

## Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов

*Д.т.н., профессор В.В. Бабков;  
аспирант Э.А. Гафурова\*;  
аспирант О.А. Резвов;  
к.т.н., инженер А.В. Мохов,*

*ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет*

**Ключевые слова:** вибропрессованные бетонные блоки; высолообразование; высолы; химический состав; минералогический состав; гидрофобизация

На сегодняшний день по-прежнему остается актуальной проблема высолообразования на поверхностях наружных стен зданий и элементов малой архитектуры, выполненных на основе вибропрессованных бетонных блоков (изделий, производимых на линиях Besser, Masa-Henke и др.) с использованием кладочных растворов на цементной и известково-цементной основах (рис. 1). Несмотря на достаточную изученность процессов образования высолов [1-8], в этой области до сих пор остается много неразрешенных вопросов.



**Рисунок 1. Высолообразование на поверхностях наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков**

Существует множество способов очистки и блокировки поверхности бетонных конструкций и изделий на портландцементной основе от продуктов высолообразования. Однако среди них многие имеют существенные недостатки, такие как материалоемкость, трудоемкость и длительность процессов предварительной очистки поверхности, необходимость введения различных добавок на разных этапах очистки и т.д. [9, 10]. Для решения этой проблемы необходимо подробное изучение химизма процессов высолообразования.

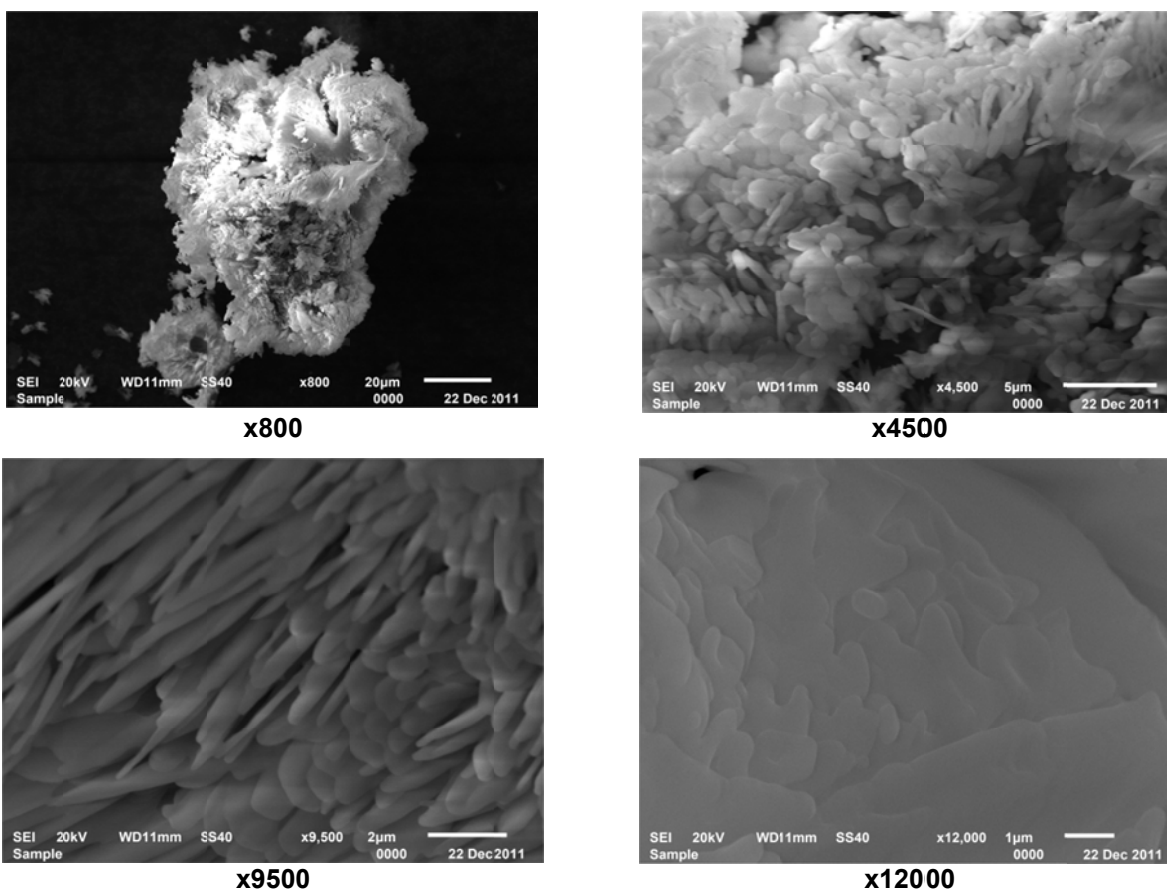
Основными источниками высолообразования в кладках на основе вибропрессованных бетонных блоков являются избыточное количество оксидов калия и натрия в цементах и минералогический состав цемента, а также противоморозные добавки  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , используемые в кладочных растворах в зимнее время, и добавка – ускоритель твердения  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [2-5].

Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., Мохов А.В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов

В условиях интенсивного увлажнения кладки (при замачивании дождем или тающим снегом) происходит процесс гидратации оксидов щелочных металлов  $K_2O$  и  $Na_2O$ , присутствующих в цементах в количестве до 2-2,5%, а также гидросиликатных фаз портландцемента. Формируются растворы щелочей Na и K, растворимый гидроксид Ca, которые выходят на поверхность кладки. На поверхности данные фазы карбонизируются углекислым газом воздуха.

В целях более подробного изучения этих процессов, а также определения химического и минералогического состава продуктов высолообразования из вибропрессованных бетонных изделий, авторами были проведены исследования на приставке Oxford РЭМ JEOL JSM-6610 LV и дифрактометре D2 Phaser.

Чистые образцы вибропрессованных бетонных стеновых блоков из одной партии в лабораторных условиях помещались в ванночки с водой для осуществления процесса капиллярного подсоса. Пробы высолов собирались при их первом появлении на поверхности и в процессе последующего увеличения объема продуктов высолообразования через равные промежутки времени. Пробы анализировались на приставке Oxford РЭМ JEOL JSM-6610 LV. На рис. 2 показаны снимки частиц продуктов высолообразования при различных увеличениях.



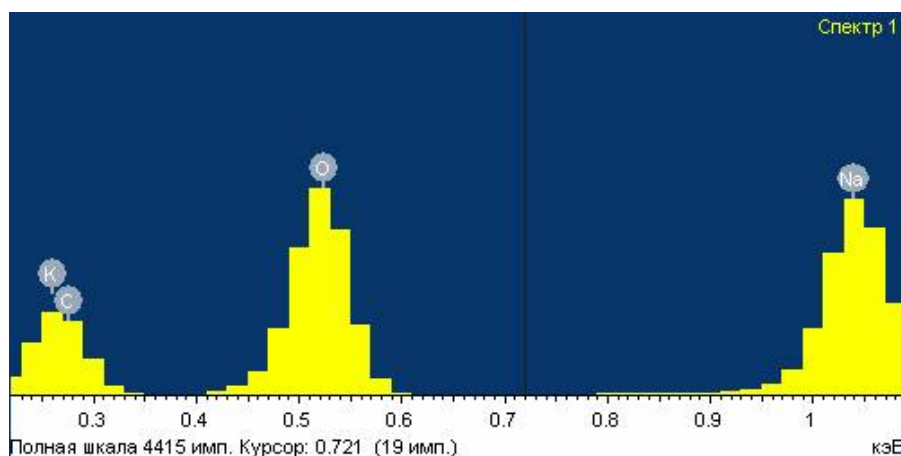
**Рисунок 2. Частицы первичных продуктов высолообразования из вибропрессованного бетонного стенового блока при разных увеличениях**

Элементный анализ всех проб показал присутствие C, O, Na, K. Данные усредненных результатов количественного анализа (табл. 1, рис. 3) указывают на вероятность наличия карбонатов натрия и калия ( $Na_2CO_3$ ,  $K_2CO_3$ ) в составе исследуемых солей.

