

УДК 655.225.6:773.92:004.925.84:542.952.6:339.13

В. Б. Ходер, Е. И. Кордикова, Г. Н. Дьякова

Белорусский государственный технологический университет

**РЫНОК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИИ
В ВАННЕ (ОБЗОР)**

В статье представлено исследование мировых тенденций рынка материалов для применения в аддитивных технологиях, в частности в фотополимеризации в ванне. Охарактеризованы виды современных полимерных и композиционных материалов и приведена их общая классификация в области аддитивного производства. Описаны основные проблемы медленного развития рынка и выполнен анализ прогнозов для производства методами аддитивного синтеза. Проведена обработка статистической информации о развитии рынка материалов и оборудования для фотополимеризации в ванне за последнее десятилетие на основании научных и маркетинговых исследований, объемов морских и авиационных грузоперевозок компаний, а также представленных производителями аналитических годовых отчетов.

На основе имеющихся в открытом доступе сведений о материалах и технологиях представлена количественная оценка предложений продуктов по группам и классификациям. Выполнен анализ маркетинговой деятельности конкурирующих в области аддитивных технологий компаний, уровня цен и транспортных условий. Проанализирован химический состав предложенных на рынке материалов, а также вводимые добавки и наполнители. Произведена географическая сегментация производителей материалов для технологий фотополимеризации, доступных в мире и странах СНГ. Полученные данные позволяют обосновать открытость ниши фотополимерных материалов для трехмерной печати к интеграции на рынке стран СНГ и возможности внедрения за рубежом. С целью получения сведений о возможных направлениях развития регионального рынка материалов для технологий фотополимеризации в ванне определены основные используемые типы фотополимерных основ и оценена конъюнктура наполненных материалов для трехмерной печати.

Ключевые слова: 3D-печать, фотополимерная смола, композиция, фотополимерная печать, стереолитография, рынок, предложение, кризис.

Для цитирования: Ходер В. Б., Кордикова Е. И., Дьякова Г. Н. Рынок материалов для технологий фотополимеризации в ванне (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 184–193.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-21.

V. B. Khodzer, E. I. Kordikova, H. N. Dyakova

Belarusian State Technological University

**THE MARKET OF MATERIALS FOR VAT PHOTOPOLYMERIZATION
TECHNOLOGIES (REVIEW)**

The article presents a study of global trends in the market of materials for use in additive technologies, in particular in photopolymerization in a bath. The types of modern polymer and composite materials are characterized and their general classification in the field of additive manufacturing is given. The main problems of slow market development are described and forecasts for production by additive synthesis methods are analyzed. Statistical information on the development of the market of materials and equipment for photopolymerization in a bathtub over the past decade has been processed on the basis of scientific and marketing research, the volume of marine and aviation cargo transportation of companies, as well as analytical annual reports submitted by manufacturers.

Based on publicly available information about materials and technologies, a quantitative assessment of product offerings by groups and classifications is presented. The analysis of marketing activities of companies competing in the field of additive technologies, price levels and transport conditions is carried out. The chemical composition of the materials offered on the market, as well as the additives and fillers introduced, is analyzed. Geographical segmentation of manufacturers of materials for photopolymerization technologies available in the world and CIS countries has been carried out. The data obtained make it possible to substantiate the openness of the niche of photopolymer materials for three-dimensional printing to integration in the CIS market and the possibility of implementation abroad. In order to obtain information on possible directions of development of the regional market of materials for photopolymerization technologies in a bath, the main types of photopolymer bases used were determined and the conjuncture of filled materials for three-dimensional printing was evaluated.

Keywords: 3D printing, photopolymer resin, composition, photopolymer printing, stereolithography, market, supply, crisis.

For citation: Khodzer V. B., Kordikova E. I., Dyakova H. N. The market of materials for vat photopolymerization technologies (review). *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 2 (283). pp. 184–193 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-21.

Введение. Современный производственный сектор представляет собой сложную структуру, активно развивающуюся и изменяющуюся под действием внешних экономических, политических, информационных и материальных факторов. Непрерывный рост спроса на новые сложные формы, технические решения и активный интерес к индивидуальному единичному производству ставит новые задачи перед высокотехнологичными предприятиями и вынуждает находить новые решения в оптимизации и повышении гибкости производственных процессов [1].

Большинство предприятий стран СНГ сталкиваются с техническими и экономическими трудностями при поиске и внедрении новых технологических приемов, материалов или модернизации старых решений. Данный аспект в первую очередь связан с ошибочной оценкой потенциальных возможностей и применением стандартных для массового производства методов оценки рисков, а также нехваткой технических знаний. По этой причине большая часть производственных ресурсов предприятия оказывается отстающей на мировом рынке, где лидирующие позиции занимает единичное производство и индивидуализация конструкторских решений [2].

Одним из вариантов повышения конкурентоспособности современного производства является следование основным тенденциям развития единичного предложения, в том числе внедрение трехмерной печати (аддитивного производства) как для изготовления макетов, так и для производства готовых изделий.

