

3. Priyanto, B. E., Codina, H., Rene, S., Sorensen, T. B., Mogensen, P. (2007). Initial Performance Evaluation of DFT-Spread OFDM Based SC-FDMA for UTRA LTE Uplink. IEEE Vehicular Technology Conference, Dublin, 3175–3179. doi: 10.1109/vetecs.2007.650
4. Borko, F., Syed, A. A. (2009). Long Term Evolution: 3GPP LTE Radio And Cellular Technology. Auerbach Publications, Boca Raton USA, 488.
5. Moray, R. (2009). LTE and the Evolution to 4GWireless: Design and Measurement Challenges. John Wiley and Sons Press, New York, 648.
6. Fatih, M. B., Juntti, M. (2013). A Multirate Equalizer for Inter-Symbol Interference Channels Based on Successive Interference Cancellation. 2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 702–706. doi: 10.1109/pimrc.2013.6666374
7. Goodman, D. J., Myung, H. G., Lim, J. (2006). Peak-to-Average Power Ratio of Single Carrier FDMA Signals with Pulse Shaping. 2006 IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1–5.
8. Christoph, C. (2012). An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications. John Wiley and Sons Press, New York, 352.
9. LTE An End-to-End Description of Network Architecture and Elements (2009). 3GPP LTE Encyclopedia.
10. Robertson, P., Kaiser, S. (1999). The effects of Doppler spreads in OFDM(A) mobile radio systems. Gateway to 21st Century Communications Village. VTC 1999-Fall. IEEE VTS 50th Vehicular Technology Conference, 1, 329–333. doi: 10.1109/vetecf.1999.797150
11. Bahai, A., Cui, S., Goldsmith, A. J. (2004). Energy-efficiency of MIMO and Cooperative MIMO in Sensor Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 22 (6), 1089–1098. doi: 10.1109/jsac.2004.830916
12. 3GPP TS 23.002: Network Architecture (2007). 3GPP SP- 63 Realease-12, Fukuoka, Japan.
13. Goodman, D., Myung, H. G., Junsung, L. (2006). Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission. IEEE Vehicular Technology Magazine, 1 (3), 30–38. doi: 10.1109/mvt.2006.307304
14. Falconer, D., Falconer, D., Ariyavisitakul, S. L., Benyamin-Seeyar, A., Eidson, B. (2002). Frequency Domain Equalization for Single-Carrier Broadband Wireless Systems. IEEE Communications Magazine, 40 (4), 58–56. doi: 10.1109/35.995852
15. Amini, P., Kempter, R., Farhang-Boroujeny, B. (2006). A comparison of alternative filterbank multicarrier methods in cognitive radio systems. Proceedings of SDRTC' 2006.
16. Chen, D., Qu, D., Jiang, T. (2010). Novel prototype filter design for FBMC based cognitive radio systems through direct optimization of filter coefficients. 2010 International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 1–6. doi: 10.1109/wcsp.2010.5633530
17. Arya, K., Vijaykumar, C. (2008). Elimination of Cyclic Prefix of OFDM systems using filter bank based multicarrier systems. TENCON 2008 - 2008 IEEE Region 10 Conference, 1–5. doi: 10.1109/tencon.2008.4766394
18. Vangelista, L., Laurenti, N. (2001). Efficient implementations and alternative architectures for OFDM-OQAM systems. IEEE Transactions on Communications, 49 (4), 664–675. doi: 10.1109/26.917773
19. Siohan, P., Siclet, C., Lacaille, N. (2002). Analysis and design of OFDM/OQAM systems based on filterbank theory. IEEE Transactions on Signal Processing, 50 (5), 1170–1183. doi: 10.1109/78.995073
20. Ihalainen, T., Viholainen, A., Stitz, T. H., Renfors, M. (2010). Generation of Filter Bank-Based Multicarrier Waveform Using Partial Synthesis and Time Domain Interpolation. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 57 (7), 1767–1778. doi: 10.1109/tcsi.2009.2034237
21. Vaidyanathan, P. P. (1993). Multirate Systems and Filter Banks. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Inc., 911.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук професор Лошаков В. А.
Дата надходження рукопису 17.11.2015*

