

Р.К. Далиманов¹, Б.Н. Қрасиков¹

¹Восточно-казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРБЕТОНА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. Строительная 3D печать привлекает внимание широкого круга общественности. К преимуществам построения зданий при помощи 3D печати можно отнести: улучшение свойства готовой продукции, большую экономию сырья, возможность изготовления конструкций со сложной геометрией, возможность воплощения передовых конструкторских разработок, и, конечно же, мобильностью производства и ускорение темпов строительства. Несмотря на многочисленные преимущества аддитивных технологий, существуют и проблемы, которые касаются высокой стоимости строительных 3D-принтеров и расходных материалов, отсутствие нормативной базы и ограниченность в подборе строительных материалов к ним. В работе изучены прочностные свойства полимерного мелкозернистого бетона на основе полиэфирной смолы, разработанного для промышленного 3D-принтера. Выявлены оптимальные условия твердения композита. Доказано, что полученный полимерный композит превосходит контрольный песчано-цементный образец по прочности, что обуславливает возможность использования разработанного состава для аддитивных технологий.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-принтер, полимерный композит, прочность на сжатие, полиэфирная смола, строение зданий.

...

Түйіндеме. Бүгінгі күні құрылыстық 3D-принтерлер қоғамның назарын аударып отыр. 3D-принтерді құрылыста қолданудың артықшылықтары: дайын енімдердің жақсартылған қасиеттері, шикізаттың мол үнемделуі, күрделі геометриялы құрылымдарды басу мүмкіндігі, озық жобалық әзірлемелерді енгізу мүмкіндіктері және ендірістің ұтқырлығын және жылдамдығын арттыру. Аддитивті технологиялардың кептеген артықшылықтарына қарамастан, 3D құрылыс принтерлерінің және шығын материалдарының жоғары құнына, нормативтік базаның жоқтығына және олар үшін құрылыс материалдарының шектеулігіне байланысты мәселелер бар. Осы жұмыста авторлар құ-

рылыстық 3D-принтерге арналған полиэфирлі шайыр негізінде полимерлі-бетонның беріктігі қасиеттерін зерттеді. Композиттің беріктігін арттырудың оңтайлы шарттары анықталды. Алынған полимерлі композиттің бақылаудағы құм-цементті бетон үлгісінен асып түсетіні дәлелденді. Ол қасиеттер бұл қоспаны аддитивті технологияларға пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: аддитивті технология, 3D-принтер, полимерлі композит, беріктік күші, полиэфир шайыры, ғимараттардың құрылысы.

• • •

Abstract. This Building 3D-printing today attracts a wide range of the public. The advantages of building buildings using 3D-printing include: improved properties of finished products, great savings in raw materials, the ability to manufacture structures with complex geometry, the possibility of implementing advanced design developments, and, of course, production mobility and accelerating the pace of construction. Despite the numerous advantages of additive technologies, there are problems that relate to the high cost of 3D construction printers and consumables, the lack of a regulatory framework and the limitations in the selection of building materials for them. In this paper, the authors studied the strength properties of polymer-grained concrete based on polyester resin, designed for industrial 3D-printer. The optimal conditions for the hardening of the composite are revealed. It is proved that the obtained polymer composite surpasses the control sand-cement sample in strength, which makes it possible to use the developed composition for additive technologies.

Keywords: additive technologies, 3D-printer, polymer composite, compressive strength, polyester resin, structure of buildings.

Введение. Аддитивные технологии предполагают изготовление (построение) физического объекта (деталей) методом послойного нанесения материала. В традиционных же методах формирования деталей осуществляется путём удаления материала из массива заготовки. Таким образом, аддитивные технологии предполагают создание трехмерной CAD-модели объекта, посредством печати созданной модели на 3D-принтере и получение готового изделия. На сегодняшний день аддитивные технологии применяются во многих отраслях производства от машиностроения до кулинарии. За последние десятилетия оценке уровня развития послойного синте-

за даны в трудах многих исследователей [1-11]. В настоящее время наблюдается большой интерес к инновациям в области строительства, и современные направления ориентированы именно на аддитивные технологии возведения. Рост интереса к аддитивным технологиям обуславливается множеством факторов: введением высокого уровня автоматизации производства, улучшением качества продукции, ускорением процессов создания, возможностью оптимизации CAD моделей, уменьшением отходов производства. Эта революция предусматривает цифровую технологию проектирования, изготовления, испытания, а также аддитивное производство деталей и изделий в целом. Во многих институтах по всему миру ведутся научные изыскания, направленные на решение проблем строительной 3D-печати.

Несмотря на многочисленные преимущества аддитивных технологий существуют и проблемы, которые касаются высокой стоимости строительных 3D-принтеров и ограниченности в подборе строительных материалов к ним. Главной проблемой является подбор строительной смеси, благодаря которой изделие при напечатании будет надежным, крепким и быстросхватываемым для нанесения последующих слоев.

Цель работы - изучение прочностных свойств полимербетона из полиэфирной смолы, разработанного специально для промышленного 3D-принтера.

Полимербетон – это одна из новых разновидностей бетонной смеси, в которой вместо цемента связующим компонентом являются полимеры. Композитный материал получают смешивая вязкую текучую синтетическую смолу с минеральными заполнителями. Добавляют в смесь также пластификаторы, красители, отвердители. Он стремительно обретает популярность в наши дни, поскольку прочнее и долговечней традиционного бетона и отличается красивым внешним видом. Называют его еще искусственным или литьевым камнем. Помимо строительства полимерный бетон применяют для изготовления мебели, сантехнических приборов, отливают из него

интересные ландшафтные скульптуры, устраивают фонтаны и искусственные водопады. Основными параметрами при выборе этого материала по составу к строительному 3D-принтеру является его быстрое затвердевание и прочное сцепление между слоями при создании строительной формы.