Рынок аддитивного производства активно развивается из года в год, подтверждая прогнозы о значительном росте его доли в промышленном и потребительском секторе. При этом лидирующими среди применяемых технологий являются экструзия материала и фотополимеризация в ванне [3–8].

Экструзия материала – это основная технология для создания прототипов и конструкций, подвергающихся действию направленных нагрузок. Отмечается, что методы фотополимеризации в ванне распространены в меньшем объеме, но чаще используются на промышленном оборудовании для изготовления готовых изделий [2]. Этот фактор в первую очередь связан с особенностями прохождения технологического процесса, который позволяет получить условно-

изотропную структуру готового изделия с более сложными геометрическими формами [9, 10].

Методы фотополимеризации в ванне включают в себя процесс селективной или масочной полимеризации смолы под действием источника ультрафиолетового излучения или видимого света. Среди технологий, применяющих этот метод, выделяют лазерную стереолитографию (SLA – stereolithography), проекционную масочную стереолитографию (DLP – digital light processing), прямую ультрафиолетовую засветку (LCD – liquid crystal display) [11].

Материалы, используемые для фотополимеризации в ванне, как правило, имеют эпоксидную, акрилатную или эпоксиакрилатную основу в зависимости от технологии производства и закладываемых характеристик готового продукта. Смолы, содержащие в своем составе эпоксидные группы, менее химически активные, обладают повышенной вязкостью и требуют больших энергозатрат. При этом они более жесткие и имеют большую точность построения контуров [12].

В зависимости от получаемых характеристик в готовом отвержденном продукте смолы на рынке условно классифицируют на универсальные, инженерные и специализированные (стоматологические, выжигаемые, керамически наполненные и др.) [13].

Инженерные и специализированные смолы, как правило, имеют в своей структуре наполнители или модифицирующие компоненты, которые позволяют достичь требуемого уровня упругопрочностных свойств, электрической проницаемости, тепло- и температуропроводности, снизить плотность и др. Однако среди данного типа смол большое влияние также оказывает химический состав полимера, который зачастую и определяет большинство характеристик в конечном изделии [14].

Для корректной оценки и выбора одного из направлений внедрения технологии фотополимеризации в ванне или исследований на их базе необходимо с высокой точностью определить факторы, оказывающие воздействие на эффективность их применения.

Современное конкурентоспособное производство подразумевает использование высокоэффективных технологически инновационных методов формирования, обработки и сборки изделий промышленного или потребительского

назначения. При этом основным аспектом влияния при планировании производственных направлений и распределения имеющихся ресурсов остается экономическая эффективность применяемых методов, подходов и материалов [15].

Логическое построение производственных планов прежде всего подразумевает оценку каждого из критериев с точки зрения эффективности использования материальных ресурсов [15], трудоемкости методов, экономической эффективности и возможности логистических операций на всех этапах производственного процесса – от снабжения производственных цехов до сбыта конечного продукта [16]. При этом работа с отдельными критериями не дает полной картины при планировании и приводит к ошибкам, снижению конкурентоспособности производства и, как следствие, сокращению прибыли или убыткам.

Активное развитие рынка аддитивного производства формирует необходимость обширного изучения и своевременного обновления базы данных по анализу рынка фотополимерных материалов для оценки актуальности дальнейших исследований и целесообразности внедрения технологий в производственный процесс.

Наряду с этим целью исследования является анализ рынка фотополимерных материалов и оборудования для реализации технологий фотополимеризации в ванне.

Задачи исследований:

- анализ прогнозов для аддитивного производства методами фотополимеризации в ванне;
- обработка статистической информации о развитии рынка материалов и оборудования для фотополимеризации в ванне за прошедшие периоды;
- изучение конъюнктуры рынка оборудования для фотополимеризации в ванне;
- анализ мирового рынка фотополимерных материалов для фотополимеризации в ванне с точки зрения коммерческих предложений, транспортных условий, ценообразования и прочих факторов;
- оценка конъюнктуры наполненных материалов для трехмерной печати методом фотополимеризации в ванне.

Основная часть. Объектом исследований выступил рынок фотополимерных материалов для технологий фотополимеризации в ванне с учетом типов полимерных основ и наполненных систем.

В качестве основных показателей применяли количественную оценку предложений материалов по группам и классификациям, анализ уровня цен и транспортных условий, перспективы развития сырья и прогнозы.

В качестве методов исследований использовали общий обзор отрасли, косвенное изучение конъюнктуры рынка, коммерческих предложений и технических справочников на материалы, представленные производителями.

По полученным и обобщенным в результате анализа данным построена таблица. С целью визуализации результатов исследования составлены диаграммы. Все полученные данные являются действительными для рынка аддитивных технологий на 2023–2024 гг. и не содержат данных об устаревших версиях материалов и неактивных компаниях.