Ali Abdourahmane, Postgraduate Student, Department of Telecommunication Systems and networks, Kharkiv National University of Radio Electronics, Lenina ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166
E-mail: alzabrmaowy@gmail.com

УДК 666.91

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.56362

ИССЛЕДОВАНИЯ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ИЗ ФОСФОГИПСА И СУХАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ СМЕСЬ НА ЕГО ОСНОВЕ

© И. Э. Казимагомедов, О. И. Дехтярюк

Исследовано влияния примесей в фосфогипсе на процесс гидратации гипсового вяжущего, полученного методом интенсивной дегидратации. Определен фазовый состав фосфогипса до и после обжига с помощью РФА, ИК-спектроскопии и кристаллооптического анализа. Сухая строительная смесь для штукатурки внутренних стен зданий и сооружений на основе $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ полученного из фосфогипса. Приведены ее преимущества и физико-технические характеристики
Ключевые слова: фосфогипс, гипсовое вяжущее, примеси, фтор, фосфор, гидратация, сухая строительная смесь, штукатурка стен

Gypsum binder was received by the method of intensive dehydration and the influence of admixture in phosphogypsum on the hydration process of gypsum binder was researched. Phase composition of phosphogypsum before and after calcination, using XFA, IR-spectroscopy and crystal optic analysis was defined. Dry mortar for plaster of interior walls of buildings on the basis of $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ obtained from phosphogypsum is investigated. Its advantages and physical and chemical characteristics are shown

Keywords: phosphogypsum, gypsum binder, impurities, fluorine, phosphorus, hydration, dry mortar, plaster of walls

1. Введение

Основным сырьем для гипсовых штукатурных смесей является гипсовое вяжущее вещество (полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), которое получают различным путем обжига природного гипсового камня (двуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) или гипсосодержащих отходов промышленности. w

В настоящее время на Украине, как и в других странах, остро стоит вопрос переработки техногенных отходов, в частности фосфогипса. Это отход химической промышленности, образующийся при производстве минеральных удобрений (фосфорной кислоты) в результате переработки апатитовых и фосфорных пород и хранящийся в отвалах на открытом воздухе. В своем составе он содержит до 98 % двуводного гипса, в соответствии с ДСТУ данное сырье относится к первому сорту для получения гипсового вяжущего. В своем составе фосфогипс содержит до 98 % двуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), поэтому он может служить сырьем для производства гипсовых материалов и изделий.

2. Литературный обзор

Таковыми учеными Болотских Н. С., Бабушкин В. И., Винниченко В. И., Казимагомедов И. Э., Кондрашенко Е. В., Мамедов А. А. в ХНУСА была разработана установка для обжига фосфогипса во взвешенном состоянии [1]. В результате обжига получается гипсовое вяжущее, которое можно использовать для производства сухих строительных смесей. Научный интерес представляет исследования фазового состава полученного вяжущего. А так же исследование физико-механических характеристик сухой строительной смеси, на основе гипсового вяжущего из фосфогипса с применением керамзитовой пыли и полипропиленовой фибры.

3. Цель и задачи

Определить какое влияние оказывают примеси фтора и фосфора в фосфогипсе на процесс дегидратации (термообработки при $t=300\text{ }^\circ\text{C}$) и свойства полученного гипсового вяжущего. А так же на основе полученного гипсового вяжущего марки Г-4 – Г-5 из фосфогипса методом интенсивной дегидратации, разработать состав сухой строительной смеси для штукатурки стен внутри помещений.

4. Исследования

Примеси фтора и фосфора имеют такие особенности [2]:

– фтор не растворим в воде и является самым сильным окислителем $2\text{F}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HF} + \text{O}_2$;

– фосфор быстро окисляется на воздухе, а при нагревании воспламеняется и сгорает, выделяя при этом большое количество теплоты, а так же не растворим в воде $\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{C} = 2\text{P} + 5\text{CO}$.

Эти качества отрицательно влияют на процесс дегидратации фосфогипса, поэтому обычные методы его переработки включают в себя промывку водой и нейтрализацию от примесей [3, 4]. Учитывая то, что паспорт качества исследуемого фосфо-

гипса показывает, что содержание в нем этих примесей менее 2 %, а так же то, что он отвальный (т. е. он долгое время находится на воздухе и естественным путем происходила его промывка дождевой водой) дает нам основание считать возможным получение гипсового вяжущего без предварительной подготовки.

