения – появляется концепция, радикально альтернативная современному видению «умных зданий», которые в значительной степени зависят от технической инфраструктуры [4].

Изучение производства и использования биокомпозитов на основе мицелия в строительной отрасли и смежных областях представляет собой новое и недостаточно изученное направление, тем не менее ряд исследований доказывает их перспективность в качестве конструкционного материала при строительстве капитальных зданий. Для интеграции мицелия в конструктивную систему используют два основных производственных подхода. Первый заключается в сборке конструкции из отдельных, самостоятельных элементов по типу кирпичей. В англоязычных источниках можно встретить термин «сборка дискретных элементов» («discrete-element assemblies») [4]. Второй представляет собой создание монолитных структур. Стоит также отметить, что грибница – живой организм, отличающийся особой живучестью, – при наличии благоприятных условий будет любыми способами продолжать свой рост, контролировать который практически невозможно. Вспомним хотя бы шампиньоны, взламывающие асфальт (рис. 1) [5].



Рис. 1. Шампиньоны, взламывающие асфальт.

Источник: https://korzik.net/uploads/posts/2016-10/1477918587_118911.jpg ;
<https://storage.bash.news/7/0/E/70EAE77D3EBDD3B5.jpg>

Учитывая эту биологическую особенность, обозначим еще одно немаловажное различие в способах внедрения мицелия в архитектуру: рост мицелия останавливается чаще всего термически, таким образом происходит стабилизация мицелия в нужной кондиции за счет его умерщвления; реже рассматриваются подходы, направленные на сохранение мицелия как живого организма. Кроме того, на характеристики биокомпозита на основе мицелия сильно влияют виды и скорость роста грибов.

Далее представлен анализ объектов, реализованных из мицелия. В анализе объектов делается акцент на конструктивные и технологические особенности с целью дальнейшей классификации.

Опыт применения мицелия в архитектурных инсталляциях и малых формах

В 2009 г. Филип Росс (Philip Ross) представил инсталляцию «Микотектура Альфа» («Mycotecture Alpha»), состоящую из отдельных композитных блоков мицелия, расположенных в форме цилиндрического свода (рис. 2). Он говорил: «Мицелий не очень приятен на вкус, но после высыхания он приобретает другие замечательные свойства: он нетоксичен, огнеупорен, устойчив к плесени и воде и удерживает больше тепла, чем изоляция из стекловолокна. Он также прочнее, чем бетон». В декабре Росс завершил строительство того, что считается первой конструкцией, полностью сделанной из грибов. 500 кирпичей, которые он вырастил в компании «Фар Вест Фунджи» (Far West Fungi), были настолько крепкими, что он уничтожил множество металлических напильников и пильных полотен, превращая грибы в арку 1,8 м в высоту и ширину [6]. Инсталляция экспонировалась в музее современного искусства (МоМА – Museum of Modern Art, Нью-Йорк, США). Объект можно классифицировать как дискретный, т.е. выполненный из сборных элементов. Указывающие на это признаки – выращенные Россом кирпичи, дискреты, из которых состоит объект.



Рис. 2. Инсталляция «Mycotecture Alpha» в музее современного искусства (МоМА – Museum of Modern Art), Нью-Йорк, США

Источник: <https://hips.hearstapps.com/hmg-prod/images/mycotectural-alpha-phil-ross-1622041187.jpg?crop=0.768xw:1xh:center,top&resize=980:> *

В 2014 г. Дэвид Бенджамин (David Benjamin) выполнил крупномасштабную структуру из биокомпозитных кирпичей под названием «Хай-Фай» («Hy-Fi»), посмотреть на которую можно было в том же музее МоМА, во дворе здания PS1 (рис. 3). Hy-Fi – первая крупномасштабная инсталляция, использующая технологию «грибных» кирпичей. В отличие от «Mycotecture Alpha» ее высота составляет более 12 м, а конструкция содержит около 10 000 кирпичей. Инсталляция выставлялась под открытым небом и подвергалась воздействию окружающей среды, поэтому после трех месяцев культурных мероприятий она была разобрана, а кирпичи передали на переработку в компост [7]. Объект можно классифицировать как дискретный, аналогично арке Росса. В качестве дискреты снова выступает мицелиевый кирпич.