Исследование мирового сегмента рынка аддитивных технологий показало, что значительную долю материалов для применения в технологиях фотополимеризации в ванне занимают страны Дальнего Востока (38%), в частности Китай (22%), США (25%) и Российская Федерация (16%). Географическая сегментация глобального рынка фотополимерных материалов для аддитивных технологий представлена на рис. 1 [17–42].

На территории Республики Беларусь на сегодняшний день отсутствуют производители фотополимерных материалов для трехмерной печати. При этом в странах СНГ ведется достаточно активная продажа фотополимерных материалов иностранными брендами, представленными производителями стран Европы и Дальнего Востока (Азии). Среди набирающих популярность фирм на территории Республики Беларусь можно выделить Anicubic (Китай), eSun (Китай), Gorky Liquid (Российская Федерация), HARZ Labs (Российская Федерация), Phrozen (Тайвань), Wanhao (Китай), Creality (Китай), Formlabs (США). Стоит отметить, что в исследовании не учтены региональные производители фотополимерных материалов, работающие на внутренний рынок.

Менее 55% от общего объема рынка материалов для технологии фотополимеризации в ванне составляют фотополимерные материалы для SLA-технологий. Несмотря на это они занимают наибольшую долю материалов инженерного назначения для профессионального использования (73%) и материалов со специализированными характеристиками (48%), в частности стоматологические и медицинские (32%).

Фотополимерные материалы для лазерной стереолитографии обладают большим потенциалом в промышленном секторе, однако дорогостоящая логистика для оборудования и материала делает их неликвидными среди стран СНГ. Материалы для SLA-технологии имеют высокую стоимость и значительно реже используются в «домашнем» производстве. Жесткие требования по хранению и транспортировке, а также короткий срок службы вынуждают производителей дополнительно повышать стоимость продукции, вместе с тем делая их неконкурентоспособными с материалами для DLP-печати в странах СНГ.

Рынок материалов для технологий фотополимеризации в ванне

Фирма	Страна	Торговые марки	Количество представленных смол, шт.						Доступность на рынке СНГ
			стандартные	инженерные	специализированные	наполненные	Используемая технология		
							DLP/LCD	SLA	
Shenzhen Anycubic Technology Co., Ltd. [17]	Китай	Anicubic	5	6	4	–	17	–	Да
3D Systems, Inc. [18]	США	Accura, Projet, Figure 4	–	18	38	4	–	56	Нет
Shenzhen Esun Industrial Co., Ltd. [19]	Китай	eSun	9	6	12	–	26	1	Да
Dutch State Mines (DSMN.V.) [20]	Нидерланды	Somos	–	8	–	–	–	8	Нет
Covestro AG [21]	Германия	AgiSyn, Neo	9	42	19	26	–	70	Нет
ООО «НПП «3Д аддитивные технологии» [22]	Российская Федерация	Gorky Liquid	3	3	21	5	20	7	Да
ООО «ХАРЦ Лабс» [23]	Российская Федерация	HARZ Labs	6	7	27	5	34	8	Да
Jinhua Wanhao Spare Parts Co., Ltd. [24]	Китай	Wanhao	2	1	4	–	7	–	Да
Shenzhen Creality 3D Technology Co., Ltd. [25]	Китай	Creality	1	–	4	–	5	–	Частично
Formlabs, Inc. [26]	США	Formlabs	8	16	25	9	–	50	Частично
ООО «ХАРДЛЯЙТ» [27]	Российская Федерация	HardLight	10	12	10	1	22	10	Нет
Shenzhen Kings 3D Printing Technology Co. [28]	Китай	KS	4	3	–	–	–	7	Нет
Prodways Group [29]	Франция	MOVING-Light	–	1	7	–	–	8	Нет
Tethon 3D [30]	США	Porcelite	–	16	6	20	1	21	Нет
Evonik Industries AG [31]	Германия	INFINAM	–	4	–	–	4	3	Нет
Ackretta Technologies Private Limited [32]	Тайвань	Ackretta	–	–	15	–	15	–	Нет
Stratasys, Ltd. [33]	США	Stratasys	–	11	9	–	–	20	Нет
Hetzner Online GmbH [34]	Германия	BASF Ultracur3D	5	15	3	–	22	1	Частично
Shenzhen Yongchanghe Technology Co., Ltd. [35]	Китай	JamgHe	8	6	13	3	27	–	Нет
Sunlu International (Hong Kong) Holdings Limited [36]	Китай	Sunlu	5	4	2	–	11	–	Нет
Dongguan Aidi Synthetic Material Technology Co., Ltd. [37]	Китай	Lasty, Gren	–	24	–	–	–	24	Нет
Liqcreate [38]	Нидерланды	Liqcreate	2	8	13	–	23	8	Частично
Suzhou Zhongrui Zhichuang 3D Technology Co., Ltd. [39]	Китай	ZR	–	3	–	–	–	3	Нет
Elegoo Technology Co., Ltd. [40]	Китай	Elegoo	11	–	2	–	13	–	Да
Phrozen Tech Co., Ltd. [41]	Тайвань	Phrozen	11	8	3	5	24	–	Да
Wuxi Yaoguo New Materials Co., Ltd. [42]	Китай	YG-H	–	6	–	2	–	6	Нет

Среди представленного на мировом рынке ассортимента фотополимерных материалов для технологии лазерной стереолитографии только 25% доставляются в Республику Беларусь и Российскую Федерацию. При этом среди данного числа есть группы материалов, которые ввозятся редко и с длительным сроком ожидания.