**Таблица 1. Количественное соотношение элементов в составе проб продуктов высолообразования из вибропрессованного бетонного стенового блока**

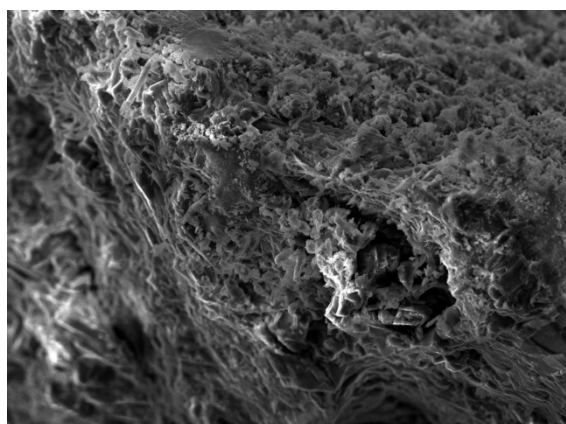
| Элемент | Весовой % | Атомный% |
|---------|-----------|----------|
| C       | 21.76     | 28.27    |
| Na      | 14.72     | 9.99     |
| K       | 0.34      | 0.14     |
| O       | 63.17     | 61.60    |
| Итоги   | 100.00    |          |

Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., Мохов А.В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов

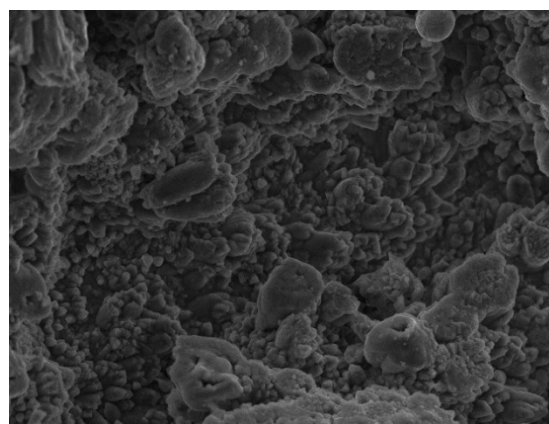


**Рисунок 3. Спектрограмма пробы первичных продуктов высолообразования из вибропрессованного бетонного стенового блока**

Кроме того, были собраны высолы с поверхности стен зданий, имеющих возраст кладки на основе вибропрессованных бетонных блоков более 5 лет, которые также были изучены на приставке Oxford РЭМ JEOL JSM-6610 LV. На рис. 4 приведены снимки частиц продуктов высолообразования, собранных с кладки здания в возрасте 11 лет.



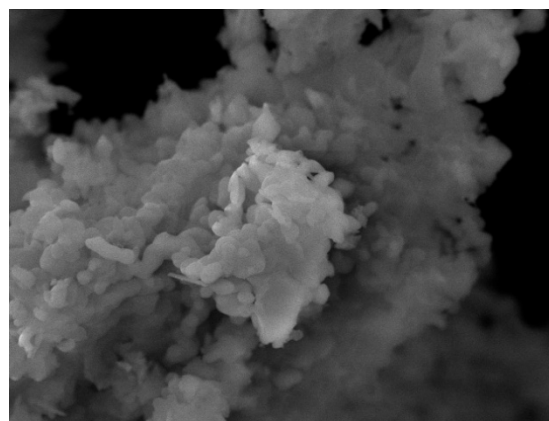
x330



x600



x4300



x5000

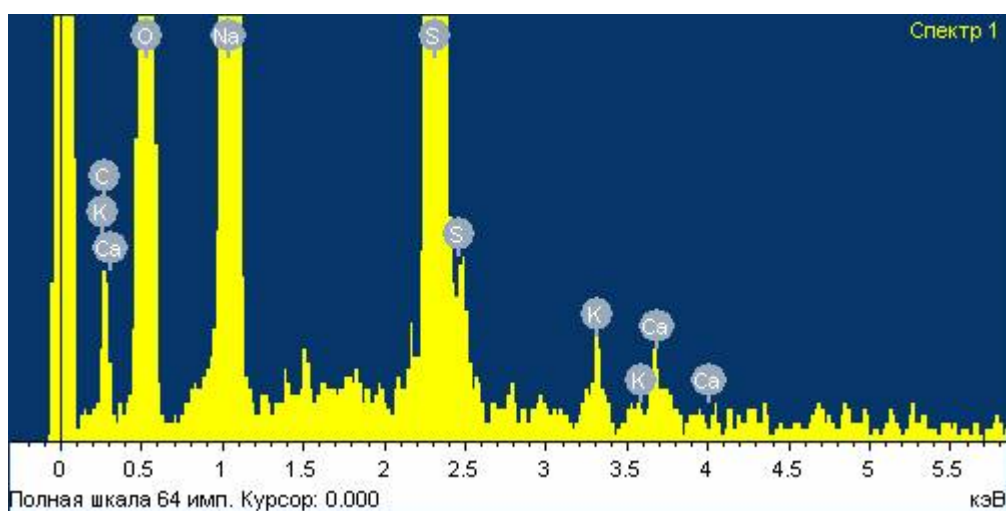
**Рисунок 4. Частица продуктов высолообразования из кладки на основе вибропрессованных бетонных блоков в возрасте 11 лет при разных увеличениях**

