

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ БИОПОЛИМЕРОВ (ОБЗОР)

Д.Г. Черемисин¹, В.Р. Мкртчян¹, А.Н. Иванкин¹,
А.В. Устюгов², М.И. Маслов³, А.А. Никонорова⁴

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²МИРЭА — Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

³Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В.И. Ленина (ЛЭТИ), 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5

⁴ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

aivankin@inbox.ru

Представлен обзор современного метода 3D-печати различных композитов на основе синтетических и природных биополимеров с включением древесного сырья. Рассмотрены некоторые особенности научно-технологических подходов к формированию конкретного изделия с использованием абстрактного компьютерного моделирования. Дана классификация и приведен обзор наиболее распространенных и перспективных технологий 3D-печати с использованием деградированного сырья при включении продуктов переработки древесины. Показано, что с помощью 3D-печати весьма перспективно получение «искусственной древесины», представляющей собой смесь древесной основы с инертным полимерным связующим, которое может быть создано либо на основе синтетических полимеров, либо на основе природной биоматрицы, полученной из экологически безопасных составляющих компонентов растительного сырья. Указано, что важным аспектом проблемы получения современных биокомпозитов является дисперсность применяемых материалов, которая влияет на весь комплекс физико-механических свойств продукта. Описаны области применения предлагаемых материалов. Проанализированы тенденции развития технологии 3D-печати с использованием полимерных связующих на основе природных и синтетических полимеров и показана перспективность использования природных биополимеров на основе растительного сырья для производства необходимых для человека изделий и материалов как экологически безопасной продукции. Сделан вывод о приближающемся взрывном росте производства и применения 3D-композиционных материалов на основе природных и синтетических полимеров с включением дешевых древесных компонентов в условиях значительного снижения производственных затрат и быстрого получения необходимой продукции с низкой себестоимостью изделий при реализации высокоэффективного способа 3D-печати.

Ключевые слова: 3D-печать, технологии, композиционные материалы, применение

Ссылка для цитирования: Черемисин Д.Г., Мкртчян В.Р., Иванкин А.Н., Устюгов А.В., Маслов М.И., Никонорова А.А. Потенциальные возможности 3D-печати для получения композиционных материалов на основе синтетических и природных биополимеров (обзор) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 111–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-111-118

Широкое применение 3D-печати открыло принципиально новый путь в области создания материалов, веществ и даже биологических систем. Быстроразвивающиеся современные технологии в ближайшие несколько лет приведут к постепенной замене традиционных заводов и предприятий на производственные центры, в которых будут использоваться 3D-принтеры для промышленного выпуска различных изделий, деталей, компонентов, жилых домов, медицинских органов-имплантов и другой необходимой продукции.

Цель работы

Цель работы — обзор потенциальных возможностей 3D-печати для получения композиционных материалов на основе синтетических и природных биополимеров.

Теоретические основы применения компьютерных 3D-технологий

Развитие современных компьютерных технологий обеспечивает потенциально неограниченные возможности в области получения новейших композиционных материалов. 3D-печать, под которой специалисты сегодня понимают технологическое использование так называемых 3D-принтеров — сложных технических устройств, позволяющих формировать в пространстве точно заданные копии образцов материалов разной геометрической формы и состава или создавать новые не существовавшие ранее изделия [1].

В основу работы 3D-принтера заложен принцип послойного формирования твердой модели из определенного материала или смеси компонентов.

3D-печать по сравнению с традиционными способами получения продукта отличается высокой скоростью, относительной компактностью и простотой, а также постоянно снижающейся себестоимостью производства [2].

Получение композитов с использованием 3D-печати основано на специальных разделах компьютерной графики, в частности на совокупности программных и аппаратных приемов и инструментов, обеспечивающих пространственную непрерывность получаемых изображений с последующим переходом к конкретному изделию. При этом изготавливаемый объект может, как соответствовать оригиналу, так и быть полностью абстрактным, созданным на основе воображения [3, 4].

Для практического осуществления 3D-печати любого композита необходимо провести *моделирование*, т. е. создать математическую модель продукта и составляющих его компонентов и провести *визуализацию*, т. е. построить проекцию в соответствии с выбранной физической моделью. В завершение используют 3D-принтер — устройство, технически реализующее метод создания физического объекта на основе виртуальной 3D-модели [5].

Сегодня в 3D-печати используются две разные технологии: лазерная и струйная печать. Лазерную печать подразделяют на собственно лазерную, лазерное спекание и ламинирование. При лазерной печати принтер использует жидкий фотополимер, который засвечивается специальной ультрафиолетовой лампой с помощью фотошаблона с последующим формированием твердого материала. При лазерном спекании, лазер слой за слоем выжигает контур будущей детали на специальном порошке, т. е. осуществляет послойное производство. В случае ламинирования готовый объект создается лазером из большого количества разнообразных слоев, накладываемых друг на друга [6].