С целью повышения конкурентоспособности промышленности в области конструирования новых изделий в Республике Беларусь следует определить возможные пути развития производственных мощностей региональных компаний в области разработки новых и модернизации имеющихся материалов для аддитивного производства.

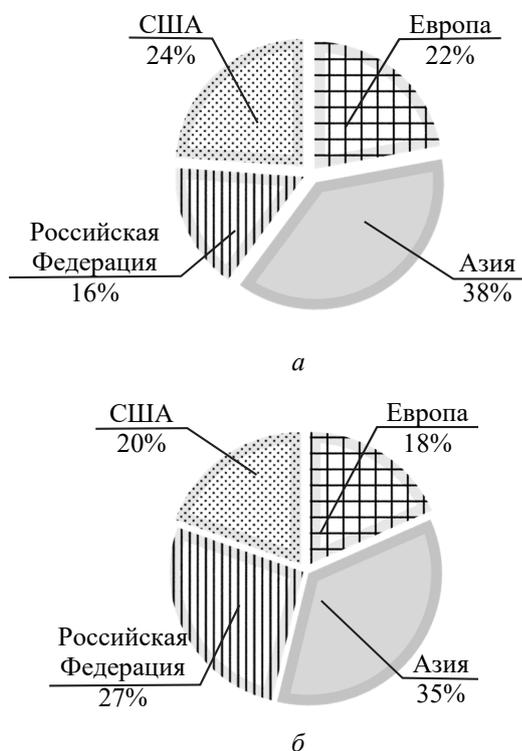


Рис. 1. Географическая сегментация рынка материалов для технологий фотополимеризации в ванне:
а – в мире; б – для стран СНГ

Рыночный пробел указывает на отсутствие конкуренции в данной области рынка, что может представлять возможность для новых игроков как на местном уровне среди стран СНГ, так и на мировом рынке.

Для определения возможных путей развития следует принимать во внимание имеющиеся на рынке аналоги и опираться на базовые системы в разработке материалов для аддитивного производства методами фотополимеризации в ванне.

Среди производимых в мире материалов 73% производителей применяют полимеры на эпоксиакрилатной основе (рис. 2). Среди них только 15% содержат в своей структуре наполнители и 27% используют диспергирующие вещества и

воздуховыводящие добавки, такие как ВУК 1970, ВУК 1974 и др. При этом стоит понимать, что наполнитель применяют, как правило, для фотополимерных систем высокой вязкости, т. е. для технологии SLA и ее модификаций [43–56].

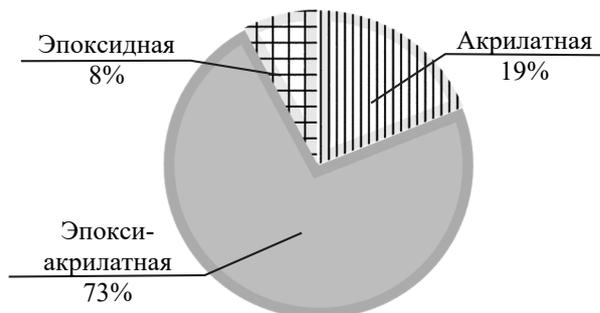


Рис. 2. Оценка объемов фотополимерных смол по типу полимерной основы, используемых для фотополимеризации в ванне

Среди наполнителей для фотополимеризации в ванне 68% занимают керамические смеси и 23% – стеклянные сферы и углеродные нанотрубки.

Акрилатные смолы без добавления эпоксидных групп используются только для технологии DLP, в то время как смолы с эпоксидной полимерной основой – для SLA-технологии. Применение смешанных систем позволяет получить достаточную вязкость системы для высокой детализации и светочувствительности смолы, не используя при этом значительное количество добавок, которые могут отрицательно сказываться на получаемых характеристиках готового изделия и вызывать нестабильность свойств в объеме материала.

Заключение. Анализ тенденций развития рынка аддитивных технологий позволяет сделать вывод о положительном прогнозе развития сектора производства изделий методами фотополимеризации в ванне.

По оценке коммерческих предложений на мировом и локальном рынке Республика Беларусь представляется перспективным государством для внедрения высокоэффективных методов и модернизации старых моделей производства, среди которых активно выделяются аддитивные технологии методами фотополимеризации в ванне.

Наиболее перспективным направлением в изготовлении новых материалов для фотополимеризации в ванне является производство смол инженерного назначения с эпоксиакрилатной основой, имеющих в своем составе наполнители, повышающие их прочность, долговечность и устойчивость к экстремальным условиям.

