

- construction of structural concrete reinforced with FRP Bars. ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich. 2015. 83 p.
5. CAN/CSA-S6-02. Design and construction of building components with fibrereinforced polymers, CAN/CSA S806-02. Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada, 2002. 177 p.
 6. CNR-DT 203/2006. Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione e il Controllo di Strutture di Calcestruzzo armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato. Rome: CNR, 2007. 42 p. (in Italian)
 7. Fib Bulletin #40. FRP reinforcement in RC structures. 147 p.
 8. Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials // Japan Society of Civil Engineers (JSCE). Concrete Engineering Series No. 23. 1997. 325 p.
 9. Afifi M.Z., Mohamed H., Benmokrane B. Axial capacity of circular concrete columns reinforced with gfrp bars and spiral // Journal of Composites for Construction. 2014. Vol. 18 (1). Режим доступа: http://www.researchgate.net/publication/260081219_Axial_Capacity_of_Circular_Concrete_Columns_Reinforced_with_GFRP_Bars_and_Spirals. Дата обращения: 15.04.2016.
 10. Исследование прочности и деформативности бетонных сжатых элементов, армированных стальными и композитными стержнями / И.А. Русаков, О.О. Русакова, К.Л. Кудяков [и др.] // Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Братск : ГОУ ВПО «БРГУ», 2014. – С. 35–37.
 11. Невский А.В., Балдин И.В. Прочность и деформативность сжатых бетонных элементов с продольным армированием стальными, стеклопластиковыми и углепластиковыми стержнями при статическом нагружении / Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014). Материалы Международной научной конференции молодых ученых [Электрон. текстовые дан.]. Секция 2. Инновационные технологии в производстве строительных материалов. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – С. 312-321.
 12. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 . Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склорівину. Введено в дію 28.09.2012.
 13. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Введено в дію 01.07.2011.
 14. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Введено в дію 01.06.2011.
 15. ГОСТ 32492-2013 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик. Введен 01.01.2015.

УДК 666.972.16

Шептун С. Ю.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Введение

Введение минеральных наполнителей в качестве самостоятельной составляющей растворной смеси является одним из существенных резервов повышения экономичности сухих смесей по стоимости и расходу цемента, и улучшения их конструктивно-технических свойств[1-4].

Для понимания роли микронаполнителей в структурообразовании цементного камня необходимо провести рентгенофа-

зовый анализ, дериватографические, электронномикроскопические исследования, ИК-спектроскопию и др.

Методика проведения исследования

В основе рентгенографического анализа лежит явление дифракции рентгеновских лучей кристаллами. Известно, что веществу в любом агрегатном состоянии свойственна та или иная степень упорядоченности. Наибольшей упорядоченностью обладают твердые кристаллические тела:

они характеризуются периодическим повторением в пространстве некоторой элементарной ячейки, узлами которой являются атомы, ионы или молекулы. Расстояния между узлами в элементарной ячейке (межатомные расстояния) составляют несколько ангстрем, т.е. имеют тот же порядок, что и длины волн рентгеновских лучей. Благодаря этому замечательному совпадению, при взаимодействии рентгеновских лучей с твердым телом возникает интерференция, а поскольку в кристалле атомы располагаются регулярно, возникает четкая дифракционная картина. Таким образом, кристаллы могут служить дифракционной решеткой для рентгеновских лучей. По виду дифракционной картины можно дать характеристику кристалла[5].

Основой рентгеновского анализа является уравнение Вульфа-Брега [6]:

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (1)$$

где n – целое число (1,2,3 и т.д.), называемое порядком спектра или порядком отражения; λ – длина волны рентгеновского излучения; d – расстояние между плоскостями; θ – угол между направлением пучка рентгеновских лучей и плоскости, которая отбивает лучи.

Отраженные от образца рентгеновские лучи, поддаются регистрации только в том случае если будет соблюдаться уравнение (1). Лучи, отраженные в других направлениях и под другими углами, не удовлетворяющие уравнению Вульфа-Брегга, взаимно погашаются.

