

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2026-1-133-140>

УДК 691.32: 004.94

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ ЦЕМЕНТНЫХ МАТРИЦ

Сураев А. С.¹, Мухамедов Н. Е.¹, Гончаров С. В.¹, Акболатов Е. Ж.^{1,2}, Должиков С. А.^{1,3*}, Витюк Г. А.¹

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

² НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева», Усть-Каменогорск, Казахстан

³ НАО «Шакарим университет», Семей, Казахстан

* E-mail для контактов: dolzhikov@nnc.kz

Подготовка лабораторных образцов цементных матриц, необходимых для иммобилизации твердых радиоактивных отходов, трудоемкий процесс. Стандартный лабораторный образец должен быть выполнен в виде куба со стороной 100 мм, с ровными поверхностями и соответствовать требованиям ГОСТ Р 71913-2024. Соответственно, для заливки растворов на основе цемента, необходимы специальные формы. В данной работе показаны возможности аддитивных технологий, в частности, метода послойного формообразования (3D печать пластиком) для создания таких форм. Выполнена разработка и оптимизация конструкции формы в программе трехмерного моделирования, а также изготовлены прототипы цельной и разъемной формы, с помощью которых получены тестовые образцы цементных матриц. Прототипы «напечатаны» на современном 3D принтере фирмы Bambu Lab с применением наиболее распространенного и широко используемого пластика – полилактида (PLA). По результатам исследования апробирована конструкция многоразовой разъемной формы, использование которой позволяет получить образец цементной матрицы требуемого размера и формы.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D печать, твердые радиоактивные отходы, разъемная многоразовая форма, цементная матрица.

ВВЕДЕНИЕ

Надежная иммобилизация твердых радиоактивных отходов (ТРО) с целью их длительного безопасного хранения и захоронения – актуальная проблема современности. Основными требованиями, предъявляемыми к матрицам, являются высокая механическая прочность, радиационная и химическая стойкость, а также минимальная проницаемость для радионуклидов. Цементные и бетонные композиции широко применяются для этих целей благодаря доступности, технологичности и способности включать широкий спектр отходов. Однако получение воспроизводимых лабораторных образцов с заданной геометрией и структурой остается сложной задачей, особенно при исследовании влияния формы, размеров и неоднородностей на долговременную устойчивость матриц.

В этом контексте аддитивные технологии представляют собой перспективный инструмент для апробации новых методик в области иммобилизации ТРО. Использование 3D-печати для изготовления форм позволяет оперативно создавать образцы сложной и контролируемой геометрии, обеспечивать высокую повторяемость экспериментов и снижать трудоемкость подготовки испытаний. Применение таких подходов особенно важно при моделировании процессов деградации, миграции радионуклидов и механического разрушения матриц. Таким образом, внедрение аддитивных технологий в лабораторную практику способствует повышению достоверности исследований и развитию научно обоснованных решений в области безопасного обращения с радиоактивными отходами.

Сегодня аддитивные технологии занимают ключевое место в трансформации современных производственных процессов, обеспечивая возможность получения изделий со сложной геометрией, высокой степенью индивидуализации и технологичности. Среди различных направлений аддитивного производства особое значение для промышленного применения имеет 3D-печать полимерными материалами, включающая методы послойного формообразования на основе экструзии термопластов (FDM/FFF), фотополимеризации (SLA/DLP) и лазерного спекания порошков (SLS) [1].

Широкое применение полимерной аддитивной технологии в промышленности обусловлено совокупностью факторов: сокращением времени на разработку изделия, возможностью мелкосерийного и единичного производства, функциональной интеграцией, а также снижением затрат на изготовление оснастки. Современные инженерные полимеры – ABS, PLA, PETG, PEEK, PPSU обеспечивают характеристики, сопоставимые с традиционно изготовленными компонентами, что делает технологию широко применимой [2, 3].