Развитие производственных мощностей в указанном направлении позволит повысить конкурентоспособность производственного сектора страны, занять свою нишу среди стран СНГ и возможность выйти на мировой рынок.

Список литературы

1. Логинов А. Е. Современные концепции организации производства: принципы, условия // *π-Economy*. 2023. № 16 (2). С. 87–98. DOI: 10.18721/JE.16206.
2. 3D Printing statistics & trends 2023 // Strategic market research. URL: <https://www.strategicmarket-research.com/blogs/3d-printing-statistics> (date of access: 26.04.2024).
3. Global 3D Printer Market 2024–2033 // Global Industry Overview. URL: <https://www.custommarket-insights.com/report/3d-printer-market/#> (date of access: 26.04.2024).
4. Токарев Б. Е. Анализ рынка 3D-принтеров: состояние и перспективы // *Практический маркетинг*. 2014. № 3 (205). С. 3–10.
5. Каминский А. А., Ананич М. И. Анализ трендов рынков аддитивных технологий // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. 2023. Т. 6. С. 77–84.
6. Голубев И. Г., Спицын И. А. Анализ рынка аддитивных технологий // *Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: материалы XI Междунар. науч.-практ. интернет-конф., пос. Правдинский, 5–7 июня 2019 г. Пос. Правдинский, 2019. С. 362–365.*
7. Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects / M. Jimenez [et al.] // *Complexity*. 2019. No. 1. P. 1–30. DOI: 10.1155/2019/9656938.
8. Токарев Б. Е., Токарев Р. Б. Анализ технологий рынка 3D печати: два года спустя // *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2016. Т. 8, № 1. С. 1–15.
9. Ходер В. Б., Кордикова Е. И., Дьякова Г. Н. Влияние содержания наполнителя на структуру процесса отверждения композиционной фотополимерной системы для лазерной стереолитографии // *Технология органических веществ: материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 янв. – 16 февр. 2024 г. Минск, 2024. С. 11–14.*
10. Лазерная стереолитография (SLA): технология 3D-печати / Д. Э. Панков [и др.] // *Молодой ученый*. 2020. № 48 (338). С. 48–49.
11. Ходер В. Б., Кордикова Е. И., Дьякова Г. Н. Наполненные фотополимерные композиции для 3D-печати методом стереолитографии (обзор) // *Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология*. 2022. № 1 (253). С. 27–32.
12. Ходер В. Б., Кордикова Е. И., Дьякова Г. Н. Влияние толщины слоя печати на характеристики фотополимерных материалов при введении наполнителя // *Технология органических веществ: материалы 87-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 115–118.*
13. Nohut S., Schwentenwein M. Vat Photopolymerization Additive Manufacturing of Functionally Graded Materials: A Review // *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2022. No. 6. Article 17. DOI: 10.3390/jmmp6010017.
14. Vat photopolymerization-based 3D printing of polymer nanocomposites: current trends and applications / M. Shah [et al.] // *Royal Society of Chemistry Advances*. 2023. Vol. 2, no. 13. P. 1456–1496.
15. Лагода М. Ю. Анализ эффективности использования материальных ресурсов // *Экономика и социум*. 2020. № 12 (79). С. 696–701.
16. Еремина Е. А. Инструменты оценки эффективности управления цепями поставок // *Ползуновский вестник*. 2012. № 2-1. С. 70–73.
17. Anycubic Resin User Manual & MSDS // Anycubic store. URL: <https://store.anycubic.com/pages/resin-user-manual> (date of access: 26.04.2024).
18. Material Finder // 3D SYSTEMS. URL: <https://www.3dsystems.com/material-finder?technology%5B0%5D=Stereolithography> (date of access: 26.04.2024).
19. UV Resin // eSUN. URL: <https://www.esun3d.com/resins/> (date of access: 26.04.2024).
20. Our Resin Material // WENEXT. URL: <https://www.wenext.com/materials/3d-plastic/resin> (date of access: 26.04.2024).
21. Energy curable resins for inks and coatings // Covestro Solution Center. URL: <https://solutions.covestro.com/en/brands/agisyn> (date of access: 26.04.2024).
22. Фотополимер для 3D-принтеров // Gorky Liquid. URL: <https://gorkyliquid.ru/catalog/fotopolimer-dlya-3d-printera/> (date of access: 26.04.2024).
23. Каталог // HARZ Labs. URL: <https://harzlabs.ru/products/materialy/filter/clear/apply/> (date of access: 26.04.2024).
24. Collections // Wanhao. URL: <https://wanhao.store/collections/> (date of access: 26.04.2024).
25. Materials Purchase // Creality store. URL: <https://store.creality.com/collections/materials?page=1&tags=high%20precision> (date of access: 26.04.2024).