Рис. 3. Инсталляция «Ну-Фи» в музее современного искусства, двор здания PS1 (MoMA – Museum of Modern Art, PS1), Нью-Йорк, США

Источник: https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen_brief/6578950/pub_62a44c61ebe438762b0bf440_62a44c61ebe438762b0bf441/scale_1200

Обе вышеописанные инсталляции выполнены на основе технологии, разработанной компанией «Эковатив Дизайн» (Ecovative Design LLC) в 2007 году, которая на момент реализации «Mycotecture Alpha» использовалась только для изготовления упаковки [8]. Поэтому реализация этих проектов приобрела широкую известность.

В 2016 г. в Индии проводилось крупнейшее арт-событие в Юго-Восточной Азии – биеннале Кочи-Музирис, которая проходила с декабря 2016 г. по март 2017 г. На этой биеннале был представлен павильон «Раковинный мицелий» («Shell Mycelium»). Асиф Рахман (Asif Rahman) из индийской студии «Битлз 3.3» (Beetles 3.3), а также Джомбаттиста Арредиа (Giombattista Arredia) и Мохамад Яссин (Mohamad Yassin) объединились для создания этой инсталляции в Форт-Кочи, штат Керала. Их целью было раскрыть мицелий как альтернативный строительный материал, который подходит для строительства временных сооружений благодаря своему экологически чистому составу, в противовес современным материалам. Исследователи утверждают, что его можно успешно применять для формирования временных, а не постоянных конструкций, в период крупных событий, таких как международные спортивные соревнования и всемирные выставки.

Уникальной особенностью мицелия является то, что, при определенных условиях, он может сливаться с каркасом, к которому он добавлен. В случае с павильоном «Shell Mycelium» материал объединили с треугольным деревянным каркасом. Архитекторы создали в конструкции ряд полостей, похожих на подносы. Они были заполнены грибными спорами и субстратом, а затем покрыты сердцевиной кокосового волокна, состоящей из волокон скорлупы кокосового ореха (рис. 4). С момента создания этого павильона в области мицелиевой архитектуры начинается переходный период от технологии сборных элементов к созданию монолитных объектов.



Рис. 4. Павильон «Shell Mycelium», биеннале Кочи-Музирис, 2016

Источник: https://static.dezeen.com/uploads/2017/08/shell-mycelium-pavilion-architecture_dezeen_hero-2.jpg

В 2017 г. на Сеульской биеннале архитектуры и урбанизма была представлена инсталляция «Майко Три» («Muso Tree»), являющаяся результатом сотрудничества профессоров устойчивого строительства Технологического института Карлсруэ (Karlsruher Institut für Technologie – KIT) и группы исследователей Швейцарского федерального технологического института (Eidgenössische Technische Hochschule Zurich – ETH) в Цюрихе (рис. 5). Этот объект демонстрирует бóльшую сложность подхода к формованию. Основная решаемая задача в рамках этой инсталляции – достижение стабильности за счет геометрии, а не за счет прочности материала, так как материалы на основе мицелия обладают, с одной стороны, значительными экологическими преимуществами, с другой – сравнительно низкой структурной прочностью, что ограничивает размер итоговых сооружений. При строительстве из материалов, слабых на растяжение и изгиб, хорошая геометрия необходима для поддержания равновесия только за счет контакта, т. е. за счет сжатия. Поэтому при проектировании формы использовались принципы фуникулерной геометрии (funicular geometry). Концептуально можно сказать, что фуникулерная конструкция – это конструкция, которая может достичь состояния равновесия, приняв механизм «правильной» формы (геометрии), соответствующей приложенным нагрузкам. Эта «правильная» форма называется «фуникулерной» геометрией [9]. В отечественной практике больше распространен термин «катенарные арки». Катенарные (фуникулерные) арки имеют форму, обеспечивающую только осевое сжатие при заданной нагрузке. Преимущество такой геометрии состоит в том, что напряжения в ней очень низкие. Разработка инженерных материалов, таких как бетон или сталь, в основном направлена на повышение прочности этих материалов, на увеличение их допустимых напряжений. Однако достижение стабильности за счет геометрии, а не за счет прочности материала открывает возможность использования материалов, обладающих меньшими прочностными характеристиками, но имеющих другие преимущества [10].