Несмотря на высокий потенциал, промышленное внедрение 3D-печати пластиком сопровождается рядом фундаментальных и технологических ограничений. Наиболее критичными являются анизотропия механических свойств и вариативность межслойной адгезии, обусловленные неравномерностью тепловых потоков и особенностями кристаллизации при послойном росте. Существенное влияние на точность и стабильность геометрии оказывают термическая усадка, остаточные напряжения, неоднородность структуры

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ ЦЕМЕНТНЫХ МАТРИЦ

при масштабировании на крупные размеры, а также чувствительность полимерного сырья к влажности и условиям хранения. Эти факторы ограничивают воспроизводимость свойств, усложняют параметрическую оптимизацию процесса и требуют разработки моделей, связывающих режимы печати, микроструктуру и эксплуатационные характеристики изделий.

Тем не менее технология послойной трехмерной печати может быть успешно применена в рамках реализации программы, направленной на исследование образцов твердых радиоактивных отходов, а, в частности, для подготовки лабораторных образцов цементных матриц (ЦМ). Таким образом целью настоящей работы является применение полимерных аддитивных технологий 3D-печати для создания технологичных форм, которые будут применяться для отливки образцов цементных матриц.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для печати форм выбран пластик PLA (полилактид), который является биоразлагаемым, биосовместимым, термопластичным алифатическим полиэфиром, структурная единица которого – молочная кислота. На сегодняшний день полилактид активно используется в качестве расходного материала для печати на 3D-принтерах по всему миру.

Основные преимущества PLA пластика перед другими видами следующие: нетоксичен, имеет широкую цветовую палитру, отсутствие усадки после печати, идеален для движущихся частей и механических моделей, отличное скольжение деталей, низкая температура печати, гладкость поверхности напечатанного изделия, получение более детальных и полностью готовых к применению объектов, возможна механическая (ручная) обработка деталей, например шлифовка поверхности. Один из существенных недостатков – относительно низкая температура эксплуатации. При температуре 70–80 °С изделия из данного материала начинают смягчаться, теряют свою прочность, а затем и форму.

Основные характеристики данного пластика приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики PLA

Характеристика	Значение
Температура плавления, °С	190–220
Температура размягчения, °С	60
Твердость (по Роквеллу)	R70–R90
Относительное удлинение при разрыве, %	3,8
Прочность на изгиб, МПа	55,3
Прочность на разрыв, МПа	57,8
Модуль упругости при растяжении, ГПа	3,3
Модуль упругости при изгибе, ГПа	2,3
Температура стеклования, °С	60–65
Плотность, г/см ³	1,23–1,25
Минимальная толщина стенок, мм	1,0
Точность печати, %	±0,1
Усадка при изготовлении изделий	нет

Такой тип пластика идеально подходит для имеющегося оборудования – 3D принтера «Bambu Lab X1 Carbon», внешний вид которого и основные характеристики представлены на рисунке 1. Для 3D печати на принтере используется пластик в виде тонкой нити (филамент) диаметром 1,75 мм, намотанной на катушку. Пластиковая нить подается в принтер через специальный канал, в котором установлен датчик наличия (отсутствия) пластика и зубчатый двигатель. Перед печатью сопло экструдера разогревается до температуры плавления нити (порядка 200 °С), что обеспечивает наплавление материала слой за слоем. Встроенный вентилятор охлаждает верхний слой пластика.



Параметр	Значение
Технология печати	FDM /FFF (послойное формообразование)
Область печати	256×256×256 мм
Диаметр сопла	0,4 мм
Диаметр нити	1,75 мм
Расходные материалы	PLA, ABS, PETG, ASA, TPU, PVA, PET
Количество экструдеров	1
Максимальная температура:	
– экструдера	300 °С
– стола	110 °С при 220 В, 120 °С при 110 В
Скорость печати	0,5–20 м/с
Калибровка	автоматическая
Камера, рх	1920×1080 (Full HD)

Рисунок 1. 3D принтер Bambu Lab X1 Carbon и его характеристики [4]

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ НЕРАЗЪЕМНОЙ ФОРМЫ

Для проведения лабораторных исследований необходимо несколько десятков образцов цементных матриц выполненных в форме куба со стороной

100 мм. Данный размер и форма являются стандартом в международной исследовательской практике [5, 6].