Элементный анализ проб показал присутствие элементов Ca, C, O, Na, K. Также присутствует элемент S, что можно объяснить выходом  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , который, вероятнее всего, вводился в кладочный раствор швов в качестве добавки-ускорителя при возведении кладки. Данные усредненных результатов количественного анализа (табл. 2, рис. 5) указывают на вероятность нахождения карбонатов кальция, натрия и калия ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) в составе исследуемых солей.

Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., Мохов А.В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов

**Таблица 2. Количественное соотношение элементов в составе проб продуктов высолообразования из кладки на основе вибропрессованных бетонных блоков в возрасте 11 лет**

| Элемент | Весовой % | Атомный % |
|---------|-----------|-----------|
| C       | 13.12     | 19.48     |
| O       | 48.64     | 54.20     |
| Na      | 23.51     | 18.23     |
| S       | 13.81     | 7.68      |
| K       | 0.53      | 0.24      |
| Ca      | 0.38      | 0.17      |
| Итого   | 100.00    |           |

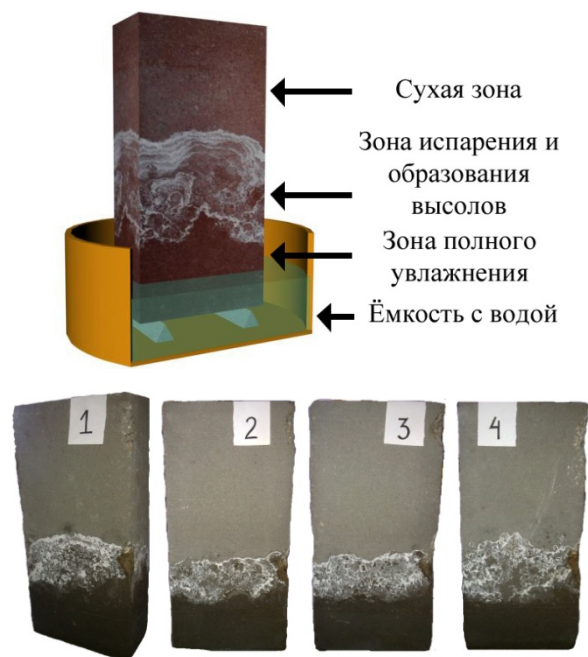


**Рисунок 5. Спектрограмма пробы продуктов высолообразования из кладки на основе вибропрессованных бетонных блоков в возрасте 11 лет**

Отсутствие катиона  $\text{Ca}^{+2}$  в составе проб первичных высолов и его наличие во всех образцах, собранных с кладок, имеющих возраст свыше 5 лет, указывает на то, что малорастворимый  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  на небольших сроках замачивания не выходит на поверхность вместе с другими растворимыми щелочами, а карбонизируется во внутрипоровом пространстве. Кроме того, количественные соотношения элементов показывают явное преобладание иона  $\text{CO}_3^{2-}$ . Это позволяет утверждать, что карбонизация гидроксидов натрия и калия происходит в полном объеме сразу после выхода на поверхность.

Полученные данные подтверждаются результатами анализа рентгенограмм, полученных на дифрактометре D2 Phaser.

С поверхности образцов, находившихся в режиме капиллярного подсоса в течение трех месяцев, были сняты сколы из двух областей: неувлажненной зоны и зоны образования высолов (рис. 6). Далее 8 образцов исследовались на дифрактометре D2 Phaser с целью определения фазового состава.