В струйной печати имеются два основных способа — это застывание материала при охлаждении и спекание порошкообразного материала. В первом случае происходит выдавливание термопластика по каплям на основу будущего продукта, а второй способ по своей сути напоминает лазерное спекание, но в данном случае порошок склеивается с помощью специально предназначенного для этой операции полимерного клея [5, 6].

Указанные выше способы осуществления 3D-печати можно в полной мере использовать для производства композиционных материалов на основе твердых наполнителей, в том числе с использованием природных биополимеров древесного происхождения. Традиционно, наиболее распространенным композиционным материалом

на основе древесного сырья является смесь древесно-стружечных опилок, соединенных синтетическим полимерным связующим, в качестве которого обычно используют достаточно токсичные для человека связующие на основе фенол- и мочевино-формальдегидных сополимеров. Выбор этих компонентов более 100 лет тому назад был сделан в основном вследствие дешевизны применяемых материалов. Сегодня, в промышленно развитых странах фенол- и мочевино-формальдегидные сополимеры в контакте с человеком стараются не применять и используют для этого более безопасные синтетические или природные полимеры [7, 8].

В настоящее время становится совершенно реальным формирование безопасных многокомпонентных композитов на основе высокодиспергированных продуктов переработки растительного сырья, в том числе древесного, а также минеральных наполнителей и связующих полимеров, в качестве которых целесообразно использовать инертные полиолефины. Применение струйной 3D-печати, включающей застывание материала при охлаждении и спекание порошкообразных частиц, представляется наиболее приемлемым [9].

Современные технологии позволяют получать сильнодеградированные природные биополимеры, вплоть до образования наночастиц, что весьма удобно использовать при струйной печати материала, предусматривающей напыление или впрыскивание жидких суспензий [9, 10].

Высокодисперсные наполнители в сочетании с современными синтетическими сополимерами — идеальные объекты для организации принципиально новых производств композиционных материалов, например для домостроения на основе древесного сырья с использованием 3D-печати [2, 7].

Потенциальная польза использования композиционных материалов в 3D-печати

Композиционный материал — сплошной неоднородный композит, состоящий из двух компонентов или более. Среди основных составляющих можно выделить такие типы, как: армирующие компоненты, которые обеспечивают необходимые механические характеристики материала, а также матричные (связующие), которые обеспечивают качественную совместную работу других, в том числе армирующих, элементов.

Даже бетон можно рассматривать как композит, поскольку он состоит из нескольких различных материалов. Термин «композит» чаще всего используется в инженерной практике и означает материал, армированный инородными включе-

ниями, например, волокнами. В сочетании с другим материалом волокна очень полезны, но они самостоятельно почти никогда не используются. Их обычно добавляют к матричному материалу в виде коротких волокон или в виде сгустков, армированных сплошными волокнами. Наноцеллюлоза, по-видимому, является в этом случае перспективным материалом [11, 12].

Использование композитных материалов позволяет добиться нетривиальных свойств, способствующих преодолению ранее имевшихся трудностей при производстве продукта, в частности, связанных с прочностными характеристиками или сложностями при создании эстетической составляющей. Такие свойства могут иметь решающее значение, как эстетическое, так и функциональное. Например, поверхность изделия можно сделать более шершавой или увеличить прочность наиболее уязвимых составных частей [13, 14].

С каждым годом растет число производственных компаний, использующих композитные материалы для 3D-печати различных деталей или готовых продуктов. Согласно маркетинговым исследованиям рынка композитной 3D-печати от компании IDTechEx (Великобритания), к 2030 г. объем такого производства будет составлять 1,73 млрд дол. США, в то время как в 2020 г. он составил всего 0,4 млрд дол. [15].

На сегодняшний день в 3D-печати массово используются синтетические полимеры — пластики на основе сополимеров акрилонитрила, бутадиена и стирола (ABS), полиэтилентерефталата, модифицированного гликолем (PET-G), а также поли-D,L-лактоидов (PLA). Эти связующие материалы дают огромный базис для работы с аддитивными технологиями для массового потребителя, так как удовлетворяют по цене и конечному результату.

С недавних пор на рынке материалов для 3D-печати наряду с обычными перечисленными выше пластиками появились новые биопластичные композиты, созданные на основе включенных производных молочной кислоты [16–19].