Такие образцы имеют ряд преимуществ:

- экономия материала;
- небольшая толщина образца обеспечивает минимальные градиенты по влажности;
- простота изготовления образцов (легко уплотняется, не требует специального вибрационного оборудования, легкость извлечения из формы);
- идеально подходят для испытаний на сжатие, измерений плотности, пористости, исследований микроструктуры, диффузионных испытаний и пр.

Таким образом была поставлена задача разработать конструкцию формы для получения образцов цементных матриц в виде куба размерами 100×100×100 мм.

Изготовление таких форм методом 3D печати обеспечивает:

- высокую точность изготовленных деталей (отклонения в размерах не более $\pm 0,2$ мм);
- минимальные затраты материала (порядка 400 г пластика на 1 форму) и человеческих ресурсов (на этапе подготовки модели и задания настроек печати);
- автоматизацию работы 3D принтера, которая исключает влияние человеческого фактора;
- минимум отходов (несколько грамм пластика) и брака конечного изделия.

Для отработки предложенной технологии была разработана простая тестовая конструкция, представленная на рисунке 2. Конструкция представляет собой короб без крышки с толщиной стенок 2 мм. Получаемый образец будет иметь размеры 50×50×50 мм, этого достаточно для апробации технологии 3D печати, а также для оценки степени технологичности конструкции формы. Малый размер формы обеспечивает экономию материала – не более 100 г пластика, и времени – требуется порядка 2 часов на печать. Образцы цементной матрицы таких размеров стандартам не соответствуют, поэтому не будут подвергаться механическим испытаниям. Они необходимы только для отработки технологии заливки раствора и извлечения отвержденного образца.

Изготовленная форма, выполненная из пластика PLA (полилактид), имеет цельную конструкцию, обеспечивающую простоту проектирования и скорость печати.

По результатам заливки раствора цементной матрицы был выявлен существенный недостаток такой конструкции – сложность извлечения отвержденного образца ЦМ по причине высокой шероховатости и, следовательно, адгезии раствора к внутренним поверхностям формы. Попытка залить цементный раствор непосредственно в форму привела к тому, что после отверждения цементной матрицы (через 1 сутки) извлечь образец, не повредив его структуру, не удалось, вследствие высокой адгезии раствора к

внутренним стенкам формы. Применение изолирующего материала (полиэтилена) позволяет избежать контакта отвержденной ЦМ со стенками и дном формы и обеспечивает легкое извлечение образца, но не позволяет получить гладкую структуру поверхности (рисунок 3). Во время заливки происходит формирования большого количества складок изолирующего материала, избежать которые не представляется возможным. Таким образом актуальной стала задача разработки формы разъемной конструкции многократного использования.