Для каждой линии на рентгенограмме можно определить отношение межплоскостного расстояния отбивающей серии к порядку отбивания:

$$\frac{d}{n} = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \quad (2)$$

Совокупность значений d/n для всех линий и их относительная интенсивность является конечным результатом, который получают непосредственно с рентгенограммы.

Цели и задачи исследования

Целью проведения рентгенофазового анализа было определение природы кри-

сталлических новообразований, содержащихся в затвердевшем цементном камне в возрасте 28-ми суток твердения.

Основная часть исследования

При исследовании образцов, составы которых представлены в таблице 1. был применен качественный рентгенофазовый анализ. С помощью этого анализа определялась природа кристаллических новообразований, содержащихся в исследуемом материале. Анализ основывается на том, что любое кристаллическое соединение дает специфическую рентгенограмму в виде линий, интенсивности которых являются уникальными для каждого элемента.

Таблица 1 – Предлагаемые составы

Наименование материала	Содержание компонентов					
	Кон. 1	Кон. 2	1	2	3	4
Цемент Пц-500, мас. ч.	33,0					
Песок, мас. ч.	65,0					
Добавки	2					
Шлам 25 лет, в %, от цемента	-	15	15	15	15	15
Керамзит, в %, от цемента	-	-	-	-	5	10
Шлам ТЭЦ-5, в %, от цемента	-	-	5	10	-	-
Вода, В/Ц	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6

Рентгенофазовый анализ выполнен на рентгеновском дифрактометре ДРОН 1,5. Использовалось фильтрованное (Ni фильтр) $K_{1,2}$ – излучение медного анода, $U_{уск}=42$ kV, $I_A=20$ mA. Скорость движения диаграммной ленты потенциометра КСП-4 составляла 600 мм/час.

В ходе проведения качественного рентгенофазового анализа проводилось сравнение экспериментально определенных значений межплоскостных расстояний (d) и относительных интенсивностей (I) линий с эталонными рентгенограммами [7,8]. Для анализа выбирали линию с

наибольшей амплитудой значений (d) на рентгенограмме образца. По эталонным рентгенограммам выбирали соединения, имеющее интенсивную линию с похожим значением (d). Затем выбирали еще 2-3 линии с меньшей интенсивностью и если они совпадали с эталонной рентгенограммой, сравнивали оставшиеся линии. В случае если все линии эталонной рентгенограммы и испытуемого образца совпадают с погрешностью не более 1%, первое соединение считалось обнаруженным. Из оставшихся на рентгенограмме линий снова выбирали наиболее интенсивную, и всю операцию повторяли. Анализ продолжался до тех пор, пока все линии рентгенограммы не были отнесены к определенным соединениям.

На рентгенограмме контрольного образца № 1 (рис. 1, а) наблюдаются линии дифракционных отражений клинкерных минералов – алита $3CaOSiO_2$ и белита $\beta-2CaOSiO_2$ (2,78; 2,74; 2,61; 2,18; 1,954; 1,759Å). Присутствуют линии кварца (4,25; 3,35; 1,824Å), продукта гидратации портландита $Ca(OH)_2$ (4,92; 2,63Å) и продукта карбонизации кальцита $CaCO_3$ (3,86; 3,04; 2,08Å). В малоугловой области наблюдается небольшие пики гидросиликатов кальция типа $C-S-H$ (I) – 12,5Å, $C-S-H$ (II) – 9,8Å и ксонотлита $6CaO \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$ (7,06Å). Наблюдаются не ярко выраженные следы $CaO \cdot Al_2O_3$ (5,54Å) и некоита (некойта) $3CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 8H_2O$ (9,03Å).