26. Materials Catalog. Advanced Resins and Powders for 3D Printing // Formlabs. URL: https://formlabs.com/materials/?print_technology%5B0%5D=SLA (date of access: 26.04.2024).
27. Фотополимеры // HARDLIGHT. URL: <https://hardlight3d.com/categories/fotopolimery> (date of access: 26.04.2024).
28. MATERIAL // Kings 3D Printing. URL: <https://www.kings3dprinter.com/material/> (date of access: 26.04.2024).
29. MOVINGLight DLP resins // Prodways Machines. URL: <https://www.prodways.com/materials/movinglight-dlp-resins/> (date of access: 26.04.2024).
30. Ceramic Materials 3D Printer // TETHON 3D. URL: <https://tethon3d.com/> (date of access: 26.04.2024).
31. Photopolymer resins for industrial 3D printing // Evonik. Leading Beyond Chemistry. URL: <https://www.infinam.com/en/3d-printing-materials/photopolymer-resins> (date of access: 26.04.2024).
32. Ackuretta Dental 3D Printing Resins // Ackuretta. URL: <https://ackuretta.com/pages/curo-resins-for-dental-3d-printed-applications> (date of access: 26.04.2024).
33. 3D Printer Materials // Stratasys. URL: https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/?filter=MT_P3_/DLP (date of access: 26.04.2024).
34. Ultracur3D Photopolymers // Forward AM. URL: <https://forward-am.com/material-portfolio/ultracur3d-photopolymers/> (date of access: 26.04.2024).
35. 3D Printer Resin // JAMG HE. URL: <https://www.jamghe.com/collections/3d-printer-resin> (date of access: 26.04.2024).
36. UV Resin // SUNLU. URL: <https://www.sunlu.com/collections/uv-resin> (date of access: 26.04.2024).
37. Product center // Dongguan Aidi. URL: https://www.dgadpm.com/page5?product_category=37 (date of access: 26.04.2024).
38. Products // Liqcreate. URL: <https://www.liqcreate.com/products/> (date of access: 26.04.2024).
39. Light-curing resin // ZRapid Tech. URL: http://www.zero-tek.com/cn/material_sla.html (date of access: 26.04.2024).
40. Premium 3D Printer Resin // ELEGOO. URL: <https://www.elegoo.com/collections/resin> (date of access: 26.04.2024).
41. 3D Printing Materials // Phrozen. URL: <https://phrozen3d.com/collections/materials> (date of access: 26.04.2024).
42. 3D Printing Material Specification Sheets // HLH Prototypes Prototool Production. URL: <https://hlh-dongguan.oss-cn-shenzhen.aliyuncs.com/quotation/2022/0122/FypXECJhc5.pdf> (date of access: 26.04.2024).
43. Materials // 3D SYSTEMS Customer Support Senter. URL: https://support.3dsystems.com/s/article/materials-materials?language=en_US (date of access: 26.04.2024).
44. TDS // eSun. URL: https://www.esun3d.com/zldownload_catalog/tds/ (date of access: 26.04.2024).
45. SDS // Covestro Solution Center. URL: <https://solutions.covestro.com/en/productsafetyfirst/sds?SearchDigit=&SearchName=AgiSyn%202421&SelectedLanguage=EN&SelectedCountry=GB> (date of access: 26.04.2024).
46. Паспорт безопасности Basic Resin // HARZ Labs. URL: <https://harzlabs.ru/products/materialy/filter/clear/apply/> (date of access: 26.04.2024).
47. Safety data sheet // Wanhao. URL: <https://3dstore.dk/wp-content/uploads/2019/03/Wanhao-Resin-MSDS-Report.pdf> (date of access: 26.04.2024).
48. MSDS test report // Creality. URL: https://core-electronics.com.au/attachments/Creality_Resin_SDS.pdf (date of access: 26.04.2024).
49. MATERIAL // Fings 3D Printing. URL: <https://www.kings3dprinter.com/material/> (date of access: 26.04.2024).
50. Technical data sheets // Evonik. Leading Beyond Chemistry. URL: <https://coating-adhesive-resins.evonik.com/en/download/Technical-data-sheets> (date of access: 26.04.2024).
51. Downloadables // Ackuretta. URL: <https://ackuretta.com/pages/downloads> (date of access: 26.04.2024).
52. Material Safety Data Sheets // Stratasys. URL: <https://support.stratasys.com/en/materials/sds> (date of access: 26.04.2024).
53. Which products msds you need // JAMG HE. URL: <https://www.jamghe.com/pages/sds-download> (date of access: 26.04.2024).
54. Technical Data Sheet for 3D-printing Liqcreate resin // Liqcreate. URL: <https://www.liqcreate.com/ru/статьи-поддержки/где-я-могу-найти-технические-паспорта-tds/> (date of access: 26.04.2024).
55. Elegoo Resin MSDS // ELEGOO. URL: <https://www.elegoo.com/blogs/3d-printing/elegoo-resin-sds> (date of access: 26.04.2024).
56. Import Documents // Phrozen. URL: <https://phrozen3d.com/pages/document> (date of access: 26.04.2024).