Несмотря на то, что «Muso Tree» также состоит из дискретных элементов, его выделяет подход к формированию геометрии не только общей конечной инсталляции, но и отдельных ее элементов, имеющих индивидуальную форму. Однако сама технология остается неизменной: в матрицу определенной формы помещается субстрат, в субстрат добавляются споры грибов, после чего начинает формироваться мицелий и заполнять собой субстрат. После определен-



Рис. 5. Инсталляция «Мусо Трее». Сеульская биеннале архитектуры и урбанизма, 2017. Сеул, Корея. Источник: <https://camo.htz.dapor.net>

ного времени мицелий стабилизируют и достают из формы, получая дискретный элемент. Этот объект, так же как и «Shell Mycelium», можно классифицировать как переходный, так как, несмотря на то, что он состоит из отдельных элементов, форма каждой дискретности подчинена общей геометрии.

В 2018 г. архитектор Джонатан Десси-Олив (Jonathan Dessi-Olive) разработал биопавильон «Эль Монолито Мицелио» («El Monolito Micelio»), выходящий за рамки технологии дискретности и раскрывающий потенциал мицелия с точки зрения монолитного каркаса (рис. 6).



Рис. 6. Павильон «El Monolito Micelio» (задний план); ранний прототип – «Tactical Mycelium» (передний план), 2018. Атланта, США Источник: https://freight.cargo.site/w/3000/q/75/i/b06efa76ddb61d09843b77249787e3b0fac25ba77a6deb758dcd39d3d9eebacd/Cargo_Monolito.jpg

Для формирования павильона использовали деревянную опалубку, которую так же, как матрицу при дискретном способе производства, заполнили субстратом и спорами грибов. Самонесущая монолитная структура выращивалась непосредственно на месте размещения павильона. Опалубка снималась после набора мицелием необходимой прочности [11]. Ранний прототип павильона – «Тактикал Майселиум» («Tactical Mycelium») – небольшая монолитная структура на основе мицелия, которая росла чуть менее пяти дней и высушивалась на воздухе в течение нескольких недель, также представлена на рис. 6 и 7 [12].



Рис.7. Проверка стабильности конструкции прототипа, 2018. Атланта, США Источник: https://freight.cargo.site/w/1080/q/94/i/c1b60cfa7ddd0f6e9c0934f59c3efae40a403d6bf6bd7c70826606b8ad1cf08/IMG_9023.JPG

Особенностью «El Monolito Micelio» является и то, что при производстве как прототипа, так и конечного павильона композит мицелия подвергался воздушной сушке, а не термической обработке. «El Monolito Micelio» – это первый монолитный объект из мицелия в масштабе павильона, выполненный с помощью крупногабаритной опалубки.

В 2019 г. команда исследователей Королевской датской академии собрала консорциум, состоящий из архитекторов, программистов, биофизиков, микологов и отраслевых экспертов в области технологий на основе мицелия для работы над проектом «Грибковая архитектура» («Fungal architecture»). «Fungal architecture» – это междисциплинарный исследовательский проект, цель которого – разработка полностью структурно интегрируемого живого субстрата с использованием мицелия для выращивания архитектуры [13].