На рентгенограмме контрольного образца со шламом № 2 (рис. 1, б) наблюдаются линии дифракционных отражений клинкерных минералов – алита $3CaOSiO_2$ и белита $\beta-2CaOSiO_2$ (2,78; 2,74; 2,61; 2,18; 1,954; 1,759Å), которые расположены очень близко и трудноразделимы. Кроме того, присутствуют линии кварца (4,25; 3,35; 1,824Å), продукта гидратации – портландита $Ca(OH)_2$ (4,92; 2,63Å) и продуктов карбонизации – кальцита $CaCO_3$ (3,86; 3,04; 2,08Å) ватерита (3,58; 3,30Å). В малоугловой области наблюдается небольшие, но четкие пики гидросиликатов кальция типа тоберморита $5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$ (11,3Å) и ксонотлита $6CaO \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$ (7,06Å), самые сильные линии дифракционного отражения которых (3,07Å) накладывается на очень интенсивную линию кальцита (3,04Å). На рентгенограмме также

наблюдаются следы $CaOAl_2O_3$ (5,54; 4,67Å) и $CaO \cdot 2Al_2O_3$ (3,50Å).

На рентгенограмме образца № 1 (рис 1, в) наблюдаются линии дифракционных отражений клинкерных минералов – алита $3CaOSiO_2$ и белита $\beta-2CaOSiO_2$ (2,78; 2,74; 2,61; 2,18; 1,954; 1,759Å). Так же присутствуют линии кварца (4,25; 3,35; 1,824Å), продукта гидратации – портландита $Ca(OH)_2$ (4,92; 2,63Å) и продуктов карбонизации – кальцита $CaCO_3$ (3,86; 3,04; 2,08Å), и достаточно сильные линии ватерита (3,58; 3,30Å). В малоугловой области наблюдаются слабые пики гидросиликата кальция – ксонотлита $6CaO \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$ (7,06Å). На рентгенограмме также наблюдаются очень слабые следы $CaOAl_2O_3$ (5,54Å) и $2CaOAl_2O_3 \cdot 6H_2O$ (8,80Å).

На рентгенограмме образца № 2 (рис 2, а) наблюдаются линии дифракционных отражений клинкерных минералов – алита $3CaOSiO_2$ и белита $\beta-2CaOSiO_2$ (2,78; 2,74; 2,61; 2,18; 1,954; 1,759Å). На рентгенограмме наблюдаются очень сильные линии кварца (4,25; 3,35; 1,824Å), продуктов гидратации портландита $Ca(OH)_2$ (4,92; 2,63Å) и продуктов карбонизации – кальцита $CaCO_3$ (3,86; 3,04; 2,08Å) и достаточно сильные продукты гидратации ватерита (3,58; 3,30Å). В малоугловой области наблюдаются слабые пики гидросиликатов кальция типа тоберморита $5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$ (11,3Å) и $C-S-H$ (I) – 12,5Å и $C-S-H$ (II) – 9,8Å. Кроме того, на рентгенограмме также наблюдаются следы $CaOAl_2O_3$ (4,67Å), $CaO \cdot 2Al_2O_3$ (3,50Å) и $2CaOAl_2O_3 \cdot 6H_2O$ (8,80Å).

На рентгенограмме образца № 3 (рис 2, б) наблюдаются линии дифракционных отражений клинкерных минералов – алита $3CaOSiO_2$ и белита $\beta-2CaOSiO_2$ (2,78; 2,74; 2,61; 2,18; 1,954; 1,759Å). Присутствуют очень сильные линии кварца (4,25; 3,35; 1,824Å), продукта гидратации портландита $Ca(OH)_2$ (4,92; 2,63Å) и продуктов карбонизации кальцита $CaCO_3$ (3,86; 3,04; 2,08Å). Также наблюдаются достаточно сильные линии ватерита (3,58; 3,30Å). В малоугловой области наблюдаются слабые пики гидросиликатов кальция типа $C-S-H$ (I) – 12,5Å и $C-S-H$ (II) – 9,8Å. На рентгенограмме наблюдаются следы $2CaOAl_2O_3 \cdot 6H_2O$ (8,80Å).