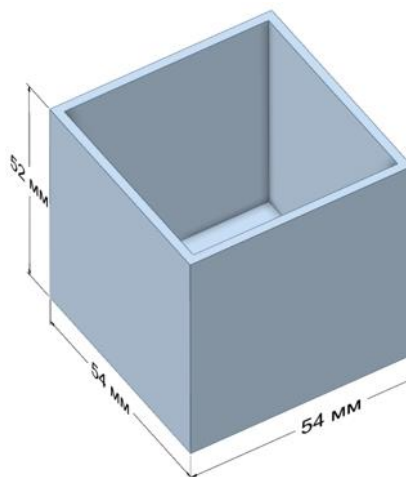


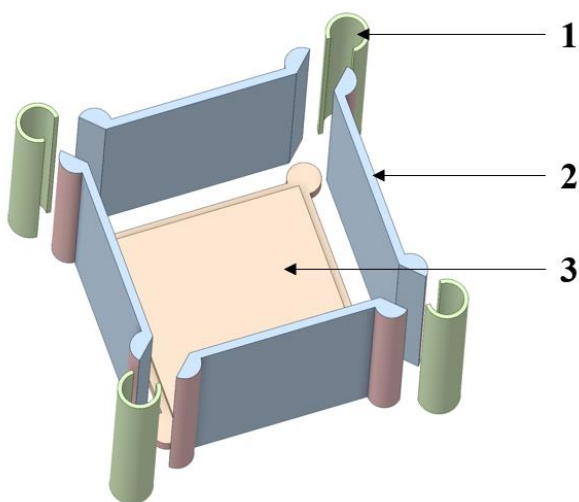
Рисунок 2. Модель и внешний вид напечатанной тестовой формы

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РАЗЪЕМНОЙ ФОРМЫ

Принимая во внимание недостатки предыдущей формы, была предложена и разработана в среде CAD проектирования [7] принципиально новая конструкция разъемной формы (рисунок 4), которая состоит из девяти элементов: дно, четыре стенки и четыре угловых фиксатора. Оригинальная конструкция механизма фиксации формы обеспечивает многократную сборку (разборку), исключая повреждение элементов формы.



Рисунок 3. Опытный образец ЦМ после извлечения из тестовой формы с полиэтиленом



1 – угловой фиксатор (4 шт.), 2 – стенка (4 шт.), 3 – дно (1 шт.)

Рисунок 4. Конструкция (модель) разъемной формы

Специальные выступы в конструкции дна формы и стенок, а также форма угловых фиксаторов обеспечивают надежную герметизацию внутреннего объема, что препятствует вытеканию жидкого раствора цементной матрицы. Все размеры формы выбраны так, чтобы обеспечить геометрически правильную

форму образца, хорошее прилегание стенок ко дну, удобство сборки (разборки) формы. Толщина стенок и дна составляет 5 мм, толщина углового фиксатора равна ~3 мм, этого достаточно для обеспечения прочности конструкции и не вызывает перерасход материала. На рисунке 5 представлены размерные характеристики каждого элемента.