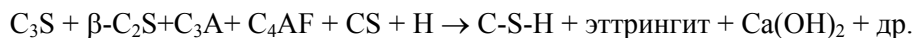


**Рисунок 6. Образцы вибропрессованных бетонных блоков, в режиме капиллярного подсоса в течение трех месяцев**

На дифрактометре D2-Phaser также исследовались пробы продуктов высолообразования из кладки на основе вибропрессованных бетонных блоков в возрасте 11 лет (рис. 7-9).

Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., Мохов А.В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов

Полученные результаты позволяют предположить следующий механизм процесса высолообразования в вибропрессованных бетонных штучных стеновых изделиях. В процессе гидратации исходных материалов в объеме изделия образуются гидроксиды кальция, натрия и калия:



Концентрация  $Ca(OH)_2$  значительно превышает концентрацию  $NaOH$  и  $KOH$ . Таким образом, исходя из закона действующих масс, гидроксид кальция первым вступает в реакцию с углекислым газом воздуха при замачивании изделия [6]:

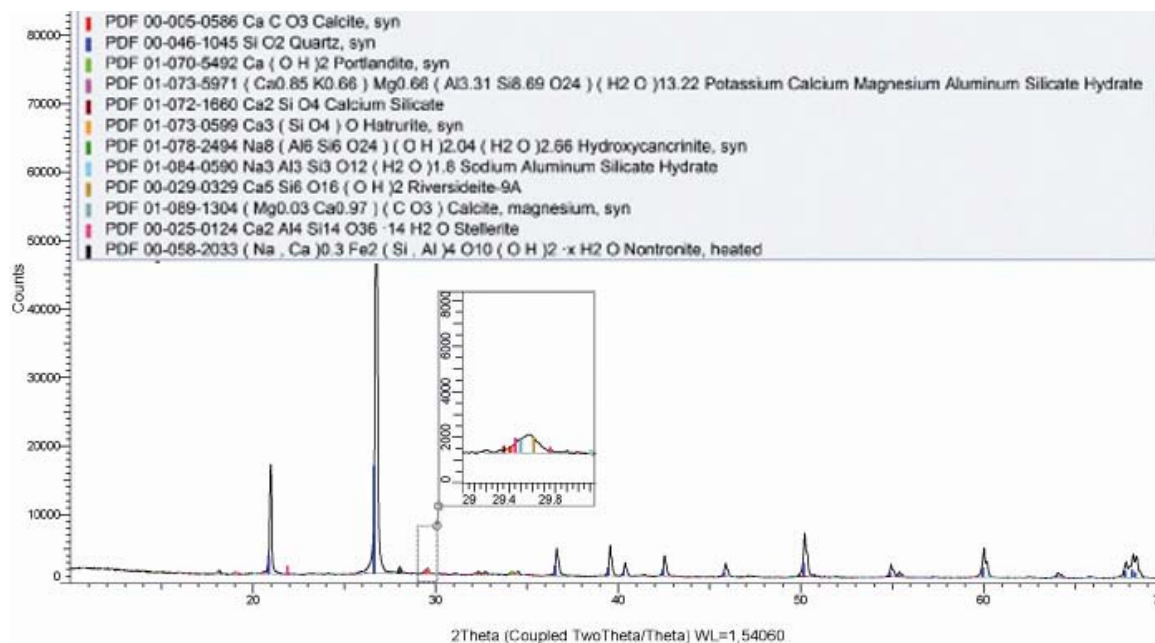
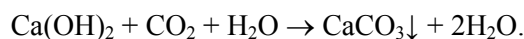


Рисунок 7. Рентгенограмма скола увлажненной зоны вибропрессованного бетонного блока после трех месяцев замачивания капиллярным подсосом

