

УДК 69.002.5

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

В.А. Хватынец¹, Л.М. Парфёнова

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: ¹ v.hvatynec@psu.by

В статье определяются основные технологические свойства бетонной смеси для строительного 3D-принтера, а также рассматриваются современные методики их определения. Приведены наиболее используемые методики, требуемое оборудование и описана основная их задача.

Ключевые слова: 3D-печать, строительный 3D-принтер, технологические свойства, методики испытаний.

MODERN APPROACHES IN DETERMINING TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CONCRETE MIX FOR 3D PRINTING

V.A. Khvatynets¹, L.M. Parfenova

Polotsk state university, Republic of Belarus

e-mail: ¹ v.hvatynec@psu.by

The article defines the main technological properties of concrete mix for a construction 3D printer, and also discusses modern methods for their determination. The most used techniques, the equipment required, and their main task are described.

Keywords: 3D printing, building 3D printer, technological properties, test methods.

3D-печать в строительстве используется не первый год, и в связи с развитием этой технологии разрабатываются новые составы для печати [1]. Однако, для успешного подбора состава, следует чётко понимать какие характеристики у полученной бетонной смеси являются ключевыми и как их правильно определять.

В публикации [2], авторами отмечается, что основными технологическими характеристиками бетонных смесей для 3D печати являются: подвижность, экструдированность, стабильность формы, сроки схватывания и усадка.

Показатель подвижности должен гарантировать что раствор будет легко перекачиваться в системе транспортировки и легко проходить через экструдер. Мелкодисперсные минеральные добавки могут заполнять пустоты и давать смазывающий эффект для раствора.

Для оценки показателя подвижности существует несколько различных методик [2].

Первая методика согласно ГОСТ [3] определяет подвижность бетона с использованием конуса. Согласно методике, конус заполняют бетонной смесью, штыкуют, и кельмой выравнивают верх. После чего, конус снимают с отформованной бетонной смеси, при этом время поднятия конуса 5-7 секунд. Осадку конуса определяют, ставя форму рядом и приложив к её верху металлическую пластину, доходящую до бетонной смеси.

Второй метод связан с использованием V-образной воронки (рисунок 1). В эксперименте, воронка полностью заполняется бетонной смесью, после чего открывает низ и засекается время. Время, затраченное на полное опустошение воронки, показывает подвижность раствора. Однако, застревание смеси в суженной части, свидетельствует о неудовлетворительном показателе экструдированности и показывает необходимость доработки состава.

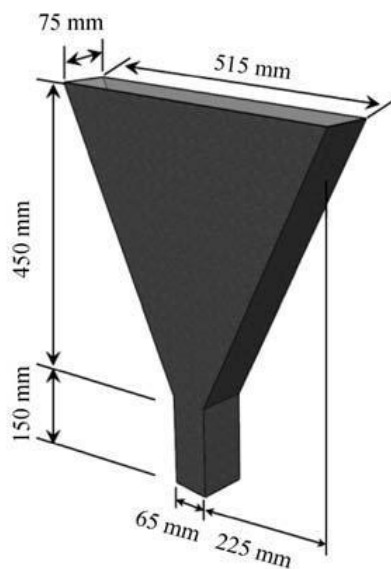


Рисунок 1. – V-образная воронка

Третья методика основана на использовании L-образного приспособления и называется L-box (рисунок 2). Также, как и в предыдущем методе, помимо подвижности, предварительно можно определить и экструдируемость смеси.

При проведении испытания, вертикальная часть заполняется бетонной смесью, после чего поднимается задвижка и бетон переходит из вертикальной части в горизонтальную. После остановки определяют высоту бетонной смеси, оставшейся в вертикальной части (H_1) и высоту в горизонтальной части (H_2). Итоговым значением, определяющим подвижность, является отношение H_1/H_2 .

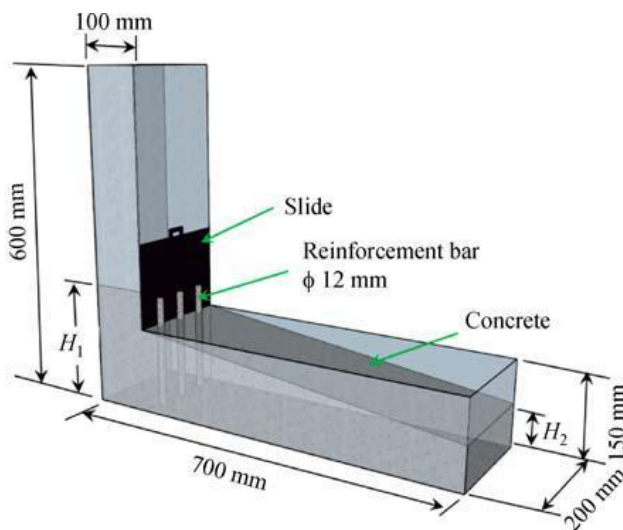


Рисунок 2. – L-box

Экструдируемость показывает способность раствора непрерывно доставляться через трубы и проходить через сопло принтера. Достижение хорошего показателя экструдируемости возможно при использовании заполнителей округлой формы, а также при значительном объеме цемента для заполнения пустот.

Авторы в статье [4] определяют показатель экструдируемости с использованием смоделированного устройства для имитации процесса 3D-печати строительным принтером. Устройство представляет из себя строительный пистолет для выдавливания герметика.