С помощью методов ИК-спектроскопии и кристаллооптического анализа исследован фазовый состав:

1) исходного сырья фосфогипса



2) фосфогипса после обжига при $t=300\text{ }^\circ\text{C}$;

3) образца после гидратации. Микрофотографии испытуемых образцов представлены на рис 1–3.

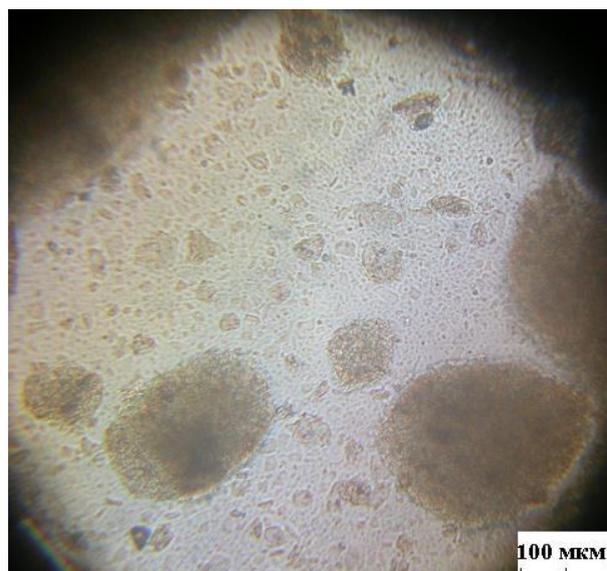


Рис. 1. Исходный образец фосфогипса ($\text{CaSO}_4(\text{HPO}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) – двуводный сульфат кальция – полудисперсный порошок серо-белого цвета. Микрофотография иммерсионного препарата агрегатных сгустков фосфогипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Без анализатора

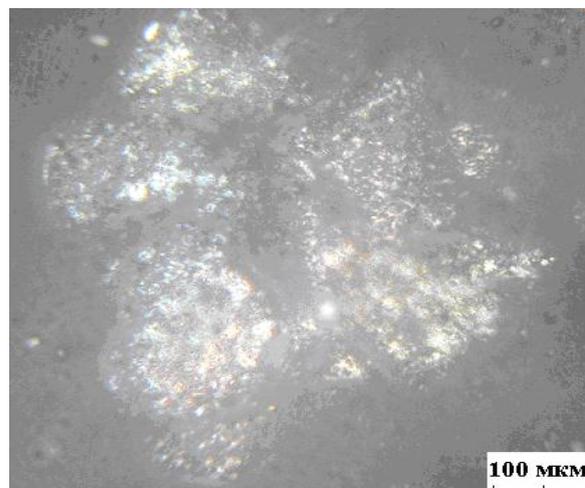


Рис. 2. Микрофотография иммерсионного препарата агрегатных сгустков фосфогипса после отжига при $313\text{ }^\circ\text{C}$ (полугидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Без анализатора

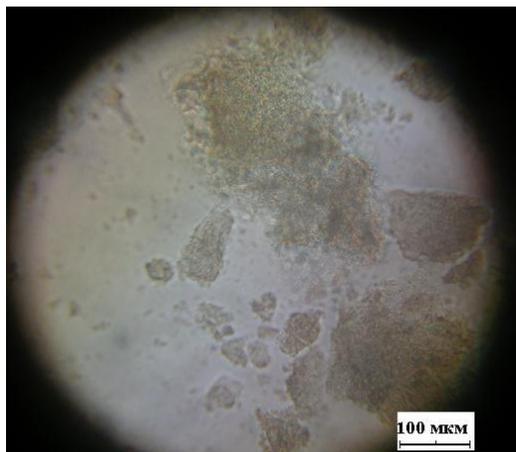


Рис. 3. образец после термообработки (смешанный с H_2O и затвердевший) при растирании в ступке представляет собой порошок серо-белого цвета. Микрофотография иммерсионного препарата агрегатных сгустков ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Без анализатора