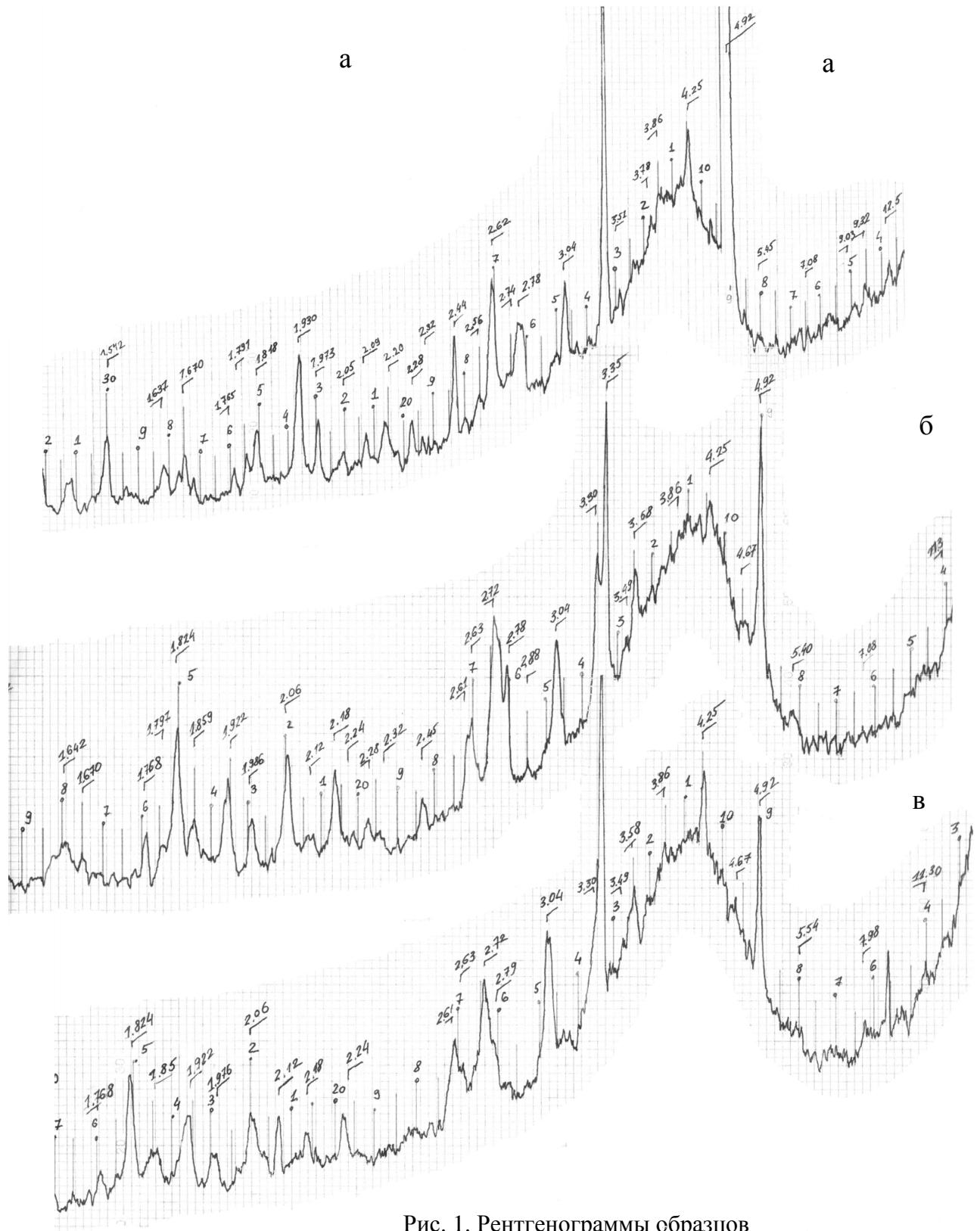


Рис. 1. Рентгенограммы образцов

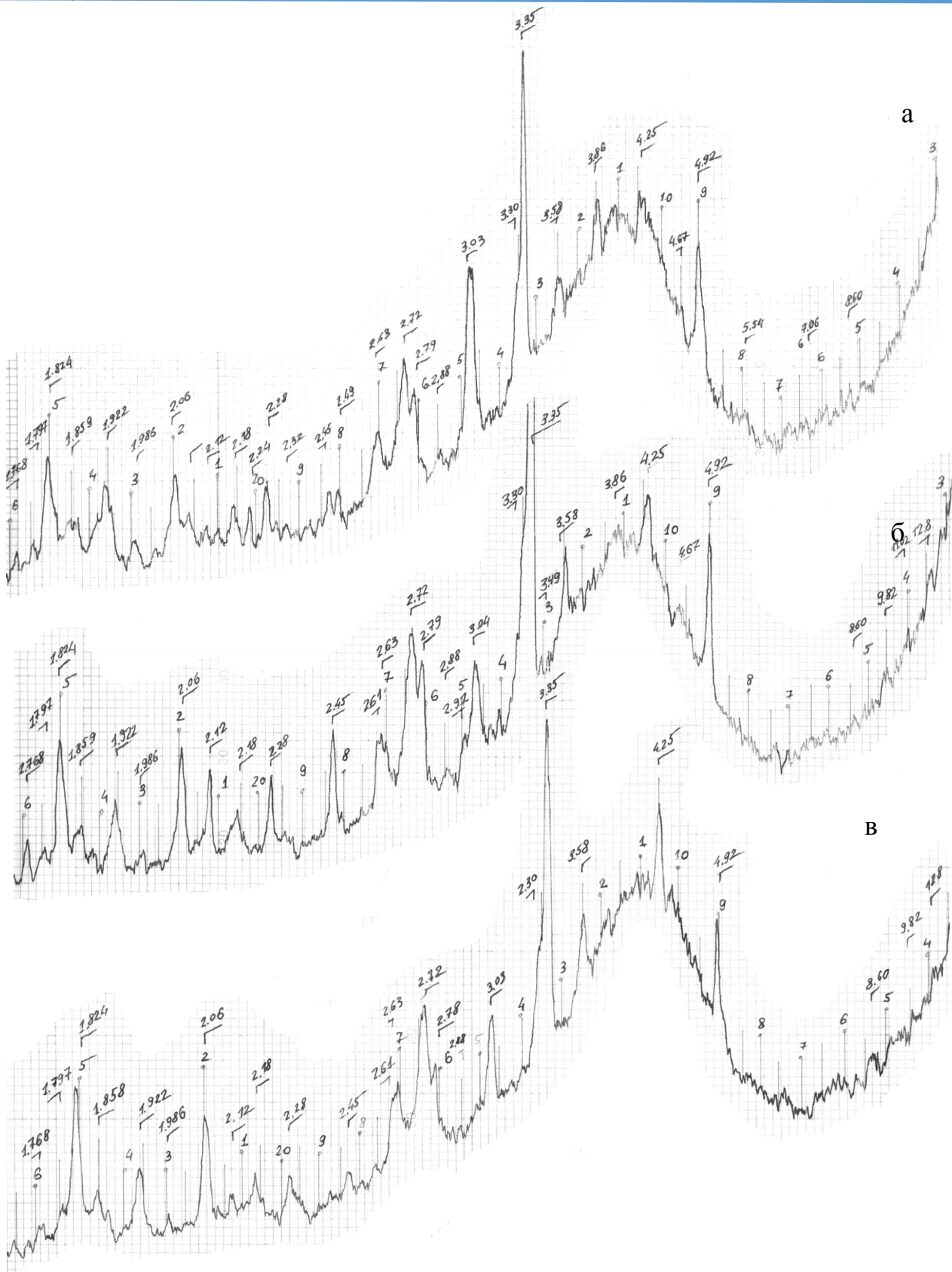


Рис. 2. Рентгенограммы образцов

На рентгенограмме образца № 4 (рис 2, в) наблюдаются линии дифракционных

отражений клинкерных минералов – алита 3CaOSiO_2 и белита $\beta\text{-}2\text{CaOSiO}_2$ (2,78;