Авторы исследования предлагают рассмотреть архитектуру из мицелия как «живой» объект, аргументируя такой подход тем, что, даже изобретая инновационный материал в процессе изготовления строительных элементов, мы умерщвляем живой и потенциально полезный организм, чтобы стабилизировать его, теряя при этом способности живого мицелия – жить (создавать) какие бы то ни было структуры. Однако оставался открытым вопрос контроля роста нитей мицелия. Можно ли этому процессу задать направление? Исследователи «Fungal architecture» считают, что

этого можно добиться с помощью электричества. Свою теорию они подтвердили, проведя ряд исследований, в которых пропускали ток через гифы (нити мицелия), используя при этом аттрактанты и репелленты (привлекающие и отпугивающие химические препараты) для контроля направлений роста и определенные составы субстратов для контроля количества ветвлений гифов и плотности сети мицелия. В качестве структурного паттерна была выбрана решетка кагомэ – структура, обнаруженная в молекулярном строении многих минералов (рис. 8, 9) [4].

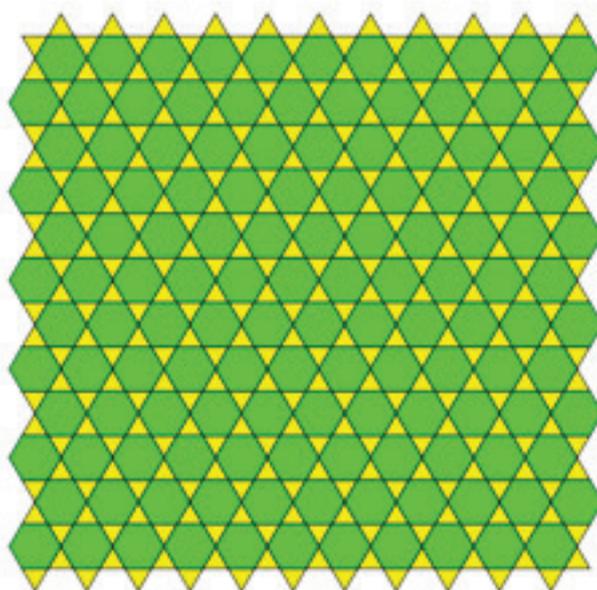


Рис. 8. Структура кагомэ, тришестиугольная мозаика

Источник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/34/1-uniform_n7.svg/480px-1-uniform_n7.svg.png

Сами авторы позиционируют продукт своих исследований как монолитный объект. Образец, представленный на рис. 9, имеет приблизительные размеры 1x1x1 м, но конечной целью является создать структуру, способную перекрыть пролеты более 50 м. Отличительная особенность полученного образца – то, что в отличие от «El Monolito Micelio» перед окончательной стабилизацией ветвления мицелия была задана структура кагомэ, обеспечивающая дополнительную прочность объекту.



Рис. 9. Образец, выращенный в ходе экспериментов команды «Fungal architecture»

Источник: https://mogu.bio/wp-content/uploads/2022/12/cropped-FUNGAR_Prototype_001_03_LargeRotated.jpg

В 2022 г. исследовательской группой «Лаборатория формы» («Shape Lab») из Института архитектуры и медиа Технологического университета Граца (Institute of Architecture and Media at Graz University of Technology – IAMTUGraz) была опубликована статья «МайСера. Применение роста мицелия в глиняных структурах, изготовленных цифровым способом» («MyCera. Application of mycelia growth with indigitally manufactured clay structures») в рамках разработки технологии «МайСера» («MyCera») – труд, описывающий технологию 3D-печати на основе глины и мицелия [14].