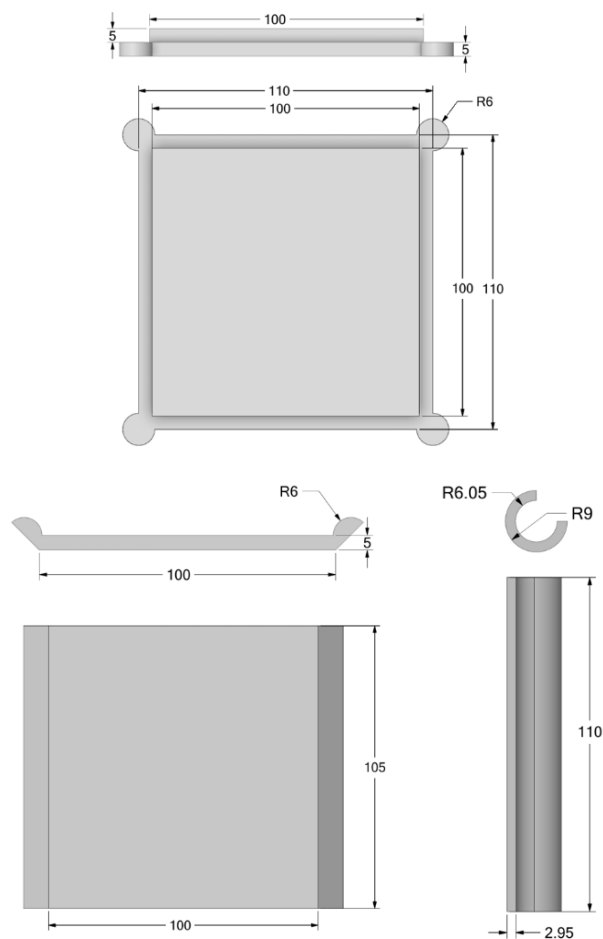


Рисунок 5. Профиль и основные размеры деталей разъемной формы

СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА

Разработанная конструкция разъемной формы была разбита на слои в специальной программе-слайсере Bambu Studio [8], которая преобразует трехмерную модель в *g-code* (язык программирования устройств с числовым программным управлением), использующийся 3D принтером для печати модели [9]. Программа рассчитывает количество пластика, которое будет необходимо для печати и оценивает время, требуемое на печать в зависимости заданной детализации модели. Согласно оценке, для данной формы требуется порядка 400 г пластика, время, требуемое на печать всех компонентов одной формы 9–10 ч. В таблице 2 приведены параметры печати.

**ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ
ЦЕМЕНТНЫХ МАТРИЦ**

Таблица 2. Параметры печати

Параметр	Значение	Пояснение
Температура сопла, °С	210	влияет на стабильность экструзии пластика
Температура стола, °С	60	снижает коробление, улучшает адгезию
Диаметр сопла, мм	0,4	стандартное сопло
Высота слоя, мм	0,2	баланс точности и времени
Скорость печати, мм/с	40	низкая скорость печати обеспечивает высокое качество
Скорость первого слоя, мм/с	20	повышает адгезию к столику, что минимизирует риск брака – смещения формы во время печати
Толщина стенок	4 слоя	для жесткости формы
Заполнение (Infill), %	100	отсутствие пустот по всему объему
Тип заполнения	Gyroid / Cubic	хорошая прочность и изотропность



Рисунок 6. Разъемная форма и ее элементы

На рисунке 6 представлен напечатанный прототип разъемной формы, который позволил оценить правильность разработанной конструкции, технологичность сборки-разборки формы и удобство работы с формой как при заливке раствора цементной матрицы, так и при извлечении отвержденного образца. Установлен точный вес формы после ее изготовления (рисунок 7), который составил 429,3 г, что соответствует значению (400 г), оцененному принтером.

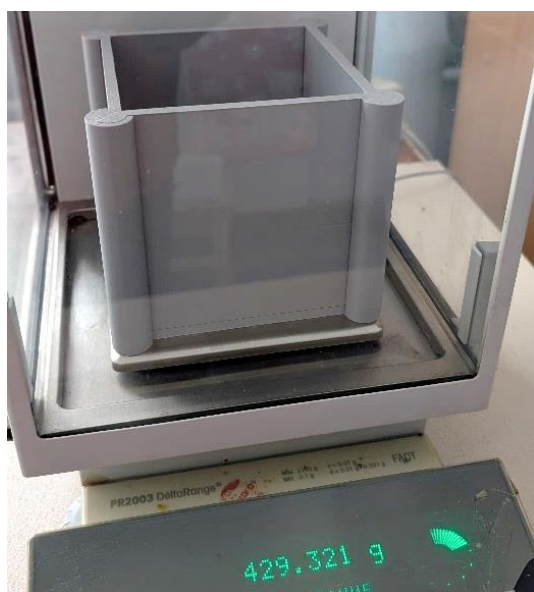


Рисунок 7. Взвешивание изготовленного прототипа формы

Был подготовлен и залит в форму раствор цементной матрицы (рисунок 8), такого же состава, что использовался ранее для заливки в неразъемную форму. В данном случае форма никак не обрабатывалась, что позволяет оценить степень прилипания отвержденного образца к стенкам.