Новым видом такого материала стал биопластик, разработанный на основе пластика PLA с добавлением древесной стружки [20]. Данный материал не токсичен для человека в отличие от пластика ABS, имеет ярко выраженные отличительные особенности с точки зрения эстетики, например, на ощупь текстура изделия может напоминать обработанное дерево, к тому же в нее добавляется ощутимый запах древесины. Применение такого материала не только эстетическое, к примеру, с его помощью можно заменить утраченные части каких-либо готовых деревянных предметов. В качестве добавочного компонента

здесь служит древесная стружка, следовательно, открываются возможности для вторичного использования древесного мусора после переработки растительного сырья [21, 22].

Возвращаясь к вопросу о вторичном использовании отходов, переработанную древесину в смеси с другими компонентами можно использовать в строительстве. Такое решение позволит получить относительно недорогие композитные материалы для быстрого аддитивного возведения зданий и сооружений [23–25].

Получение и использование композитов на основе природных и синтетических полимеров

Перспективным материалом как для функциональной так и для декоративной 3D-печати является искусственное дерево. Материалы из древесины могут стать заменой используемого в настоящее время в огромных масштабах ископаемого сырья, что должно позитивно сказываться на экологии. Реализация принципов 3D-печати привела к возникновению нового материала — «искусственной древесины» или «искусственного дерева» [26, 27].

Различают несколько видов искусственного дерева для печати.

Во-первых, это может быть смесь измельченной древесной основы с инертной полимерной связующей матрицей (рис. 1). В создании такого материала преуспела российская компания ООО «ЭкоФорм 3Д» (совместно с ГК «Спецавиа»), специалисты которой разработали состав и организовали производство *искусственной древесины*.



Рис. 1. Филамент для 3D-печати, сделанный на основе древесной стружки и PLA-матрицы

Fig. 1. Filament for 3D-printing, made on the basis of wood chips and PLA-matrix

Технологическая линия представляет собой малогабаритный переносной принтер, позволяющий осуществлять 3D-печать изделий строительного назначения. Разгружать и загружать

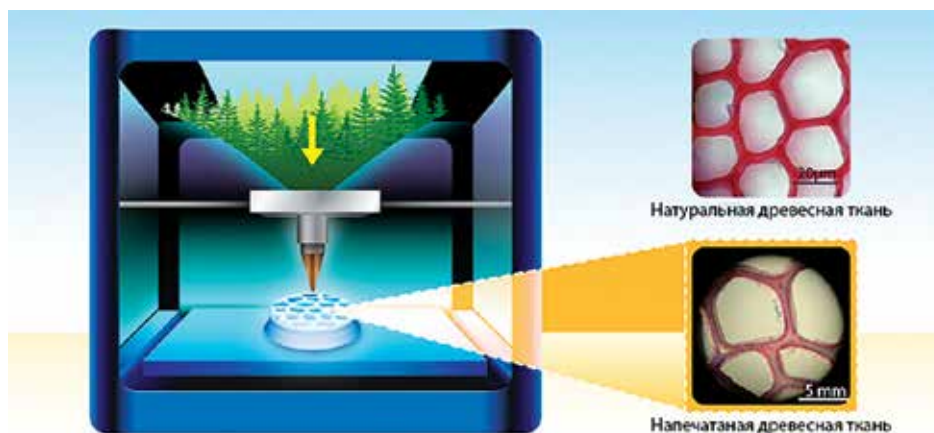


Рис. 2. Имитация естественной ячеистой архитектуры дерева в 3D-принтере
[ил.: Йен Страндквист / Технологический университет Чалмерса]

Fig. 2. Simulation of the natural honeycomb architecture of a tree in a 3D printer
[Fig.: Ian Strandqvist / Chalmers University of Technology]



Рис. 3. Жилой дом, «напечатанный» в России, г. Ступино, компания Apis Cor

Fig. 3. Residential building «printed» in Russia, Stupino, Apis Cor company

3D-принтер может один человек. Мощные его приводы, позволяют перемещать печатающую головку с большой скоростью и точностью. Искусственная древесина представляет собой термопластичный композиционный материал, основу которого составляет натуральный *лигнин*, выделенный из нетоварной древесины гидротермомеханической (кавитационной) обработкой без использования химических реагентов. Смесь для 3D-печати состоит из зернистого материала, 10...60 % его массы имеют диаметр частиц менее 0,1 мм, что может составлять в отдельных партиях более 90 % массы исходной смеси. Смесь можно приготовить заранее путем перемешивания двух компонентов или более для получения однородной массы либо непосредственно в печатающей головке. В смесь включают воду с добавками пластификаторов, фиброволокон, ускорителей или замедлителей процесса отверждения. Полученное изделие выдерживают не менее 2 ч с последующей естественной или принудительной сушкой. Основной сферой применения описанного

выше материала разработчики подразумевают аддитивное строительство [28, 29].