Исследование сосредоточено на использовании мицелия в качестве армирующего волокна для повышения структурных характеристик элементов из необожженной глины, напечатанных на 3D-принтере, и на обеспечении возможности «биологической сварки» обожженных элементов. Было реализовано несколько прототипов не более 1x1x1 м, однако у исследователей большие планы на данную технологию: «После проведения достаточных исследований [мы можем подтвердить, что] предлагаемый состав материала может заменить вяжущие вещества на цементной основе. <...>

<...> Чтобы проверить предположение о выгодном структурном эффекте соединений выращенных волокон, планируется сравнение армирования мицелиальными волокнами и другими волокнами, которые обычно используются для увеличения прочности на разрыв, такими как базальтовые и стеклянные волокна» (Из «МайСера. Применение роста мицелия в глиняных структурах, изготовленных цифровым способом», опубликовано «Shape Lab») [14]. Один из реализованных объектов 3D-печати «MyCera» представлен на рис. 10



Рис. 10. Объект, напечатанный по технологии 3D-печати «MyCera», фотография исследовательской группы «Shape Lab»

Источник: <https://www.3dwasp.com/wp-content/uploads/2023/09/3d-printing-mycelium-reinforced-structures-mycera.jpeg>

Исследования команды «Shape Lab» стали отправной точкой для развития аддитивных технологий в области архитектуры из мицелия, при этом такие оговоренные ранее биологические особенности, как «биологическое спаивание» отдельных элементов, также использовались в предшествующих исследованиях: например, не полностью высушенные кирпичи мицелия складывали друг на друга, давая элементам срастись, «объединиться». «MyCera» стало первым полномасштабным исследованием об интеграции аддитивных технологий в мицелиевую архитектуру.

Результаты

Периодизация мицелиевой архитектуры отображена на рис. 11.



Рис.11. Периодизация развития и темпоральный график мицелиевой архитектуры. Рис. Д.С. Соломиной

Общим для всех технологий (дискретный, переходный, монолитный, аддитивные технологии) является использование структурной геометрии, ориентированной на сжатие, из-за механических свойств композита мицелия. Способ реализации мицелиевой архитектуры с использованием дискретных элементов обеспечивает больший контроль над производством, нежели при создании монолитных структур, однако это зависит от последующих методов сборки. Методы строительства монолитных конструкций, несмотря на свои конструктивные преимущества, создают проблемы с обеспечением согласованности контролируемого производства, что может сказаться на характеристиках материалов, особенно при увеличении масштаба проекта. Интеграция аддитивных технологий является перспективным подходом, но требует дополнительного изучения ввиду некоторых биологических особенностей спор грибов и взаимодействия мицелия с разными средами и материалами.

Классификация по конструктивным и технологическим признакам

На основе проведенного анализа, выявленные способы создания архитектуры из мицелия предлагается зафиксировать как классификацию по конструктивным и технологическим признакам.

Классификация по конструктивным признакам:

1. Дискретный – тип объекта, выполненного из биокompозитного материала на основе мицелия, который реализован путем сборки отдельных элементов (дискрет), созданных по типу молдирования.
2. Монолитный – тип объекта, выполненного из биокompозитного материала на основе мицелия, который реализован путем планомерного последовательного выращивания всего объекта как цельного.

Классификация по технологическим признакам:

1. Молдирование (1М) – вид реализации объекта или его частей, при котором конечная форма задается с помощью опалубочного элемента (молда) и извлекается из него после полной стабилизации сырья.
2. Монолитное молдирование (2М) – вид реализации объекта, при котором форма дискрет задается молдом. После первичного набора прочности дискреты извлекаются из молда до завершения полной стабилизации, устанавливаются в проектное положение и в процессе дальнейшей стабилизации образуют монолитную конструкцию, врастая друг в друга. Такой способ возможен при использовании мицелия только одного гриба (мицелии не должны являться антагонистами).
3. Реализация через аддитивные технологии (РАТ) – вид реализации объекта, созданного с использованием аддитивных технологий, например с помощью послойного наращивания объема. При такой технологии может быть реализована как отдельная дискрета, так и весь объект.

Обсуждение

Полученный в результате исследования темпоральный график отображает стремительное ускорение развития изучаемого направления, несмотря на кризисный период с 2009 по 2014 г., что говорит о повышенном внимании к теме.