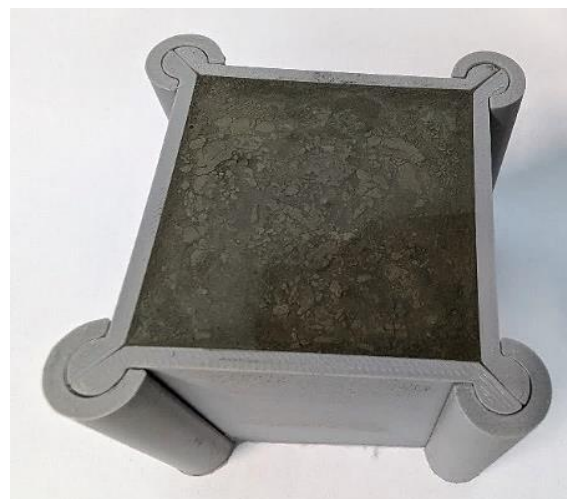


Рисунок 8. Заливка раствора ЦМ в разъемную форму

По истечении одних суток форма была разобрана и проведен внешний осмотр образца и внутренних поверхностей формы (рисунок 9).

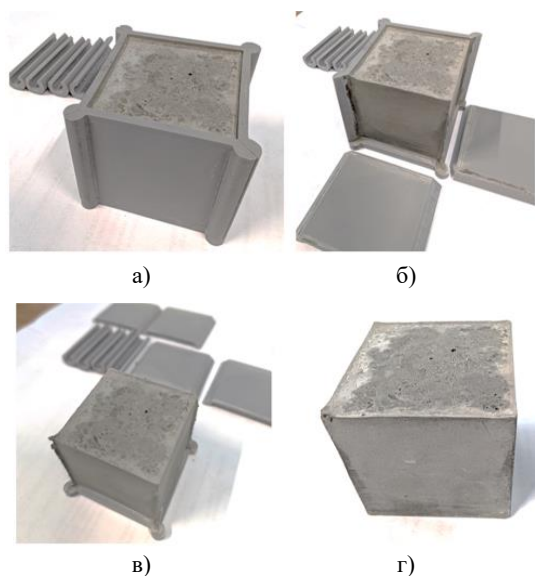


Рисунок 9. Отвержденный образец ЦМ, извлеченный из разъемной формы через 1 сутки: а) убраны угловые фиксаторы; б) убраны две стенки; в) убраны все стенки; г) внешний вид образца

Извлечение образца из разъемной формы не вызвало никаких трудностей. После освобождения стенок и дна от сдерживающих угловых фиксаторов, стенки были легко демонтированы, не повреждая поверхность образца. После извлечения внутренние поверхности формы были очищены от отвержденных остатков цементного раствора, форма была собрана и готова к заливке следующего образца.

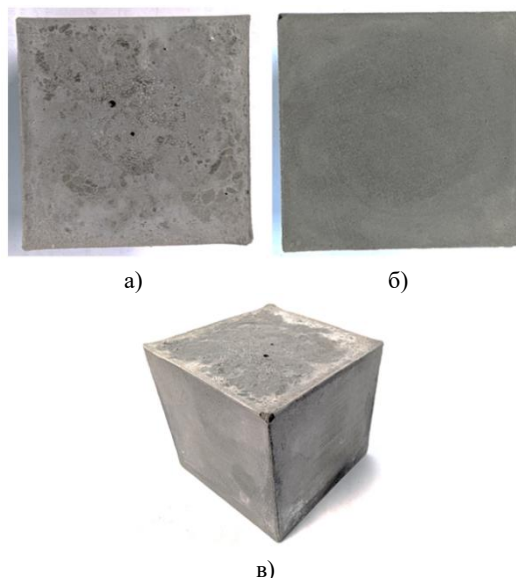


Рисунок 10. Внешний вид отвержденного образца ЦМ через 2 суток: а) верхняя поверхность; б) нижняя поверхность; в) внешний вид

Через двое суток извлеченный отвердевший образец цементной матрицы сохраняет свою форму (рисунок 10). Верхняя поверхность имеет поры, образо-

ванные при выходе избытка воздуха из объема образца, а нижняя и боковые поверхности имеет ровную гладкую структуру без следов адгезии к внутренним граням формы. Плоская параллельность поверхностей образца показана на рисунке 11, отклонение не превышает 1%.