Во-вторых, искусственная древесина может быть в виде древесной основы с биополимерной матрицей (рис. 2). Примером такого материала является разработка из шведского технологического университета Чалмерса [30]. Здесь удалось добиться успехов в 3D-печати чернилами по древесной основе, которая имитирует уникальную структуру дерева. Предлагаемая технология позволяет «выращивать» древесину в необходимой для конечного продукта форме, посредством аддитивного производства. Материал для печати состоит из древесины, преобразованной в наноцеллюлозный гель, и гемицеллюлозы. Гемицеллюлоза действует как клей, придавая целлюлозе достаточную прочность, аналогично естественному процессу лигнификации, посредством которого строятся клеточные стенки растений. 3D-печать осуществляется в любом возможном масштабе.

Потенциал использования экологических материалов для 3D-печати на древесной основе крайне велик [31, 32]. Дерево является не самым дорогим сырьем, что привлекательно с экономической точки зрения. К тому же древесные материалы не загрязняют окружающую среду, являются возобновляемыми и поддаются вторичному использованию. Например, исследователям из Швеции, разработавшим описанный выше материал, удалось создать из него одежду и новый тип герметичных упаковок. А дома, которые аддитивно возводятся во многих странах, уже не являются чем-то из ряда вон выходящим [32].

В подмосковном г. Ступине российская компания Apis Cor в сотрудничестве с одним из крупнейших российских строительных концер-

нов — ПАО «Группа компаний ПИК» недавно продемонстрировала «напечатанный дом» (рис. 3).

От демонстрационных проектов до массового использования строительных 3D-принтеров, тем не менее, должно пройти некоторое время. Технологии 3D-печати привлекают внимание крупных участников строительной отрасли, что возможно обусловит их дальнейшее технологическое усовершенствование в том числе 3D устройств и популяризацию 3D-печати в широких кругах общественности.

Выводы

В ближайшее десятилетие возможна активизация применения композиционных материалов, созданных на основе природных и синтетических полимеров. 3D-принтеры способны значительно снизить производственные затраты, что снизит конечную себестоимость изделий. Позитивные экологические и экономические факторы будут способствовать развитию технологий 3D-печати необходимых материалов, завоевывать новые рынки и расширять сферы их применения. Различные биополимеры сегодня используются в промышленной 3D-печати, например, при изготовлении органов и тканей для функционирования живых систем — в сложнейшем направлении.

Доступные сферы для получения композиционных материалов на основе природных и синтетических биополимеров, а также других современных композитов совместно с постоянно совершенствующейся 3D-печатью весьма обширны. Наиболее продвинутым в техническом плане направлением ныне является строительство — от печати декоративных объектов для украшения жилищного интерьера до печати самого жилья. На данный момент 3D-печать домов, или контурное строительство, привлекает внимание многих инвесторов своей футуристичностью, простотой и приемлемой ценой.

Расширение сферы использования композиционных материалов, созданных на основе природных и синтетических полимеров, удешевляет их и способствует созданию смежных технологий, упрощающих взаимодействие с ними. Представляется, что и для бытовой 3D-печати станет доступной печать, например, деревянной шкатулки, почти не отличимой от той, что была собрана из настоящего дерева.

Краткое рассмотрение потенциальных возможностей получения 3D-напечатанных материалов отнюдь не отражает гигантские возможности получения новых композиционных материалов с использованием технологий 3D-печати, что является ближайшей перспективой технологического развития.

