

УДК 620.179.17

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ СТРУКТУРИРОВАНИИ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Е.С. Боровкова, В.А. Хватынец, Д.Н. Шабанов, Л.М. Парфенова

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Республика Беларусь
e-mail: e.borovkova@psu.by, v.hvatynec@psu.by, d.shabanov@psu.by, i.parfenova@psu.by

Приводятся результаты экспериментальных исследований, процессов происходящих в цементных растворах, применяемых для 3D печати на основных этапах структурообразования. Представлены информационные параметры акустической эмиссии (АЭ) на начальном этапе формирования структуры цементных растворов. Определена связь между временем схватывания цементных образцов и сигналами АЭ.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, цементный раствор, 3D печать, время схватывания

ANALYSIS OF INFORMATION PARAMETERS OF ACOUSTIC EMISSION IN THE STRUCTURING OF CEMENT MORTARS FOR 3D PRINTING

E. Borovkova, V. Khvatynets, D. Shabanov, L. Parfenova

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus

e-mail: e.borovkova@psu.by, v.hvatynec@psu.by, d.shabanov@psu.by, i.parfenova@psu.by

The results of experimental studies taking place in cement mortars used for 3D printing at the main stages of structure formation are presented. The information parameters of acoustic emission (AE) at the initial stage of the formation of the structure of cement mortars are presented. The relationship between the setting time and the degree of hydration of cement samples and AE signals is determined.

Keywords: acoustic emission, cement mortar, 3D printing, setting time.

Введение. 3D печать становится всё более привычным явлением в современном строительстве [1]. При этом, технология постоянно совершенствуется. Создаются новые принтеры, способные создавать большие конструкции за меньшее время [2; 3]. Вместе с модернизацией принтеров, не перестают разрабатывать и новые составы для печати [4].

Все составы должны соответствовать основным предъявляемым характеристикам: прочность, долговечность, экструдированность, сроки схватывания, подвижность и т.д. Одним из основных параметров является окно печати, которое находится как разность окончания и начала схватывания.

Целью эксперимента, является определение возможной зависимости показателя сроков схватывания и структурирования бетона.

Поскольку свойства бетона, его поведение определяются его структурой, то при каждой обнаруженной в ней перестройки необходимо искать изменение её динамики и, наоборот, за каждым замеченным изменением динамики следует искать преобразование структуры [5]. Одним из перспективных методов фиксации структурных изменений в материале является метод акустической эмиссии. Данный метод, как наиболее чувствительный к внезапной перестройке в структуре материала, представляет собой явление возникновения волн напряжений, вызванных ростом дефектов и фазовых превращений. Поэтому метод акустической

эмиссии позволяет регистрировать внутреннюю структурную активность бетона в процессе его твердения [6].

Исследовательская часть. В эксперименте основным вяжущим компонентом использовался портландцемент ОАО «Белорусский цементный завод» СЕМ I 42,5Н. Для сокращения сроков схватывания применялся гипс строительный «Тайфун Мастер» №35 производства ООО «Тайфун», удовлетворяющий требованиям ГОСТ 125-79 [7]. В качестве химической добавки использовалась комплексная добавка суперпластификатор с ускорителем твердения.

Для определения сроков схватывания использовался прибор Вика, согласно ГОСТ 310.3-76 [8].

Состав образцов и результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Составы образцов и результаты эксперимента

Номер образца	Цемент, кг/м ³	Вода, л/м ³	Гипс, кг/м ³	Добавка, % от массы вяжущего	Сроки схватывания, мин		Окно печати, мин
					Начало	Конец	
1	1549	596	179	1	10	37	27
2	1549	536	179	1	7,5	20	12,5

Далее эти составы применялись для исследования возможности отслеживания процесса структурирования при помощи акустической эмиссии.

Твердение образцов проходило в естественных условиях (температура окружающей среды +18 °С, относительная влажность 55 %). Для регистрации акустических сигналов использовался пьезодатчик, соединенный с осциллографом. На рисунках 1, 2 представлены графики зависимости информационных параметров АЭ на первом часу после приготовления цементной смеси. Зависимость активности и амплитуды для двух образцов одинакового состава изменяются после 30 минут от начала исследований. С этого момента происходит уменьшение этих параметров, что свидетельствует о начале схватывания материала.