Материал экструдировался через сопло диаметром 8 мм. При этом оценивалось сразу два параметра – возможность использования состава при печати по показателю экструдированности и стабильность формы. Стабильность формы проверялась при последовательной печати десяти слоёв в течении 10 минут. Высота каждого слоя составляла 5 мм, а ширина – 10 мм. Поскольку при проведении испытания все напечатанные, один на один, десять слоёв не подверглись геометрическим деформациям, делается заключение что состав пригоден для печати по показателю стабильности формы. Однако при этом следует учитывать, что при создании слоя с использованием ручного механизма, скорость печати и расстояние между экструдером и напечатанными слоями непостоянны, а от них зависит итоговый результат геометрии слоя.

При оценке показателя экструдированности смотрится непрерывность напечатанного слоя, его постоянная геометрическая форма и отсутствие пустот и разрывов. Напечатанный образец должен быть ровным и одинаковым по всей своей длине, только в этом случае есть основания утверждать, что состав подходит для 3D-печати по показателю экструдированности.

Стабильность формы показывает способность печатного материала сохранять форму после печати. Для напечатанного слоя существует три основных вида деформации: от собственного веса, от веса следующего слоя, от давления экструдера [5]. Даже при сохранении формы при действии собственного веса, слой может потерять стабильность формы при дальнейшей печати, исходя из этого, важными являются все три показателя. Высокий показатель достигается за счёт высокого содержания песка и мелкого заполнителя. На стабильность формы так же влияют размеры сопла и геометрия получаемого слоя.

Для оценки показателя стабильности формы, Али Каземьян и соавторы собрали стенд, состоящий из площадки для печати слоя, рядом устанавливалась камера, снимающая весь процесс печати и фиксирующая конечный результат, и возле места печати располагалась линейка, используемая как шкала для отслеживания деформаций.

Для полной правильности определения стабильности формы, следует знать время, через которое будет наноситься второй слой, т.к. от этого напрямую зависит какую прочность уже успеет набрать первый слой. В эксперименте взяли проект одноэтажного дома, и исходя из его периметра и скорости печати, рассчитали какой интервал времени между нанесением первого и второго слоя, он составил 19 минут. После этого, был напечатан первый слой и через 19 минут второй. Итоговым брался средний результат из пяти экспериментов, который и показывает деформацию слоя от действия выше напечатанной полосы.

Для обеспечения непрерывного процесса печати, требуется что бы материал имел значительный показатель сроков схватывания, при этом, начало твердения не должно увеличиваться. Значение начала схватывания должно быть оптимально подобрано таким образом, чтобы при печати последующего слоя, между ними образовалась связь, однако сразу после этого требуется начало схватывания и набор прочности, для исключения деформаций от нагрузки вышележащих слоёв.

Сроки схватывания определяются согласно ГОСТ [6] при помощи прибора Вика, при этом используется игра с сечением 1 мм². Данный способ является наиболее информативным относительно остальных и поэтому применяется в большинстве случаев для оценки сроков схватывания смесей для 3D-печати. Приготовление смеси допускается в механической мешалке или ручным методом. После чего, смесь погружают в специальную форму и опускают в неё иглу через равные промежутки времени, составляющие 2 минуты. Началом схватывания называется время, прошедшее от момента добавления воды в смесь до того момента, когда игла будет не доходить 2-4 мм до нижней пластины. Конец схватывания – время от начала затворения, до момента, когда игла опускается в цементное тесто не более 1-2 мм.

В итоге проведённого анализа, выявлены основные технологические характеристики бетонной смеси для строительного 3D-принтера. Определены основные методики испытаний,

закрепившиеся в мировой практике, наиболее точно отражающие требуемые параметры. Определена взаимосвязь между рассматриваемым технологическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хватынец, В. А. Современный уровень развития строительных 3D-принтеров / В.А. Хватынец, Л.М. Парфёнова // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. – 28-29 ноября 2019. – Электронный сборник статей II международной научной конференции. – С. 327-331.
2. 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.
3. ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний.
4. Bao Y. Three-dimensional printing multifunctional engineered cementitious composites (ECC) for structural elements / Bao, Y., Xu, M., Soltan, D., Xia, T., Shih, A., Clack, H.L., & Li, V.C. // *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*. – Springer, Cham, 2018. – С. 115-128.
5. Kazemian A. A framework for performance-based testing of fresh mixtures for construction-scale 3D printing / Kazemian, A., Yuan, X., Meier, R., & Khoshnevis, B. // *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*. – Springer, Cham, 2018. – С. 39-52.
6. ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2021

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Одобрено и рекомендовано в качестве электронного издания
Советом инженерно-строительного факультета (протокол № 8 от 27.10.2021 г.)

Редакционная коллегия:

Д. Н. Лазовский (председатель), А. А. Бакатович, Е. Д. Лазовский,
Л. М. Парфенова, Ю. В. Вишнякова, Р. М. Платонова, Е. Г. Кремнева, А. М. Хаткевич

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ

[Электронный ресурс] : электрон. сб. ст. III междунар. науч. конф., Новополоцк, 29–30 апр. 2021 г. / Полоц. гос. ун-т ; Редкол.: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-779-2.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018 г.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379

ISBN 978-985-531-779-2

©Полоцкий государственный университет, 2021

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Технический редактор *И. Н. Чапкевич*.

Компьютерная верстка *А. А. Прадидовой, С. Е. Рясовой*.

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

Подписано к использованию 16.11.2021.

Объем издания: 13 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 736.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>