Список литературы

- [1] Граф И. Введение в технологию работы 3D принтеров // Системный анализ и логистика, 2013. № 10. С. 51–53.
- [2] Tao Y., Li P., Pan L. Improving tensile properties of polylactic acid parts by adjusting printing parameters of open source 3d printers // *Materials Science*, 2019, v. 26, no. 1, pp. 83–87. DOI: 10.5755/j01.ms.26.1.20952
- [3] Soni K.S., Taufik M. Design and assembly of fused filament fabrication 3D printers // *Materials Today: Proceedings*, 2020, no. 10, pp. 123–126.
- [4] Ли Дж., Уэр Б. Трехмерная графика и анимация. М.: Вильямс, 2002. 640 с.
- [5] Miller D.B., Glisson W.B., Yampolskiy M., Choo K.R. Identifying 3D printer residual data via open-source documentation // *Computers & Security*, 2018, v. 75, no. 6, pp. 10–23.
- [6] Кудряшов А.Н., Старикова Е.А. 3D-принтер для строительства домов // *Молодежный вестник ИРГТУ*, 2017. № 3. С. 1–9.
- [7] Bharadwaz A., Jayasuriya A.C. Recent trends in the application of widely used natural and synthetic polymer nanocomposites in bone tissue regeneration // *Materials Science and Engineering: C*, 2020, v. 110, no. 5, 110698 DOI:// doi.org/10.1016/j.msec.2020.110698
- [8] Harpe K.M., Rondiah P.D., Marimuthu T., Chonara Y.E. Advances in carbohydrate-based polymers for the design of suture materials: A review // *Carbohydrate Polymers*, 2021, v. 261, no. 6, 117860. doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117860
- [9] Обливин А.Н., Лопатников М.В., Брынцев В.А., Голубев И.Г., Коровин В.В. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе. М.: МГУЛ, 2011. 220 с.
- [10] Neklyudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical processing of fats and oils as a means of obtaining lipid products with improved biological and physicochemical properties: a review // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, v. 38, no. 5, pp. 399–409.
- [11] Fraternali F., Carpentieri G., Modano M., Fabbrocino F., Skelton R.E. A tensegrity approach to the optimal reinforcement of masonry domes and vaults through fiber-reinforced composite materials // *Composite Structures*, 2015, v. 134, no. 12, pp. 247–254. doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.087
- [12] Прошина О.П., Олиференко Г.Л., Евдокимов Ю.М., Иванкин А.Н. Наноцеллюлоза и получение бумаги на ее основе // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2012. № 7 (90). С. 112–114.
- [13] Kariz M., Sernek M., Obućina M., Kuzman M. K. Effect of wood content in FDM filament on properties of 3D printed parts // *Materials Today Communications*, 2018, v. 14, pp. 135–140. DOI:10.1016/j.mtcomm.2017.12.016
- [14] Ayrlimis N. Effect of layer thickness on surface properties of 3D printed materials produced from wood flour PLA filament // *Polymer Testing*, 2018, v. 71, pp.163–166. DOI:10.1016/j.polymertesting.2018.09.009
- [15] Collins R. 3D printing composites 2020-2030: technology and market analysis current and future technologies, and market forecasts, 2020. URL: <https://www.idtechex.com/en/research-report/3d-printing-composites-2020-2030-technology-and-market-analysis/685> (дата обращения 18.03.2021).
- [16] Ehler E.D., Sterling D.A. 3D printed copper-plastic composite material for use as a radio therapy bolus // *Physica Medica*, 2020, v. 76, pp. 202–206. DOI:10.1016/j.ejmp.2020.07.008
- [17] Jackson R.J., Patrick P.S., Miodownik M. Functionally graded 3D printed asphalt composites // *Materials Letters: X*, 2020, v. 7, 100047. DOI:10.1016/j.mlblux.2020.100047

- [18] Yeo T., Ko Y.G., Kim E.J., Kwon O.K., Chung H.Y., Kwon O.H. (2020). Promoting bone regeneration by 3D-printed poly(glycolic acid) / hydroxyapatite composites scaffolds // *J. of Industrial and Engineering Chemistry*, 2021, v. 94, no. 2, pp. 343–351. DOI:10.1016/j.jiec.2020.11.004
- [19] Doddamani M. Dynamic mechanical analysis of 3D printed eco-friendly light weight composite // *Composites Communications*, 2020, v. 19, no. 6, pp. 142–146. DOI:10.1016/j.coco.2020.04.002
- [20] Markstedt K., Håkansson K., Toriz G., Gatenholm P. Materials from trees assembled by 3D printing — Wood tissue beyond nature limits // *Applied Materials Today*, 2019, v. 15, pp. 280–285. DOI:10.1016/j.apmt.2019.02.005
- [21] Bhagia S., Lowden R.R., Erdman D., Rodriguez M., Haga B.A., Solano I.R., Ragauskas A.J. Tensile properties of 3D-printed wood-filled PLA materials using poplar trees // *Applied Materials Today*, 2020, v. 21, 100832. DOI:10.1016/j.apmt.2020.100832
- [22] Yang S., Jiang J., Duan W., Bai S., Wang Q. Production of sustainable wood-plastic composites from then on metals in waste printed circuit boards // *Composites Science and Technology*, 2020, v. 200, 108411. DOI:10.1016/j.compscitech.2020.108411
- [23] Chen M., Yang L., Zheng Y., Huang Y., Li L., Zhao P., Cheng X. Yield stress and thixotropic on trol of 3D-printed calcium sulfo aluminate cement composites with meta kaolin related to structural build-up // *Construction and Building Materials*, 2020, v. 252, p. 119090. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119090
- [24] He L., Chow W. T., Li H. Effects of interlayer notch and shear stress on interlayer strength of 3D printed cement paste // *Additive Manufacturing*, 2020. DOI:10.1016/j.addma.2020.101390
- [25] Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., Nejadi S. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing // *Construction and Building Materials*, 2017, v. 138, pp. 398–409. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.02.037
- [26] Herrera R., Arrese A., de Hoyos-Martinez P.L., Labidi J., Llano-Ponte R. Evolution of thermally modified wood properties exposed to natural and artificial weathering and its potential as an element for facades systems // *Materials*, 2018, v. 172, no. 5, pp. 233–242. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.157
- [27] Friedrich D. Comparative study on artificial and natural weathering of wood-polymer compounds: A comprehensive literature review // *Case Studies in Construction Materials*, 2018, v. 9, e00196. doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00196
- [28] Курбатов В.Л., Дайронас М.В., Зайченко М. Перспективы применения аддитивных технологий в строительстве // *Университетская наука*, 2020. № 1(9). С. 18–22.
- [29] Han Y., Yang Z., Ding T., Xiao J. Environmental and economic assessment on 3d printed buildings with recycled concrete // *J. of Cleaner Production*, 2020, 123884. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123884
- [30] Markstedt K., Hakansson K., Toriz G., Gatenholm P. Materials from trees assembled by 3D printing — wood tissue beyond nature limits // *Applied Materials Today*, 2019, v. 15, pp. 280–285. DOI: 10.1016/j.apmt.2019.02.005
- [31] He Y., Zhang Y., Zhang C., Zhou, H. Energy-saving potential of 3D printed concrete building with integrated living wall // *Energy and Buildings*, 2020, 110110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110110
- [32] Alkhalidi A., Hatuqay D. Energy efficient 3D printed buildings: Material and techniques selection worldwide study // *J. of Building Engineering*, 2020, 101286. DOI: 10.1016/j.jobte.2020.101286