References

1. Loginov A. E. Modern concepts of production organization: principles, conditions. *π-Economy*, 2023, no. 16 (2), pp. 87–98. DOI: 10.18721/JE.16206 (In Russian).
2. 3D Printing statistics & trends 2023. Available at: <https://www.strategicmarketresearch.com/blogs/3d-printing-statistics> (accessed 26.04.2024).
3. Global 3D Printer Market 2024–2033. Available at: <https://www.custommarketinsights.com/report/3d-printer-market/#> (accessed 26.04.2024).
4. Tokarev B. E. Analysis of the 3D printer market: state and prospects. *Prakticheskiy marketing* [Practical marketing], 2014, no. 3 (205), pp. 3–10 (In Russian).
5. Kaminskiy A. A., Ananich M. I. Analysis of trends in the markets of additive technologies. *Interekspo GEO-Sibir* [Interexpo GEO-Siberia], 2023, vol. 6, pp. 77–84 (In Russian).
6. Golubev I. G., Spitsyn I. A. Analysis of the market of additive technologies. *Nauchno-informatsionnoye obespecheniye innovatsionnogo razvitiya APK: materialy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii* [Scientific and information support of innovative development of agroindustrial complex: materials of the XI International Scientific and Practical Internet Conference]. Pravdinsky, 2019, pp. 362–365 (In Russian).
7. Jimenez M., Romero L., Dominguez I. A., Espinosa M. D. M., Dominguez M. Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects. *Complexity*, 2019, no. 1, pp. 1–30. DOI: 10.1155/2019/9656938.
8. Tokarev B. E., Tokarev R. B. Analysis of 3D printing market technologies: two years later. *Internet-zhurnal "Naukovedeniye"* [The online journal "Science Studies"], 2016, vol. 8, no. 1, pp. 1–15 (In Russian).
9. Khodzer V. B., Kordikova E. I., Dyakova H. N. Influence of filler content on the structure of the curing process of a composite photopolymer system for laser stereolithography. *Tekhnologiya organicheskikh veshchestv: materialy 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Technology of organic substances: materials of the 88th Scientific and Technical Conference of the faculty, researchers and postgraduates (with international participation)]. Minsk, 2024, pp. 11–14 (In Russian).
10. Pankov D. E., Solomonov I. A., Terin A. M., Tutushkin A. K. Laser stereolithography (SLA): 3D printing technology. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2020, no. 48 (338), pp. 48–49 (In Russian).
11. Khodzer V. B., Kordikova E. I., Dyakova H. N. Filled photopolymer compositions for 3D printing by stereolithography (review). *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology, 2022, no. 1 (253), pp. 27–32 (In Russian).
12. Khodzer V. B., Kordikova E. I., Dyakova H. N. Influence of the thickness of the printing layer on the characteristics of phosphopolymer materials during the introduction of filler. *Tekhnologiya organicheskikh veshchestv: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Technology of organic substances: materials of the 87th Scientific and Technical Conference of the faculty, researchers and postgraduates (with international participation)]. Minsk, 2023, pp. 115–118 (In Russian).
13. Nohut S., Schwentenwein M. Vat Photopolymerization Additive Manufacturing of Functionally Graded Materials: A Review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2022, no. 6, article 17. DOI: 10.3390/jmmp6010017.
14. Shah M., Ullah A., Azher K., Rehman A. U., Juan W., Aktürk N., Tüfekci C. S., Salamci M. U. Vat photopolymerization-based 3D printing of polymer nanocomposites: current trends and applications. *Royal Society of Chemistry Advances*, 2023, vol. 2, no. 13, pp. 1456–1496.
15. Lagoda M. Yu. Analysis of the efficiency of the use of material resources. *Ekonomika i sotsium* [Economy and society], 2020, no. 12 (79), pp. 696–701 (In Russian).
16. Eremina E. A. Tools for evaluating the effectiveness of supply chain management. *Polzunovskiy vestnik* [Polzukovsky Bulletin], 2012, no. 2 (1), pp. 70–73 (In Russian).
17. Anycubic Resin User Manual & MSDS. Available at: <https://store.anycubic.com/pages/resin-user-manual> (accessed 26.04.2024).
18. Material Finder. Available at: <https://www.3dsystems.com/material-finder?technology%5B0%5D=Stereolithography> (accessed 26.04.2024).
19. UV Resin. Available at: <https://www.esun3d.com/resins/> (date of access 26.04.2024).
20. Our Resin Material. Available at: <https://www.wenext.com/materials/3d-plastic/resin> (accessed 26.04.2024).
21. Energy curable resins for inks and coatings. Available at: <https://solutions.covestro.com/en/brands/agisyn> (accessed 26.04.2024).