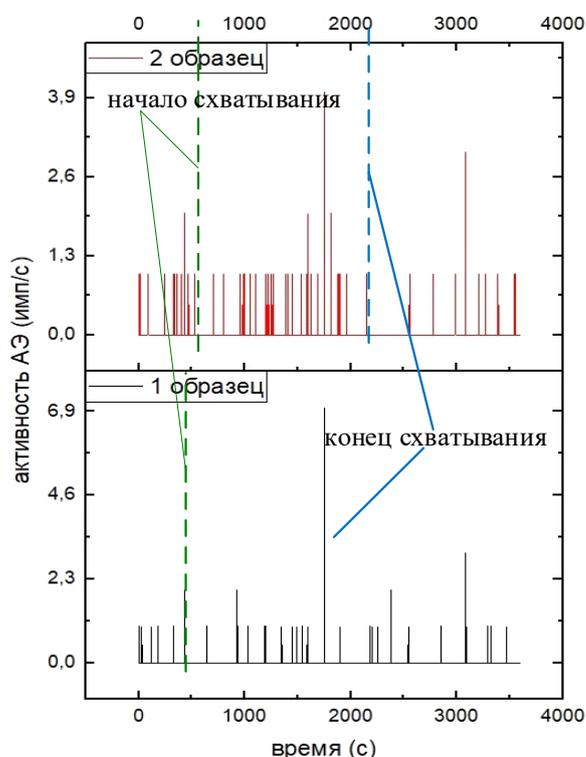
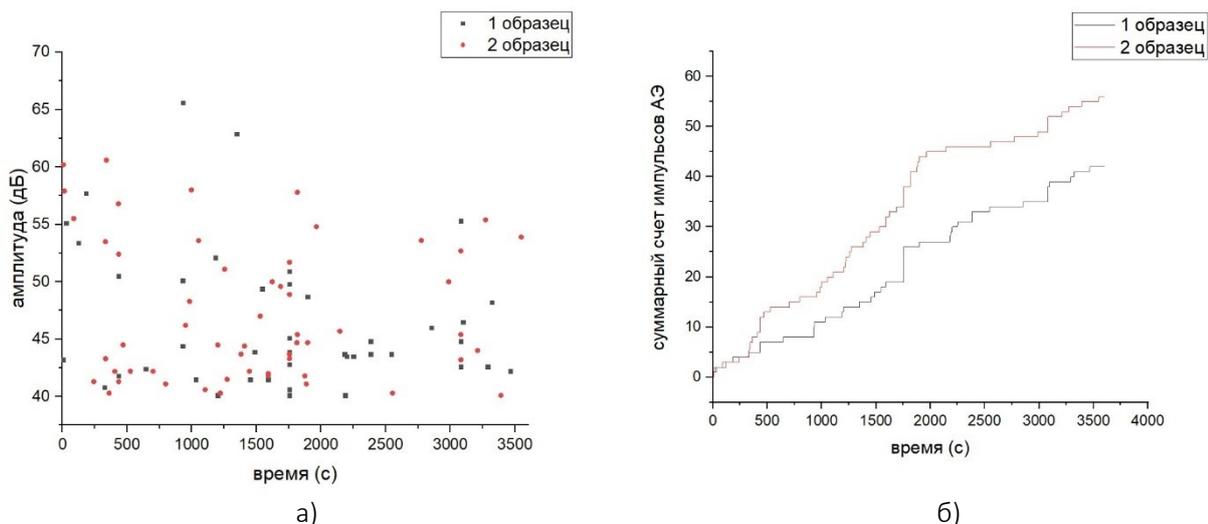


Рисунок 1. – Зависимость активности АЭ от времени на первом часу после приготовления цементной смеси



а) амплитуды; б) суммарного счета импульса АЭ

Рисунок 2. – Зависимость информационных параметров АЭ от времени на первом часу после приготовления цементной смеси:

Анализируя рисунок 2, а), выявлено уменьшение амплитуды сигналов АЭ до 45 дБ в конце схватывания образцов, что даёт возможность в будущем оценивать завершённость схватывания только по показаниям АЭ.

На рисунке 2, б) продемонстрировано изменение суммарного счета импульса во времени. В момент начала схватывания для образца 1 – 600 секунд и 450 секунд для образца 2, суммарный импульс равен и составляет приблизительно 7.5. В момент окончания схватывания 2220 и 1200 секунд, соответственно, суммарный счет импульсов АЭ имеет значение 26. Полученные данные, подтверждают возможность оценки сроков схватывания методом акустической эмиссии.