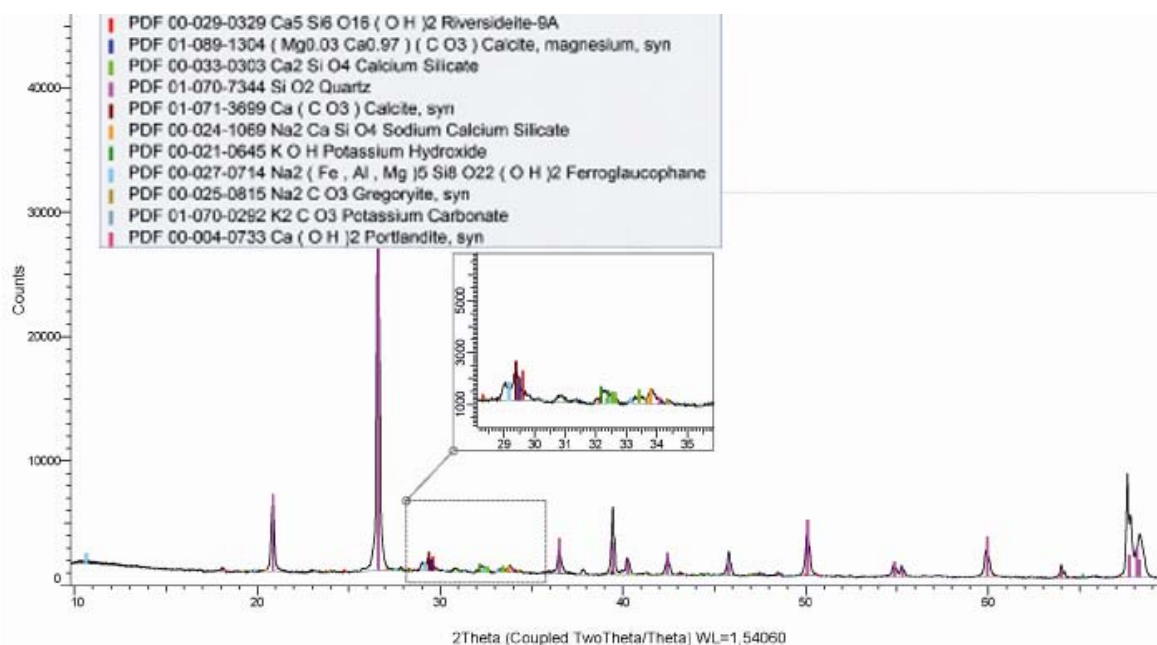
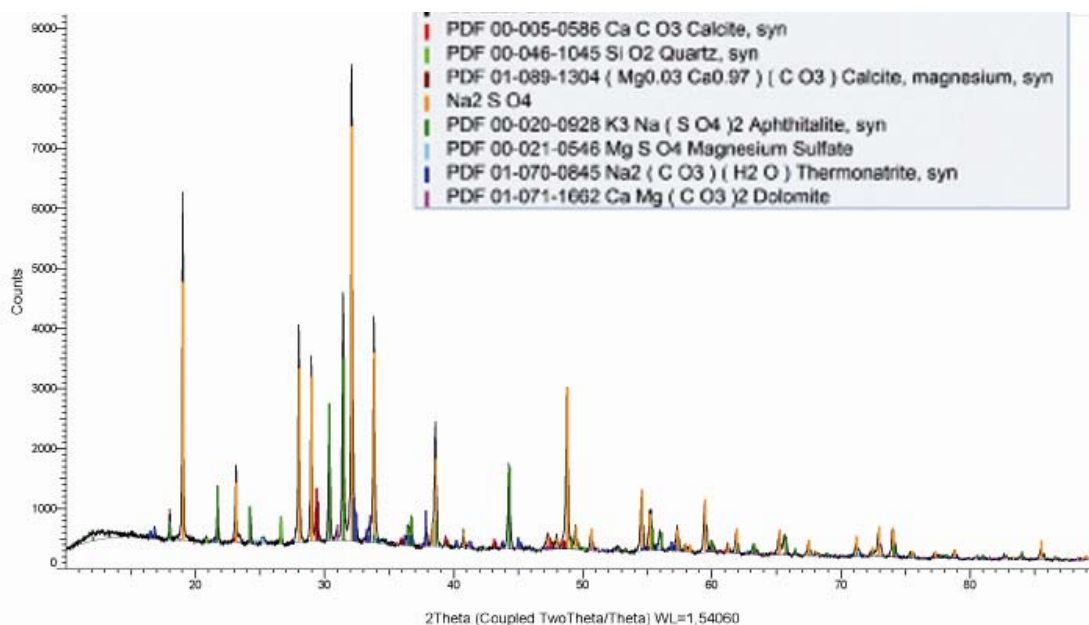