Удалось отследить и выявить градацию подходов к формированию объектов: дискретный, переходный, монолитный, интеграция аддитивных технологий, – что свидетельствует о вариативности. Также на основе выявленной градации была зафиксирована классификация по конструктивным и технологическим признакам. Следовательно, подобрать наиболее подходящий вариант для заданных условий при реализации объекта становится проще, при этом, конечно, остается открытым вопрос о создании действительно адаптивной архитектуры.

Следует помнить о прочностных особенностях мицелия и их взаимосвязях с геометрической формой, о различиях прочностных характеристик разных штаммов и о влиянии самого процесса формирования объекта на его прочность. Необходимо конкретизировать такие свойства изделий из мицелия, как вариативность цветовой гаммы, нетоксичность, огнестойкость, устойчивость к развитию плесени, водопоглощение, теплопроводность, стойкость к воздействию ультрафиолета, морозостойкость, показатели прочности на центральное и внецентренное сжатие, на растягивающие и изгибающие усилия и т.п.

Перспективы применения конструкций из мицелия в архитектуре

К сожалению, на сегодняшний день недостаточно данных для широкого внедрения материалов из мицелия в массовое строительство, однако уже сегодня можно говорить о мицелии как альтернативе традиционным строительным материалам (ячеистым бетонам, древесине и т. п.) для создания различных объектов архитектуры, к которым не предъявляются требования по

капитальности и долговечности. В дальнейшем при получении необходимого объема данных, о которых сказано выше, область применения таких конструкций может быть весьма широкой. Например, учитывая его пористую структуру, высока вероятность, что материал обладает низкой теплопроводностью и высокой морозостойкостью (вследствие большой резервной пористости). При этом материал обладает достаточной прочностью, что позволяет использовать его для наружной оболочки зданий. При определенных условиях он может использоваться в качестве несущих конструкций. Возможно использование мицелия в качестве армирования архитектурных конструкций и иных элементов, обеспечивая непрерывность армирования. При определенных условиях это возможно для существующих конструкций (элементов).

В качестве конструктивно-технологических **особенностей применения конструкций из мицелия** можно выделить четыре принципа подходов к формированию объектов:

1. Дискретный – когда объект архитектуры, выполненный из биокompозитного материала на основе мицелия, реализован путем сборки отдельных элементов (дискрет), созданных по типу молдирования. Принцип аналогичен стандартной кладке из штучных материалов.
2. Монолитный – объект, выполненный из биокompозитного материала на основе мицелия, реализован путем планомерного, последовательного выращивания всего объекта как цельного. Принцип аналогичен известной технологии монолитного строительства способом непрерывного бетонирования в съемной (скользящей), либо несъемной опалубке. При этом заполнение пространства, сформированного опалубкой, не требует подачи массивного материала (например, бетонной смеси) в верхнюю зону, либо нанесением под давлением (торкретирование).
3. Смешанный – объект, выполненный из биокompозитного материала на основе мицелия, реализован из отдельных элементов, при этом в процессе реализации отдельные элементы превращаются в единое целое путем сращивания и в процессе дальнейшей стабилизации образуют монолитную, бесшовную конструкцию. Для создания единой конструкции не требуется использовать дополнительные материалы (кладочные растворы, клеевые смеси и т.п.).
4. Аддитивный – когда объект архитектуры реализован посредством использования аддитивных технологий, например с помощью послойного наращивания объема. Стоит отметить, что при таком подходе весь объект, либо его отдельные элементы могут изменяться во времени.

Также следует отметить отсутствие необходимости уплотнения материала в процессе его стабилизации.

Говоря о художественно-образном потенциале объектов из мицелия, в первую очередь стоит отметить вариативность их формообразования. Для технологического признака 1М, 2М (классификацию по технологическим признакам см. выше) форма изделия ограничена только формой опалубочного элемента (молда). А для технологического признака РАТ (классификацию по технологическим признакам см. выше) форма практически не имеет ограничений ни в пространстве, ни во времени. Это создает совершенно уникальные возможности изменения архитектурного объекта в процессе его жизненного цикла. Кроме того, необходимо отметить цвет и текстуру материала. Естественный цвет мицелия чаще всего приближен к цвету слоновой кости. Этот спокойный, нейтральный оттенок, вероятно, может варьироваться в зависимости от субстрата и добавок, или же от вида мицелия. Его текстура напоминает плотное папье-маше, однородность блока зависит от конкретных условий. Интересно, что, в отличие от бетона, два идентичных кубика мицелия, выращенных в одно время, могут иметь разную однородность по цвету и текстуре. Это позволяет объектам из этого материала быть максимально идентичным живой природе с ее бесконечным многообразием. Вариативность представлена на рис. 12.