Выводы. Таким образом, с помощью регистрации данных акустической эмиссии, определена связь между этими сигналами и процессом схватывания цементного раствора. К концу схватывания цементной смеси активность АЭ уменьшается, амплитуда сигналов АЭ уменьшается до 45 дБ. Опираясь на приведенные исследования, возникает возможность и ведутся дальнейшие работы в области определения этапов формирования структуры цементных смесей при помощи метода акустической эмиссии в режиме реального времени, а также влияния различных добавок в составе на эволюцию напряженно-деформационного состояния на стадии твердения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хватынец, В.А. Современный уровень развития строительных 3D-принтеров / В.А. Хватынец, Л.М. Парфёнова // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. – Новополюцк, 28-29 ноября 2019. – Электронный сборник статей II международной научной конференции. – С. 327-331.
2. Хватынец, В.А. 3D-принтеры используемые в строительной отрасли / В.А. Хватынец, Н.В. Рацинский // Научная платформа: дискуссия и полемика. – Кемерово, 13 сентября 2021. – Сборник материалов Международной научно-практической конференции. - С. 23-25.
3. Хватынец, В.А. Современные 3D-принтеры и их возможности / В.А. Хватынец, Н.В. Рацинский // Научная платформа: дискуссия и полемика. – Кемерово, 13 сентября 2021. – Сборник материалов Международной научно-практической конференции. - С. 25-28.

4. Хватынец В.А. Современные подходы в определении технологических свойств бетонной смеси для 3D-печати / В.А. Хватынец, Л.М. Парфёнова // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. – Новополец, 29-30 апреля 2021. – Электронный сборник статей. – С. 216-219.
5. Вернигорова, В.Н. Химия композиционных материалов на неорганических вяжущих: моногр. / В.Н. Вернигорова, К.Н. Махамбетова, С.М. Саденко. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 163 с.
6. Sokratis N. ILIOPOULOS, Continuous AE monitoring of fresh concrete / Sokratis N. ILIOPOULOS, Evin Dzaye, Yassir EL KHATTABI, Dimitrios G. AGGELIS // JSNDI & IIIAE 2016, Progress in Acoustic Emission XVIII, 2016. – P. 293–298.
7. Вяжущие гипсовые. Технические условия: ГОСТ 125-79 / Госстрой ССР. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
8. 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.
9. Шабанов Д.Н., Ягубкин А.Н., Боровкова Е.С. Мониторинг уровней динамики структурообразования цементного камня методом акустической эмиссии и прогнозирование ресурса на его этапах твердения, Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации [Электронный ресурс]: электронный сборник статей II международной научной конференции, Полоц. гос. ун-т, 2020. - С. 272 – 279.
10. Бехер, С. А. Основы неразрушающего контроля методом акустической эмиссии : учеб. пособие / С. А. Бехер, А. Л. Бобров. — Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2013. — 145 с.
11. Шабанов Д.Н., Вабищевич С.А., Ягубкин А.Н., Боровкова Е.С. Параметры сигналов акустической эмиссии и их применение при мониторинге состояния структуры бетона / Д.Н. Шабанов [и др.] // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2019. – № 8. – С. 74–78.
12. Бардаков, В.В., Сагайдак, А.И. Прогнозирование прочности бетона в процессе его твердения при помощи метода акустической эмиссии / В.В. Бардаков, А.И. Сагайдак. // РАН: Дефектоскопия №6, 2017. – С.40 - 43.
13. Полак, А.Ф. Описание геометрической структуры дисперсных систем / А.Ф. Полак, В.В. Бабков, И.Ш. Фазулин, Р.Г. Хабибуллин // Совершенствование промышленного и гражданского строительства, ч. 2 Строительные материалы и конструкции, 1976. – С.5 - 20.
14. Koen VAN DEN ABEELE, Geert DE SCHUTTER, Martine WEVERS. Non Destructive Online Evaluation of Concrete Hardening Using Acoustic Emission and Harmonic Wave Spectroscopy, 2006. – P. 1—9.
15. Rustem Gul, Ramazan Demirboga, Tekin Guvercin. Compressive strength and ultrasound pulse velocity of mineral admixture mortars. — Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, v. 13, 2006. – P. 18–24.
16. Guang Ye, K. van Breugel, A.L.A. Fraaij. Experimental study on ultrasonic pulse velocity evaluation of the microstructure of cementitious material at early age. — HERON, v. 46, 2001. - P. 161—167.