Сведения об авторах

Черемисин Данил Германович — бакалавр МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), denner02@mail.ru

Мкртчян Вагаршак Рубикович — бакалавр МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), a979a@icloud.com

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, профессор кафедры «Химия и химические технологии лесного комплекса» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Устюгов Александр Викторович — канд. хим. наук, ст. преподаватель кафедры общей химической технологии МИРЭА — Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), ustyugov.alexandr@mail.ru

Маслов Максим Игоревич — бакалавр Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета имени В.И. Ленина (ЛЭТИ), mmiwfl6@gmail.com

Никонова Анастасия Алексеевна — бакалавр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ), callunavulgariss@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.04.2021.

Принята к публикации 18.05.2021.

POTENTIAL POSSIBILITIES OF 3D PRINTING FOR PRODUCING COMPOSITE MATERIALS BASED ON NATURAL BIO- AND SYNTHETIC POLYMERS (A REVIEW)

D.G. Cheremisin¹, V.R. Mkrtchan¹, A.N. Ivankin¹,
A.V. Ustyugov², M.I. Maslov³, A.A. Nikonorova⁴

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²MIREA — Russian Technological University (RTU MIREA), 78, Vernadsky av., 119454, Moscow, Russia

³Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 5, Professor's Popov st., 197022, St. Petersburg, Russia

⁴Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie gory, 119991, Moscow, Russia

aivankin@inbox.ru

A review is presented on the modern method of 3D printing of various composites based on synthetic and natural biopolymers with the inclusion of wood raw materials. Some features of scientific and technological approaches to the formation of a specific product using abstract computer modeling are described. A classification and review of the most common and promising 3D printing technologies using degraded raw materials with the inclusion of wood processing products is given. It is shown that using 3D printing, it is very promising to obtain «artificial wood», which is a mixture of a wood base with an inert polymer binder, which can be either based on synthetic polymers or based on natural biomatrix obtained from ecologically safe constituents of herbal raw materials. It is indicated that an important aspect of the problem of obtaining modern biocomposites is the dispersion of the materials used, which affects the entire complex of physical and mechanical properties of the product. The areas of application of the materials used are given. Trends in the development of 3D printing technology with the use of polymer binders based on natural and synthetic polymers are analyzed and the prospects of using natural biopolymers based on plant raw materials for the production of goods and materials necessary for humans as environmentally friendly products are shown. It is concluded that an impending explosive growth in the production and use of 3D composite materials based on natural and synthetic polymers with the inclusion of cheap wood components in the context of a significant reduction in production costs and the rapid production of the required products with low cost of products in the implementation of a highly efficient method 3D printing.

