

Министерство образования Республики Беларусь  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(Полоцкий государственный университет)

УДК 691.535:67.08

Рег. № 20200709

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Ю.П. Голубев

« » \_\_\_\_\_ 2020 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«БЕТОННАЯ СМЕСЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ»

(заключительный)

Руководитель НИР

В.А. Хватынец

Новополоцк 2020

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,  
Младший научный сотрудник  
ОСНИ, аспирант

\_\_\_\_\_ В.А. Хватынец  
(ответственный исполнитель,  
математическая обработка,  
введение, основной раздел, заключение)

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ Л.В. Ищенко

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 3D-ПЕЧАТЬ	8
1.1 Развитие 3D-печати	8
1.2 Современные конструкции 3D принтеров	9
1.3 Технические особенности 3D принтеров для строительства	11
2 СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	15
2.1 Технологические характеристики бетонных смесей для 3D печати	15
2.2 Физико-механические характеристики	18
2.3 Составы для строительных 3D принтеров	20
3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	24
3.1 Характеристика используемых материалов	24
3.2 Методики проведения исследования	26
4 ПОДБОР СОСТАВА БЕТОННОЙ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА	28
4.1 Оптимизация сроков схватывания бетонной смеси	28
4.2 Определение прочности на сжатие	29
4.3 Оценка экструзируемости бетонной смеси	31
4.4 Влияние золошлаковых отходов на структуру бетона для строительного 3D принтера	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Плеханова В.А. 3D-технологии и их применение в дизайне / В.А. Плеханова // Территория новых возможностей. Вестник ВГУЭС №2 (29) – 2015. – С. 144-153
2. GuoWei, M.A. State-of-the-art of 3D printing technology of cementitious material – An emerging technique for construction / M.A. GuoWei, WANG Li, J.U. Yang // Science China Press and Springer. – 2017. – С. 1-20.
3. Квартальнов С.В. 3D печать в строительстве / С.В. Квартальнов, В.В. Макулов // European sciences №7(17) – 2017. – С. 10-11
4. Лысыч М.Н. Материалы для 3 печати / М.Н. Лысыч, М.Л. Шабанов, И.В. Левищев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции / гл. ред. В.М. Бугаков; Фед. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Воронеж. гос. лесотехн. акад.». – Воронеж, 2014. – № 2, ч. 2 (7–2). – С. 327–332.
5. Литовкин, С.В. / Использование 3D печати в машиностроении и строительстве / С.В. Литовкин, Ю.Р. Петькова // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов Международной научно-практической конференции, г. Юрга, 11-12 декабрь 2014. – С. 433-435
6. Шерстнёва, Д.И. / Использование компьютерных технологий и 3D-принтера в проектировании ювелирных изделий / Д.И. Шарстнёва, Е.С. Сударушкина // Инновационное развитие лёгкой текстильной промышленности – 2017. – С. 100-102
7. Нагибович О.А. / Применение технологии 3D-печати в медицины / О.А. Нагибович, Д.В. Свистов, П.С. Андреевич, А.В. Коровин, Е.В. Городков // Клиническая патофизиология №3 (23) – 2017. – С. 14-22
8. Лысыч М.Н. / Материалы, доступные в рамках различных технологий 3D печати / М.Н. Лысыч, М.Л. Шабанов, Р.В. Воронцов // Современные наукоёмкие технологии №5 – 2015. – С. 20-25

9. Suvash C.P. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction / C.P. Suvash, D.T. Yi Wei, P. Biranchi, J.T. Ming // Archives of civil and mechanical engineering – 2018. – С. 311-319.

10. Lindemann, H. Development of a shotcrete 3D-printing (SC3DP) technology for additive manufacturing of reinforced freeform concrete structures / H. Lindemann, R. Gerbers, S. Ibrahim, F. Dietrich, E. Herrmann, K. Droder, A. Raatz, H. Kloft // RILEM Bookseries 19. – 2019. – С. 287-298.

11. Le T.T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete / T.T. Le, S.A. Austin, S. Lim, R.A. Buswell, A.G.F. Giib, T. Thorpe // Materials and Structures – 2012. – С. 1221-1232.

12. Герасимов М.Д. Разработка предложений по использованию вариаций насадок (сопел) для строительного 3D принтера / М.Д. Герасимов, П.С. Горшков, Ю.В. Бражник, В.А. Грудина // Вестник БГТУ им. В.Г. Щухова №5 – 2017. – С. 89-97

13. Власов А.А. 3D принтеры в строительстве / А.А. Власов // Наука ЮУрГУ: материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук – 2015. – С. 1634-1636

14. Арзуманов А.А. Использование 3D-принтера в строительстве / А.А. Арзуманов, И.А. Часовских // Воронежский научно-технический вестник №1(27) – 2019. – С. 119-121

15. Муртазин А.Р. Особенности технологии строительства домов с помощью 3D-принтера / А.Р. Мартазин // Образование и наука в современных реалиях – 2017. – С. 228-231

16. Guowei M.A. A critical review of preparation design and workability measurement of concrete material for largescale 3D printing / M.A. Guowei, Li WANG // Frontiers of Structural and Civil Engineering – 2017. – С. 1-19.

17. Soltan D.G. A self-reinforced cementitious composite for building-scale 3D printing / D.G. Soltan, V.C. Li // Cement and Concrete Composites – 2018.

18. Облицов А.Ю. Разработка малогабаритного строительного трёхмерного (3D) принтера / Облицов А.Ю. // Новое слово в науке и практике №21 – 2015. – С. 173-178
19. Мухаметрахимов Р.Х. Аддитивная технология взведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера / Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. // Известия КГАСУ №4(42) – 2017. – С. 350-359
20. Дребезгова М.Ю. Применение композиционного гипсового вяжущего в 3D-технологиях стройиндустрии / Дребезгова М.Ю., Лесовик В.С. // Эффективные строительные композиты – 2015. – С. 151-157
21. Закревская Л.В. 3D-печать в строительстве: состояние и перспективы / Л.В. Закревская, О.Е. Закревский, П.А. Любин, И.В. Козлов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века №7-8. – 2017. – С. 35-38.
22. Цементы. Методы испытаний. Общие положения: ГОСТ 310.1-76.- Взамен ГОСТ 310-60 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 2 с.
23. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема: ГОСТ 310.3-76. - Взамен ГОСТ 310-60 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 13 с.
24. Вяжущие гипсовые. Технические условия: ГОСТ 125-79 / Госстрой ССР. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
25. Топливо твёрдое. Методы определения химического состава золы: ГОСТ 10538 – 87 / Госстрой ССР. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 16 с.
26. Вода для бетонов и растворов. Технические условия: СТБ 1114-98. – Взамен ГОСТ 23732-79; введ. 01.01.99. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1998. – 11 с.
27. Вяжущие гипсовые. Методика исследований: ГОСТ 23789-79 / Госстрой ССР. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2015. – 12 с.

28. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Взамен ГОСТ 10180-90; введ. 01.07.2013. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2013. – 36 с.

29. Дворкин, Л.И., Дворкин, О.Л., Корнейчук, Ю.А. Эффективные цементно-золяные бетоны: монография / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, Ю.А. Корнейчук. – Ровно, 1998. – 195 с.

30. Энтин, З.Б. Золя ТЭС – сырьё для цемента и бетона / З.Б. Энтин, Л.С. Нефедова, Н.В. Стржалковская // Цемент и его применение. - №2. – 2012. – С. 40-46.