Рис. 12. Форма, цвет и текстура мицелия

Источник: <https://pacs.ru/upload/iblock/6e4/6e4da7368dbd7e2f3964d875a08cda23.jpg>

Заключение

В настоящее время, когда во всем мире задача всемерного повышения эффективности потребляемых ресурсов, их рационального использования и обоснованной экономии стала весьма актуальной, строительный материал, обладающий малым энергопотреблением на этапе всего жизненного цикла (производство, использование, утилизация), имеет весьма широкие перспективы развития.

Если термическая обработка композитов мицелия для стабилизации роста («умерщвления») мицелия может создать материал, лишенный активности, при этом с понятными, стабильными характеристиками, то живой материал обладает свойствами, которые могут придать архитектурным конструкциям новые активные характеристики, такие как адаптация к условиям окружающей среды и агрессивным ее воздействиям (например, изменение физических размеров и/или плотности элемента в случае использования его в наружной оболочке зданий), самовосстановление и «самосборка» (например, восстановление целостности конструкции в случае ее нарушения). До сих пор эти свойства и способности материала остаются малоизученными.

Библиография

1. Menon, R, Luo, J, Chen, X, Zhou, H, Liu, Z, Zhou, G, et al. Screening of fungi for potential application of self-healing concrete. *Sci Rep.* 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39156-8>.
2. Method for Producing Fungus Structures // Google Patents – URL: <https://patents.google.com/patent/US20120135504A1/en>
3. Способ укрепления стенок карстовой воронки // Google Patents – URL: [https://patents.google.com/patent/RU2732874C1/ru?q=\(%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BA](https://patents.google.com/patent/RU2732874C1/ru?q=(%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BA)

%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%82)&oq=%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%82

4. Adamatzky, A., Ayres, P., Belotti, G. and Wosten, H. / Andrew Adamatzky, Phil Ayres, Gianluca Belotti, Han Wosten. Fungal architecture. – Copenhagen: Danish Academy of Fine Arts Schools of Architecture, Design and Conservation, 2020. – 19 с.
5. Уфимские шампиньоны настолько суровы, что пробивают асфальт? // СПУТНИК FM – URL: <https://bash.news/sputnik/lilya/60732-ufimskie-shampinony-nastolko-surovy-chto-probivajut-asfalt-7205>
6. DESIGNANDVIOLENCE. Mycotecture (PhilRoss) // MoMA – URL: <https://www.moma.org/interactives/exhibitions/2013/designandviolence/mycotecture-phil-ross/>
7. Hy-Fi, The Organic Mushroom-Brick Tower Opens At MoMA's PS1 Courtyard // archdaily – URL: <https://www.archdaily.com/521266/hy-fi-the-organic-mushroom-brick-tower-opens-at-moma-s-ps1-courtyard>
8. OurStory // ecovative – URL: <https://www.ecovative.com/pages/our-story>
9. What is Funicular geometry? What is its significance in Structures in Architecture? // Quora – URL: <https://www.quora.com/What-is-Funicular-geometry-What-is-its-significance-in-Structures-in-Architecture>
10. MycoTree // world-architects.com – URL: <https://www.world-architects.com/en/architecture-news/works/mycotree>
11. ElMonolitoMicelio // JDOVALTS – URL: <https://jdovaults.com/El-Monolito-Micelio>
12. Tactical Mycelium 1 & 2 // jdovaults – URL: <https://jdovaults.com/Tactical-Mycelium-1-2>
13. ABOUT // FungalArchitectures – URL: <https://www.fungar.eu/>
14. MyCera. Application of mycelial growth within digitally manufactured clay structures // ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/publication/359365490_MyCera_Application_of_mycelial_growth_within_digitally_manufactured_clay_structures