Keywords: 3D printing, technologies, composite materials, application

Suggested citation: Cheremisin D.G., Mkrtchan V.R., Ivankin A.N., Ustyugov A.V., Maslov M.I., Nikonorova A.A. *Potentsial'nye vozmozhnosti 3D-pechati dlya polucheniya kompozitsionnykh materialov na osnove prirodnykh bio- i sinteticheskikh polimerov (obzor)* [Potential possibilities of 3D printing for producing composite materials based on natural bio- and synthetic polymers (a review)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 111–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-111-118

References

- [1] Graf I. *Vvedenie v tekhnologiyu raboty 3D printerov* [Introduction to the technology of 3D printers]. *Sistemnyy analiz i logistika* [System Analysis and Logistics], 2013, no. 10, pp. 51–53.
- [2] Tao Y., Li P., Pan L. Improving tensile properties of polylactic acid parts by adjusting printing parameters of open source 3D printers. *Materials Science*, 2019, v. 26, no. 1, pp. 83–87. DOI: 10.5755/j01.ms.26.1.20952
- [3] Soni K.S., Taufik M. Design and assembly of fused filament fabrication 3D printers. *Materials Today: Proceedings*, 2020, no. 10, pp. 123–126.
- [4] Li Dzh., Uer B. *Trekhmernaya grafika i animatsiya* [Three-dimensional graphics and animation]. Moscow: Williams, 2002. 640 p.
- [5] Miller D.B., Glisson W.B., Yampolskiy M., Choo K.R. Identifying 3D printer residual data via open-source documentation. *Computers & Security*, 2018, v. 75, no. 6, pp. 10–23.
- [6] Kudryashov A.N., Starikova E.A. *3D-printer dlya stroitel'stva domov* [3D printer for building houses]. *Molodezhnyy vestnik IRGTU* [Youth Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2017, no. 3, pp. 1–9.
- [7] Bharadwaz A., Jayasuriya A.C. Recent trends in the application of widely used natural and synthetic polymer nanocomposites in bone tissue regeneration. *Materials Science and Engineering: C*, 2020, v. 110, no. 5, 110698 DOI:// doi.org/10.1016/j.msec.2020.110698
- [8] Harpe K.M., Rondiah P.D., Marimuthu T., Chonara Y.E. Advances in carbohydrate-based polymers for the design of suture materials: A review. *Carbohydrate Polymers*, 2021, v. 261, no. 6, 117860. doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117860
- [9] Oblivin A.N., Lopatnikov M.V., Bryntsev V.A., Golubev I.G., Korovin V.V. *Nanotekhnologii i nanomaterialy v lesnom komplekse* [Nanotechnology and nanomaterials in the forestry complex]. Moscow: MSFU, 2011, 220 p.
- [10] Neklyudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical processing of fats and oils as a means of obtaining lipid products with improved biological and physicochemical properties: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, v. 38, no. 5, pp. 399–409.
- [11] Fraternali F., Carpentieri G., Modano M., Fabbrocino F., Skelton R.E. A tensegrity approach to the optimal reinforcement of masonry domes and vaults through fiber-reinforced composite materials. *Composite Structures*, 2015, v. 134, no. 12, pp. 247–254. doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.087
- [12] Proshina O.P., Oliferenko G.L., Evdokimov Yu.M., Ivankin A.N. *Nanotsellyuloza i poluchenie bumagi na ee osnove* [Nanocellulose and paper-based production]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2012, no. 7 (90), pp. 112–114.
- [13] Kariz M., Sernek M., Obućina M., Kuzman M. K. Effect of wood content in FDM filament on properties of 3D printed parts. *Materials Today Communications*, 2018, v. 14, pp. 135–140. DOI:10.1016/j.mtcomm.2017.12.016