Методы исследования. Определение прочности на сжатие полимербетона на полиэфирной смоле ПН-63 (ОСТ 6-05-431-78) и ускорителя твердения пероксида метилэтилкетона (Бутанокс М50), проводили на образцах в виде куба с длиной ребер 10 x 10x 10 см. Твердение образцов проводилось в сухих условиях в течение 7 суток. На 6-е сут. к затвердевшим образцам эпоксидным клеем приклеивался штамп и продолжалось хранение ещё 24 ч.

В качестве контрольных образцов использовали песчано-цементный состав в соотношении 2:1. Условия твердения образцов, как контрольного состава, так и полимерного композита были воздушно-сухими, что наиболее приемлемо для твердения крупногабаритных изделий, полученных с помощью трехмерной печати. Образцы испытывались на гидравлическом прессе «ПСУ 10» с определением прочности на сжатие в возрасте 1, 7, 28 сут.

Обсуждение результатов. По полученным при испытаниях результатам были рассчитаны средние значения без учета результатов наиболее и наименее прочных образцов. Данные эксперимента прочности на сжатие представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты прочности на сжатие испытываемых образцов

Вид	Рсж, (МПа) через 7 сут.	Рсж, (МПа) через 28 сут.
Контрольный образец	16,58	27,07
Полимерный композит	18,12	33,24

Сравнение полученных данных показывает, что полимерный композит на 7-е сутки имеет прочность на сжатие на 8,5% выше, чем контрольный образец, а на 28-е сутки – на 18,5% прочность выше, чем у контрольного образца.

Для наглядности полученные результаты представлены в виде диаграммы (рисунок 1).

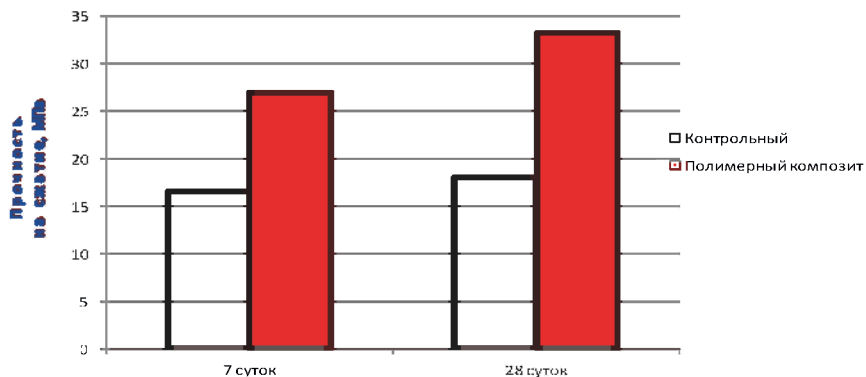


Рисунок 1 - Результаты прочности на сжатие полимерного композита

Выводы. Проведенные исследования показали, что прочность полимерного композита значительно выше, чем обычного песчано-цементного бетона. Процесс твердения полимерных образцов лучше проводить в комбинированных условиях (влажные условия до распалубливания, а сухие – после), но так как трёхмерная печать предполагает изготовление крупногабаритных изделий без опалубки, то и лабораторные испытания лучше проводить в нормальных, сухих условиях. Полученный полимерный композит превосходит контрольный образец песчано-цементного бетона по прочностным характеристикам, что обуславливает возможность использования разработанного композита для аддитивных технологий.

Список литературы

- 1 *Пермяков М.Б., Пермяков А.Ф., Давыдова А.М.* Аддитивные технологии в строительстве //European Research. 2017. №1 (24). С. 14-15
- 2 *Мустафин Н.С., Барышников А.А.* Новейшие технологии в строительстве. 3D-принтер Региональное развитие. 2015 №8 (12). 6 с.
- 3 *Бороздов О.В.* Влияние развития 3D-технологий на экономику строительства / О.В. Бороздов, В.П. Грахов, С.А. Мохначев // Фундаментальные исследования. 2014. №11.
- 4 *Попов К.Н.* Полимерные, полимерцементные бетоны, растворы и мастики. – М.: Высш. шк., 1987. – 72 с.

5 *Д.А. Меркулов*. Композиционные строительные материалы на основе полиэфирной смолы пн-609-21м : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. А. Меркулов. Саранск, 2017.

6 *Берг О.Я.* О пространственном напряженном состоянии бетона при одноосном сжатии / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Н.Г. Хубова. // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. – 1972. №2. С. 813.

7 *Аверко-Антонинович И.Ю.* Методы исследования структуры и свойств полимеров : учеб. пособие / И. Ю. Аверко-Антонинович, Р. Т. Бикмуллин. Казань, 2002. – 604 с.

8 *В.В.* Технология полимербетонов. М.: Стройиздат, 1977. - 236 с

9 *Воробьев В.А., Андрианов Р.А.* Технология полимеров.- М.: Высшая школа, 1971. 360 с

10 СН 525-80 Инструкция по технологии приготовления полимербетонов и изделий из них. Москва. 1980 г.

11 Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». №10, 2017г., г. Белгород