2,74; 2,61; 2,18; 1,954; 1,759Å). На рентгенограмме так же видны сильные линии кварца (4,25; 3,35; 1,824Å), очень сильные линии продукта гидратации портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (4,92; 2,63Å) и сильные линии продуктов карбонизации кальцита CaCO_3 (3,86; 3,04; 2,08Å). На рентгенограмме хорошо просматриваются линии, соответствующие линиям ватерита (3,58; 3,30Å). В малоугловой области наблюдаются слабые пики гидросиликатов кальция типа тоберморита $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (11,3Å) и ксонотлита $6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (7,06Å). Кроме того, на рентгенограмме также наблюдаются следы $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (5,54; 4,67Å) и $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (3,50Å).

Выводы

Рентгенограммы образцов цементного камня с добавлением микронаполнителей отличаются от рентгенограммы контрольного образца величиной интенсивности отражений $\text{Ca}(\text{OH})_2$, гидросиликатов кальция и непрореагировавших клинкерных минералов. Так, интенсивность отражений $\text{Ca}(\text{OH})_2$ имеет тенденцию к увеличению пропорционально к количеству микро-наполнителей, содержащихся в образцах.

Интенсивность отражения гидросиликатов на рентгенограммах всех образцов имеет не ярковыраженный характер и ме-

няется в умеренных пределах. Интенсивность отражения непрореагировавшего алита на рентгенограмме контрольного образца № 1 несколько выше, чем на рентгенограммах остальных образцов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Венюа М. Цементы и бетоны в строительстве / М.: Стройиздат, 1980. — 415 с.
2. Урецкая Е.А., Батяновский Э.И. Сухие строительные смеси: материалы и технологии: научн.-практ. пособие / Минск: НПО «Стринко», 2001. — 208 с.
3. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей: учеб. пособие / М.: Изд-во АВС, 2003. — 96 с.
4. Карапузов Е.К., Лутц Г., Герольд Х. и др. Сухие строительные смеси / К.: Техника, 2000. — 226 с.
5. Бум Т.С., Виноградов Б.Н. и др. Современные методы исследования строительных материалов / М.: Госстройиздат, 1962. — 240 с.
6. Горшков В. С. Тимашев В. В. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / М.: Высшая школа, 1981. — 336 с.
7. Миркин Л. Н. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / М.: Госиздат физико-математической литературы, 1981. — 864 с.
8. Гегель Ф. Л. Физико-химические основы применения добавок к минеральным вяжущим / Ташкент, 1975. — 200 с.

УДК 691:692.4

Першина Л.О., Макаренко О.В.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

АНАЛІЗ І КРИТЕРІЙ ВИБОРУ ЧЕРЕПИЦІ ДЛЯ ПОКРІВЕЛЬ

Вступ. Покрівля є складовою частиною даху, її верхньою оболонкою, яка захищає будівлю від механічних впливів і атмосферних опадів [1, 2]. Правильний вибір покрівельної системи для скатного даху має важливе значення, оскільки від її типу і якості залежить довговічність і збереження всієї споруди, її архітектурна виразність і естетичність, а також комфортність житла [3, 4]. Вибір матеріалу для покрівельного покриття залежить від різних

факторів: збору навантажень на покрівлю, архітектурного рішення покрівлі, умов і терміну її експлуатації [3]. Покрівельний матеріал має відповідати кліматичним особливостям даного регіону, навантаженням на покрівлю, нахилу її скатів, типу споруди та її архітектурному рішення, умовам експлуатації покрівлі, характеризуватися необхідними властивостями (міцністю, водонепроникністю, морозостійкістю, атмосферостійкістю, корозійною