22. Photopolymer for 3D printers. Available at: <https://gorkyliquid.ru/catalog/fotopolimer-dlya-3d-printera/> (accessed 26.04.2024).
23. Catalog. Available at: <https://harzlabs.ru/products/materialy/filter/clear/apply/> (accessed 26.04.2024).
24. Collections. Available at: <https://wanhao.store/collections/> (accessed 26.04.2024).
25. Materials Purchase. Available at: <https://store.creality.com/collections/materials?page=1&tags=high%20precision> (accessed 26.04.2024).
26. Materials Catalog. Advanced Resins and Powders for 3D Printing. Available at: https://formlabs.com/materials/?print_technology%5B0%5D=SLA (accessed 26.04.2024).
27. Photopolymers. Available at: <https://hardlight3d.com/categories/fotopolimery> (accessed 26.04.2024).
28. MATERIAL. Available at: <https://www.kings3dprinter.com/material/> (accessed 26.04.2024).
29. MOVINGLight DLP resins. Available at: <https://www.prodways.com/materials/movinglight-dlp-resins/> (accessed 26.04.2024).
30. Ceramic Materials 3D Printer. Available at: <https://tethon3d.com/> (accessed 26.04.2024).
31. Photopolymer resins for industrial 3D printing. Available at: <https://www.infinam.com/en/3d-printing-materials/photopolymer-resins> (accessed 26.04.2024).
32. Ackuretta Dental 3D Printing Resins. Available at: <https://ackuretta.com/pages/curo-resins-for-dental-3d-printed-applications> (accessed 26.04.2024).
33. 3D Printer Materials. Available at: https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/?filter=MT_P3_DLP (accessed 26.04.2024).
34. Ultracur3D Photopolymers. Available at: <https://forward-am.com/material-portfolio/ultracur3d-photopolymers/> (accessed 26.04.2024).
35. 3D Printer Resin. Available at: <https://www.jamghe.com/collections/3d-printer-resin> (accessed 26.04.2024).
36. UV Resin. Available at: <https://www.sunlu.com/collections/uv-resin> (accessed 26.04.2024).
37. Product center. Available at: https://www.dgadpm.com/page5?product_category=37 (accessed 26.04.2024).
38. Products. Available at: <https://www.liqcreate.com/products/> (accessed 26.04.2024).
39. Light-curing resin. Available at: http://www.zero-tek.com/cn/material_sla.html (accessed 26.04.2024).
40. Premium 3D Printer Resin. Available at: <https://www.elegoo.com/collections/resin> (accessed 26.04.2024).
41. 3D Printing Materials. Available at: <https://phrozen3d.com/collections/materials> (accessed 26.04.2024).
42. 3D Printing Material Specification Sheets. Available at: <https://hlh-dongguan.oss-cn-shenzhen.aliyuncs.com/quotation/2022/0122/FypXECJhc5.pdf> (accessed 26.04.2024).
43. Materials. Available at: https://support.3dsystems.com/s/article/materials-materials?language=en_US (accessed 26.04.2024).
44. TDS. Available at: https://www.esun3d.com/zldownload_catalog/tds/ (accessed 26.04.2024).
45. SDS. Available at: <https://solutions.covestro.com/en/productsafetyfirst/sds?SearchDigit=&SearchName=AgiSyn%202421&SelectedLanguage=EN&SelectedCountry=GB> (accessed 26.04.2024).
46. Safety data sheet Basic Resin. Available at: <https://harzlabs.ru/products/materialy/filter/clear/apply/> (accessed 26.04.2024).
47. Safety data sheet. Available at: <https://3dstore.dk/wp-content/uploads/2019/03/Wanhao-Resin-MSDS-Report.pdf> (accessed 26.04.2024).
48. MSDS test report. Available at: https://core-electronics.com.au/attachments/Creality_Resin_SDS.pdf (accessed 26.04.2024).
49. MATERIAL. Available at: <https://www.kings3dprinter.com/material/> (accessed 26.04.2024).
50. Technical data sheets. Available at: <https://coating-adhesive-resins.evonik.com/en/download/Technical-data-sheets> (accessed 26.04.2024).
51. Downloadables. Available at: <https://ackuretta.com/pages/downloads> (accessed 26.04.2024).
52. Material Safety Data Sheets. Available at: <https://support.stratasys.com/en/materials/sds> (accessed 26.04.2024).
53. Which products msds you need. Available at: <https://www.jamghe.com/pages/sds-download> (accessed 26.04.2024).
54. Technical Data Sheet for 3D-printing Liqcreate resin. Available at: <https://www.liqcreate.com/ru/статьи-поддержки/где-я-могу-найти-технические-паспорта-tds/> (accessed 26.04.2024).
55. Elegoo Resin MSDS. Available at: <https://www.elegoo.com/blogs/3d-printing/elegoo-resin-sds> (accessed 26.04.2024).
56. Import Documents. Available at: <https://phrozen3d.com/pages/document> (accessed 26.04.2024).

Информация об авторах

Ходер Виктория Богуславовна – аспирант кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: vh58998673194@gmail.com

Кордикова Елена Ивановна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kordikova@belstu.by

Дьякова Галина Николаевна – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kravchenyagn1994@gmail.com

Information about the authors

Khodzer Viktoriya Boguslavovna – PhD student, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vh58998673194@gmail.com

Kordikova Elena Ivanovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kordikova@belstu.by

Dyakova Halina Nikolaevna – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kravchenyagn1994@gmail.com

Поступила 14.06.2024