Проведенные исследования подтверждают, что фосфогипс можно использовать для производства сухих строительных смесей. Разработанная ССС содержит в своем составе следующие компоненты. Основное вещество – это полугидрат кальция на основе фосфогипса, образующегося в Украине на предприятии химического производства ОАО „Сумыхимпром”, а так же добавки, влияющие на свойства штукатурной сухой смеси. Для увеличения объема материала и придания ему легкости был добавлен отход керамзитовой пыли. Как армирующий компонент использовали полипропиленовое волокно. Чтобы избежать изменений в объеме штукатурки и улучшить ее удобоукладываемость была использована

гашеная известь $Ca(OH)_2$. Введенная лимонная кислота, применяемая как замедлитель схватывания, которая позволяет продлить время работы с раствором. Так же были добавлены загуститель – эфир крахмала, который предотвращает расслоение материала. Для создания прочной, гладкой и ровной поверхности необходимо использовать добавки, повышающие адгезионные качества, в данном случае была применена добавка Бермоколл, которая в свою очередь контролирует потерю воды и обеспечивает надлежащее схватывание связующего, не позволяя возникновению трещин. Для экономичного использования воды и повышения морозостойкости использовалась воздухововлекающая добавка.

Преимуществом данной гипсовой штукатурки является возможность нанесения ее на различные поверхности, такие как бетон, газобетон, пористый бетон, каменная кладка из кирпича, цементная штукатурка внутри помещений с сухой и нормальной влажностью без дополнительной обработки основания.

5. Результаты исследований

Судя по данным кристаллооптического анализа и инфракрасной спектроскопии исходное сырье $CaSO_4 (HPO_4)4H_2O$ двуводный сульфат кальция после обжига при температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$ частично (прореагировало до 80 %) перешел в полуводный сульфат кальция. $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ после смешивания с водой в процессе гидратации произошел полный фазовый переход полугидрата в двуводный гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Все образцы содержат примесные фазы кальцита и магнезита, содержание которых образце № 3 достигает ~5 %.

Основные физико-технические характеристики полученной смеси приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-технические характеристики сухой строительной смеси на основе фосфогипса

№	Характеристики	Ед.изм.	Значение
1	Насыпная плотность	кг/м ³	650...750
2	Водотвердое отношение	–	0,6–0,8
3	Температура приготовления раствора	°С	от +5 до +30
4	Температура основания	°С	от +5 до +25
5	Время обработки раствора	мин	100–120
6	Толщина слоя раствора	мм	2–15
7	Расход при слое 10мм	кг/м ²	3–5 (в зависимости от неровностей поверхности)
8	Высыхание	сутки	2–4
9	Плотность затвердевшего раствора	кг/м ³	850...1000
10	Прочность при сжатии	МПа	5–7
11	Прочность на растяжение при изгибе	МПа	2,5–5
12	Прочность сцепления	МПа	0,5–1,2
13	Срок хранения	мес	около 6

Данную сухую строительную смесь необходимо хранить в сухих условиях в расфасованном виде в полиэтиленовых мешках.

6. Выводы

Теоретические предпосылки получения гипсового вяжущего из фосфогипса без промывки водой и нейтрализации примесей подтверждены исследова-

ниями фазового состава материала в процессе его термообработки. Присутствие магнезита и кальцита в конечном продукте объясняет, почему произошел полный фазовый переход полуводного гипса $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ в двуводный гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Кальцит и магнезит после термообработки не прореагировали (т. к. им нужна была более высокая температура для реакции), поэтому они остались в кристаллической

решетке полученного гипсового вяжущего, что дало преимущества в процессе гидратации, которые заключаются в повышении коэффициента водостойкости и прочности гипсового вяжущего.

Благодаря влиянию примесей в фосфогипсе на процесс получения гипсового вяжущего стало возможным получение гипсового вяжущего марки Г-4 – Г-5, которое относится к строительному гипсу. На основе полученного гипсового вяжущего была разработана сухая строительная смесь для штукатурки стен. По условиям применения согласно ДСТУ-П Б В.2.7-126:2006 «Смеси строительные сухие модифицированные. Общие технические условия», полученная смесь относится к классу для внутренних работ в сухих помещениях (относительной влажностью до 60 % включительно), по виду вяжущего гипсовым (Г), по назначению смесь относится к группам ШТ1, ШТ2, ШТ3, ШТ4.