Рисунок 11. Плоская параллельность и размеры образца через двое суток

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что применение аддитивных технологий позволило апробировать и внедрить новые подходы к изготовлению разъемных форм для подготовки лабораторных образцов цементных матриц. Технология послойного формообразования (3D печать пластиком) в рамках данной работы показала наиболее оптимальное соотношение качества изготовленных форм и их технологичности к затраченным ресурсам и материалам по сравнению с применением классических способов – деревянных или металлических форм.

Ранняя отработка процесса извлечения отвержденного образца из неразъемной формы позволила своевременно пересмотреть подход к ее конструкции и разработать технологичную многоразовую разъемную форму. Созданный прототип с одной стороны обеспечивает герметичность внутренней полости формы при заливке состава, а с другой – беспрепятственное извлечение отвержденного образца цементной матрицы без повреждения ее поверхностей.

Планируется изготовить несколько таких форм, чтобы иметь возможность одновременной заливки образцов цементной матрицы одного состава, для дальнейшего сравнения физических и механических свойств.

Благодарность

Работа была профинансирована Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках Научно-технической программы (ИРН BR24993118) «НИР по обоснованию выбора и реализации технологии переработки твердых радиоактивных отходов».

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Zhou L., Miller J., Vezza J., Mayster M., Raffay M., Justice Q., Tamimi Z., Hansotte G., Sunkara L.D., Bernat J. Additive Manufacturing: A Comprehensive Review // Sensors. – April 2024. – Vol. 24, Iss. 9. Art. 2668. – <https://doi.org/10.3390/s24092668>
2. Ahmadifar M. [et al.] Additive manufacturing of polymer-based composites using fused filament fabrication (FFF): a review // Applied Composite Materials. – 2021. – Vol. 28, No. 5. – P. 1335–1380. – <https://doi.org/10.1007/s10443-021-09933-8>
3. Sabbatini B. [et al.] An overview of natural polymers as reinforcing agents for 3D printing // ChemEngineering. – 2021. Vol. 5, No. 4. – Art. 78. – <https://doi.org/10.3390/chemengineering5040078>
4. Tom's Hardware [Электронный ресурс]. – 2024. – Режим доступа: https://www.tomshardware.com/3d-printing/bambu-lab-x1-carbon-3d-printer-review?utm_source=chatgpt.com (дата доступа 05.12.2025 г.)
5. ГОСТ Р 71913-2024. Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия.– Введ. 2025-03-01.– М.: Российский институт стандартизации, 2025. [GOST R 71913-2024. [Formy dlya izgotovleniya kontrol'nykh obraztsov betona. Tekhnicheskie usloviya.– Vved. 2025-03-01.– М.: Rossiyskiy institut standartizatsii, 2025.] (In Russ.)
6. Горбунова, О.А. Цементирование твердых радиоактивных отходов методом пропитки высокопроницающими растворами: дис. канд. тех. наук: 5.17.02: защищена 25.04.2004: М. – 2004. [Gorbunova, O.A. Tsementirovanie tverdykh radioaktivnykh otkhodov metodom propitki vysokopronikayushchimi rastvorami: dis. kand. tekh. nauk: 5.17.02: zashchishchena 25.04.2004: Moscow – 2004.] (In Russ.)
7. Shchekin A. V. [et al.] Simulation of the Machining of a Bush in the KOMPAS-3D System // Russian Engineering Research. – 2017. – Vol. 37, No. 11. – P. 987–990. – <https://doi.org/10.3103/S1068798X17110156>
8. Zagorski M., Miltchev R., Dochev B., Stoimenov N. Approaches to Creating Colorful 3D-Printed Parts and Reliefs // Eng. Proc. – July 2025. – Vol. 100, No. 9. – <https://doi.org/10.3390/engproc2025100009>
9. Hachimi T., Ait Hmazi F., Arhouni F.E., Rejdali, H., Riyad Y., Majid F. Advancing FDM 3D Printing Simulations: From G-Code Conversion to Precision Modelling in Abaqus // Journal Manuf. Mater. Process.– 2025. – Vol. 9, No. 10. – Art. 338. – <https://doi.org/10.3390/jmmp9100338>