- [14] Ayrilmis N. Effect of layer thickness on surface properties of 3D printed materials produced from wood flour PLA filament. *Polymer Testing*, 2018, v. 71, pp.163–166. DOI:10.1016/j.polymertesting.2018.09.009
- [15] Collins R. 3D printing composites 2020–2030: technology and market analysis current and future technologies, and market forecasts, 2020. Available at: <https://www.idtechex.com/en/research-report/3d-printing-composites-2020-2030-technology-and-market-analysis/685> (accessed 18.03.2021).
- [16] Ehler E.D., Sterling D.A. 3D printed copper-plastic composite material for use as a radio therapy bolus. *Physica Medica*, 2020, v. 76, pp. 202–206. DOI:10.1016/j.ejmp.2020.07.008
- [17] Jackson R.J., Patrick P.S., Miodownik M. Functionally graded 3D printed asphalt composites. *Materials Letters: X*, 2020, v. 7, 100047. DOI:10.1016/j.mblux.2020.100047
- [18] Yeo T., Ko Y.G., Kim E.J., Kwon O.K., Chung H.Y., Kwon O.H. (2020). Promoting bone regeneration by 3D-printed poly(glycolic acid) / hydroxyapatite composites scaffolds. *J. of Industrial and Engineering Chemistry*, 2021, v. 94, no. 2, pp. 343–351. DOI:10.1016/j.jiec.2020.11.004
- [19] Doddamani M. Dynamic mechanical analysis of 3D printed eco-friendly light weight composite. *Composites Communications*, 2020, v. 19, no. 6, pp. 142–146. DOI:10.1016/j.coco.2020.04.002
- [20] Markstedt K., Håkansson K., Toriz G., Gatenholm P. Materials from trees assembled by 3D printing — Wood tissue beyond nature limits. *Applied Materials Today*, 2019, v. 15, pp. 280–285. DOI:10.1016/j.apmt.2019.02.005
- [21] Bhagia S., Lowden R.R., Erdman D., Rodriguez M., Haga B.A., Solano I.R., Ragauskas A.J. Tensile properties of 3D-printed wood-filled PLA materials using poplar trees. *Applied Materials Today*, 2020, v. 21, 100832. DOI:10.1016/j.apmt.2020.100832
- [22] Yang S., Jiang J., Duan W., Bai S., Wang Q. Production of sustainable wood-plastic composites from then on metals in waste printed circuit boards. *Composites Science and Technology*, 2020, v. 200, 108411. DOI:10.1016/j.compscitech.2020.108411
- [23] Chen M., Yang L., Zheng Y., Huang Y., Li L., Zhao P., Cheng X. Yield stress and thixotropic on trol of 3D-printed calcium sulfo aluminate cement composites with meta kaolin related to structural build-up. *Construction and Building Materials*, 2020, v. 252, p. 119090. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119090
- [24] He L., Chow W. T., Li H. Effects of interlayer notch and shear stress on interlayer strength of 3D printed cement paste. *Additive Manufacturing*, 2020. DOI:10.1016/j.addma.2020.101390
- [25] Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., Nejadi S. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing. *Construction and Building Materials*, 2017, v. 138, pp. 398–409. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.02.037
- [26] Herrera R., Arrese A., de Hoyos-Martinez P.L., Labidi J., Llano-Ponte R. Evolution of thermally modified wood properties exposed to natural and artificial weathering and its potential as an element for facades systems. *Materials*, 2018, v. 172, no. 5, pp. 233–242. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.157
- [27] Friedrich D. Comparative study on artificial and natural weathering of wood-polymer compounds: A comprehensive literature review. *Case Studies in Construction Materials*, 2018, v. 9, e00196. doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00196
- [28] Kurbatov V.L., Dayronas M.V., Zaychenko M. *Perspektivy primeneniya additivnykh tekhnologiy v stroitel'stve* [Prospects for the use of additive technologies in construction]. *Universitetskaya nauka* [University Science], 2020, no. 1 (9), pp. 18–22.
- [29] Han Y., Yang Z., Ding T., Xiao J. Environmental and economic assessment on 3d printed buildings with recycled concrete. *J. of Cleaner Production*, 2020, 123884. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123884
- [30] Markstedt K., Håkansson K., Toriz G., Gatenholm P. Materials from trees assembled by 3D printing — wood tissue beyond nature limits. *Applied Materials Today*, 2019, v. 15, pp. 280–285. DOI: 10.1016/j.apmt.2019.02.005
- [31] He Y., Zhang Y., Zhang C., Zhou, H. Energy-saving potential of 3D printed concrete building with integrated living wall. *Energy and Buildings*, 2020, 110110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110110
- [32] Alkhalidi A., Hatuqay D. Energy efficient 3D printed buildings: Material and techniques selection worldwide study. *J. of Building Engineering*, 2020, 101286. DOI: 10.1016/j.job.2020.101286

Authors' information

Cheremisin Danil Germanovich — Bachelor of BMSTU (Mytishchi branch), denner02@mail.ru

Mkrtchan Vagharshak Rubikovich — Bachelor of BMSTU (Mytishchi branch), a979a@icloud.com

Ivankin Andrey Nikolaevich — Dr. Sci. (Chemistry), Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

Ustyugov Aleksander Viktorovich — Cand. Sci. (Chem.), Senior Lecturer at the Department of General Chemical Technology; MIREA — Russian Technological University (RTU MIREA), ustyugov.alexandr@mail.ru

Maslov Maxim Igorevich — Bachelor, St. Petersburg State Electrotechnical University «LETI», mamiwfl6@gmail.com

Nikonorova Anastasia Alekseevna — Bachelor, Lomonosov Moscow State University, callunavulgariss@yandex.ru

Received 07.04.2021.

Accepted for publication 18.05.2021.