Литература

1. Болотских, Н. С. Низкотемпературный обжиг гипса во взвешенном состоянии [Текст] / Н. С. Болотских, В. И. Бабушкин, В. И. Винниченко, И. Э. Казимагомедов, Е. В. Кондрашенко, А. А. Мамедов // Научный вестник строительства. – 2001. – Вып. 13. – С. 209–213.
2. Винчелл, А. Н. Оптические свойства искусственных минералов [Текст] / А. Н. Винчелл, Г. Винчелл. – М.: Мир, 1967. – 326 с.
3. Глинка, Н. Л. Общая химия [Текст] / Н. Л. Глинка. – Ленинград: Химия, 1976. – 711 с.
4. Иваницкий, В. В. Фосфогипс и его использование [Текст] / В. В. Иваницкий, П. В. Классен, А. А. Новиков и др. – М.: Химия, 1990. – 224 с.
5. Мчедлов-Петросян, О. П. Химия неорганических строительных материалов [Текст] / О. П. Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1988. – 304 с.
6. Пашенко, А. А. Вяжущие материалы [Текст] / А. А. Пашенко, В. П. Сербин, Е. А. Старчевская. – К.: Вища школа, 1985. – 435 с.
7. Саницкий, М. А. Вплив модифікаторів на морфологію кристалів та властивості гіпсових в'язучих

[Текст] / М. А. Саницкий, Р. А. Солтисік, Х.-Б. Фішер // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2000. – № 414. – С. 61–64

8. Ферронская, А. В. Эффективные гипсовые материалы и изделия [Текст] / А. В. Ферронская, В. Ф. Коровяков // Строительные материалы. – 1998. – № 8. – С. 20–21
9. Ферронская, А. В. Гипс в современном строительстве [Текст] / А. В. Ферронская // Строительные материалы. – 1995. – № 2. – С. 16–19.
10. Van der Marel Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures [Text] / Van der Marel, H. Beutelspacher. – Amsterdam: Elsevier scientific publishing company, 1976. – 396 p.

References

1. Bolotskih, N. S., Babushkin, V. I., Vinnichenko, V. I., Kazimagomedov, I. Je., Kondrashenko, E. V., Mamedov, A. A. (2001). Nizkotemperaturnyj obzhig gipsa vo vzveshennom sostojanii. Nauchnyj vestnik stroitel'stva, 13, 209–213.
2. Vinchell, A. N., Vinchell, G. (1967). Opticheskie svoystva iskusystvennyh materialov. Moscow: Mir, 326.
3. Glinka, N. L. (1976). Obshaya chimiya. Leningrad: Chimiya, 711.
4. Ivanizkii, V. V., Klassen, P. V., Novikov, A. A. (1990). Fosfogips i ego ispolzovanie. Moscow: Chimiya, 224.
5. Mchedlov-Petrosyan, O. P. (1988). Chimiya neorganicheskikh stroitel'nykh materialov. Moscow: Stroizdat, 304.
6. Pashenko, A. A., Serbin, V. P., Starchevskaya, E. A. (1985). Vyagyshie materialu. Kyiv: Visha shkola, 435.
7. Sanyckyj, M. A., Soltysik, R. A., Fisher, H.-B. (2000). Vplyv modyfikatoriv na morfologiju krystaliv ta vlastyvosti gipsovyh v'jazhuchyh. Visnyk NU «L'viv'ska politehnika», 414, 61–64.
8. Ferronskaja, A. V., Korovjakov, V. F. (1998). Jeffektivnye gipsovyje materialy i izdelija. Stroitel'nye materialy, 8, 20–21
9. Ferronskaja, A. V. (1995). Gips v sovremennom stroitel'stve. Stroitel'nye materialy, 2, 16–19.
10. Van der Marel, Beutelspacher H. (1976). Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. Amsterdam: Elsevier scientific publishing company, 396.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Вандоловський О. Г.
Дата надходження рукопису 24.11.2015*

Казимагомедов Ибрагим Эмирчубанович, кандидат технических наук, доцент, кафедра строительных материалов и изделий, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, ул. Сумская, 40, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: kazimagomedov.1957@mail.ru

Дехтярюк Ольга Игоревна, аспирант, инженер, кафедра строительных материалов и изделий, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, ул. Сумская, 40, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: olga_r_08@list.ru