ЦЕМЕНТ МАТРИЦАЛАРЫНЫҢ ЗЕРТХАНАЛЫҚ ҮЛГІЛЕРІН ДАЙЫНДАУ
ҮШІН АДДИТИВТІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ

Сураев А. С.¹, Мухамедов Н. Е.¹, Гончаров С. В.¹, Ақболатов Е. Ж.^{1,2}, Должиков С. А.^{1,3*}, Витюк Г. А.¹

¹ ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

² «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Өскемен, Қазақстан

³ «Шәкәрім университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан

* Байланыс үшін E-mail: dolzhiakov@nnc.kz

Қатты радиоактивті қалдықтарды иммобилизациялау үшін қажетті цемент матрицаларының зертханалық үлгілерін дайындау, көп еңбекті қажет ететін процесс. Стандартты зертханалық үлгі қабырғасы 100 мм, беттері анық және ГОСТ Р 71913-2024 талаптарына сәйкес келетін текше түрінде орындалуы тиіс. Тиісінше, цемент негізіндегі ерітінділерді құю үшін арнайы нысандар қажет. Бұл жұмыста аддитивті технологиялардың мүмкіндіктері, атап айтқанда, осындай нысандарды жасау үшін қабатты қалыптау әдісі (пластикпен 3D басу) көрсетілген. Үш өлшемді модельдеу бағдарламасында форма конструкциясы әзірленіп, оңтайландырылды, сондай-ақ тұтас және алмалы-салмалы форманың прототиптері дайындалды, олардың көмегімен цемент матрицаларының тестілік үлгілері алынды. Прототиптер неғұрлым кең таралған және кеңінен пайдаланылатын пластикті – полилактидті (PLA) қолдана отырып, Bambu Lab фирмасының қазіргі заманғы 3D принтерінде «басылған». Зерттеу нәтижелері бойынша пайдалану талап етілетін өлшем мен нысандағы цемент матрицасының үлгісін алуға мүмкіндік беретін көп рет қолданылатын алмалы-салмалы нысандағы конструкция сынақтан өткізілді.

Түйін сөздер: аддитивті технологиялар, 3D баспа, қатты радиоактивті қалдықтар, алмалы-салмалы көп рет қолданылатын пішін, цемент матрицасы.

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES FOR THE FABRICATION
OF LABORATORY SAMPLES OF CEMENT MATRICES

A. S. Suraev¹, N. E. Mukhamedov¹, S. V. Goncharov¹, E. Zh. Akbolatov^{1,2}, S. A. Dolzhikov^{1,3*}, G. A. Vityuk¹

¹ Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

² NJSC “D. Serikbayev East Kazakhstan technical university”, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

³ NP JSC “Shakarim University”, Semey, Kazakhstan

* E-mail for contacts: dolzhikov@nnc.kz

The preparation of laboratory samples of cement matrices, required for the immobilization of solid radioactive waste, is a labor-intensive process. A standard laboratory sample should be in the form of a cube with a 100 mm side, featuring well-defined and smooth surfaces, and must comply with GOST R 71913-2024 requirements. Accordingly, special molds are needed for casting cement-based mixtures. This work demonstrates the potential of additive technologies, in particular, layer-by-layer forming methods (3D printing with plastic), for creating such molds. The design and optimization of the mold were carried out using 3D modeling software, and prototypes of both monolithic and separable molds were fabricated, which were then used to produce test samples of cement matrices. The prototypes were 3D printed on a modern Bambu Lab printer using the most common and widely used plastic – polylactic acid (PLA). Based on the results of the study, the design of a reusable separable mold was tested, enabling the production of cement matrix samples of the required size and shape.

Keywords: additive technologies, 3D printing, solid radioactive waste, reusable separable mold, cement matrix.