References

1. Menon, R., Luo, J., Chen, X., Zhou, H., Liu, Z., Zhou, G. et al. (2019). Screening of fungi for potential application of self-healing concrete. [online] Sci Rep. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39156-8>
2. Philip Ross, Mycoworks Inc. (2012). Method for Producing Fungus Structures. United States Pat. US9410116B2
3. Budnikova, A.A. (2019). Method of karst funnel walls reinforcement. Russian Federation Pat. RU2732874C1 (in Russian)
4. Andrew Adamatzky, Phil Ayres, Gianluca Belotti, Han Wosten. (2020) Fungal architecture. Copenhagen: Danish Academy of Fine Arts Schools of Architecture, Design and Conservation.
5. bash.news (2017). Are Ufa mushrooms so harsh that they break through the asphalt? [Online]. Available from: <https://bash.news/sputnik/lilya/60732-ufimskie-shampinony-nastolko-surovy-chto-probivajut-asfalt-7205> (in Russian)
6. MoMA (2017). DESIGN AND VIOLENCE. Mycotecture (Phil Ross) [Online]. Available from: <https://www.moma.org/interactives/exhibitions/2013/designandviolence/mycotecture-phil-ross/>
7. Rory Stott (2014). Hy-Fi, The Organic Mushroom-Brick Tower Opens At MoMA's PS1 Courtyard. [online] archdaily. Available at: <https://www.archdaily.com/521266/hy-fi-the-organic-mushroom-brick-tower-opens-at-moma-s-ps1-courtyard> [Accessed: 28 Nov. 2023].
8. Ecovative (2017). Our Story [Online]. Available from: <https://www.ecovative.com/pages/our-story>
9. Mayur Kanaiya (2014). What is Funicular geometry? What is its significance in Structures in Architecture? [online] Quora. Available at: <https://www.quora.com/What-is-Funicular-geometry-What-is-its-significance-in-Structures-in-Architecture>

10. world-architects.com (2017). MycoTree [Online]. Available from: <https://www.world-architects.com/en/architecture-news/works/mycotree>
11. Jonathan Dessi-Olive (2018). El Monolito Micelio. [online] JDOVAULTS. Available at: <https://jdovaults.com/El-Monolito-Micelio>
12. Jonathan Dessi-Olive (2018). Tactical Mycelium 1 & 2. [online] JDOVAULTS. Available at: <https://jdovaults.com/Tactical-Mycelium-1-2> [Accessed: 2 Dec. 2023].
13. Fungal Architectures (2019). ABOUT [Online]. Available from: <https://www.fungar.eu/>
14. Jauk J., Vašatko H., Gosch L., Christian I. (2022). MyCera. Application of mycelial growth within digitally manufactured clay structures. [online] ResearchGate. Available at: https://www.researchgate.net/publication/359365490_MyCera_Application_of_mycelial_growth_within_digitally_manufactured_clay_structures

Ссылка для цитирования статьи

Соломина, Д.С., Мордвов, А.А. Современное состояние и перспективы развития архитектуры из мицелия / Д.С. Соломина, А.А. Мордвов // Архитектон: известия вузов. – 2024. – №3(87). – URL: http://archvuz.ru/2024_3/9/ – doi: [https://doi.org/10.47055/19904126_2024_3\(87\)_9](https://doi.org/10.47055/19904126_2024_3(87)_9)

© Соломина Д.С., Мордвов А.А., 2024



Лицензия Creative Commons

Это произведение доступно по лицензии Creative Commons «Attribution-ShareAlike» («Атрибуция - на тех же условиях»). 4.0 Всемирная

Дата поступления: 11.07.2024