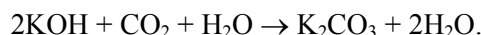
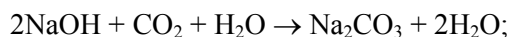
Рисунок 8. Рентгенограмма скола увлажненной зоны вибропрессованного бетонного блока после трех месяцев замачивания по схеме капиллярного подсоса

Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., Мохов А.В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов

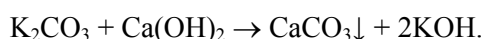
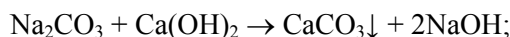


**Рисунок 9. Рентгенограмма пробы продуктов высолообразования из кладки на основе вибропрессованных бетонных блоков в возрасте 11 лет**

Нерастворимый карбонат кальция осаждается во внутривыводном пространстве изделия. Одновременно с карбонизацией гидроксида кальция происходит снижение pH среды и концентрации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , и в реакцию с углекислотой вступают гидроксиды натрия и калия:



Так как карбонаты калия и натрия – хорошо растворимые соли, они легко выходят на поверхность изделия. При осушении на поверхности и во внутривыводном пространстве вблизи поверхности образуются кристаллогидраты солей натрия и калия. Дальнейшее увлажнение приведет к их растворению. Определенное количество солей смывается атмосферной влагой, а часть, в результате диффузии, снова попадает в объем изделия. Во внутривыводном пространстве растворимые  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  вступают в реакцию с некарбонизованным  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :



Кроме того, в процессе диссоциации растворимых солей в воде вновь образуются гидроксиды калия и натрия, способные при следующем замачивании карбонизоваться углекислым газом воздуха, чем можно объяснить цикличность процессов высолообразования. Одновременно масса карбонатов кальция во внутривыводном пространстве будет увеличиваться, и со временем  $\text{CaCO}_3$  станет выходить на поверхность и оставаться в виде нерастворимого белого налета.

Данная модель позволяет рассматривать гидрофобизацию как способ очистки наружных стен от высолов.

Важной особенностью процессов высолообразования является их цикличность [5], что в сочетании с другой особенностью – образованием продуктов с большим коэффициентом увеличения объема твердой фазы (до 1.5-5.3 раз [5, табл.1]) – для поверхностных слоев конструкционного материала будет сопрягаться с механическим воздействием кристаллов  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot (7 \dots 10)\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot (1 \dots 1.5)\text{H}_2\text{O}$  и приведет со временем к деструкции этих слоев [7].

Гидрофобизация является эффективным способом блокировки процессов высолообразования и повышения долговечности кладок наружных стен. Гидрофобизаторы, глубоко проникая в поры и капилляры материалов, химически взаимодействуют с поверхностью активными функциональными группами, образуя макромолекулярную сетчатую гидрофобную поверхность, характеризующуюся высокой адгезией к основанию, низким расходом, высокой стойкостью к пониженной и повышенной температуре, устойчивостью к ультрафиолетовому

Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., Мохов А.В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов

излучению и воздействию атмосферных явлений, бесцветностью, быстрым высыханием, экологичностью, нерастворимостью в обычных растворителях. Гидрофобизаторы устраняют капиллярный перенос воды за счет устройства капиллярно неактивного слоя.

Возможны три способа устройства гидрофобного экрана: до первого цикла высолообразования; после возврата высолов в объем кладки и очищения стены от высолов; непосредственно поверх продуктов высолообразования. Недостатками первых двух способов являются необходимость применения различных составов на разных этапах обработки, высокая трудоемкость, длительность и многоступенчатость, включающая предварительную обработку поверхностей моющими средствами, нейтрализующей композицией, высушивание, нанесение гидрофобизирующих композиций.

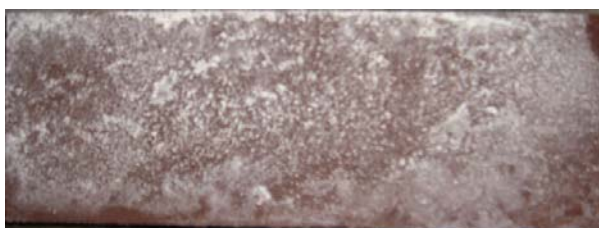
Вследствие того, что продукты высолообразования представляют собой в основном высокорстворимые карбонаты  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (табл. 3), можно говорить об эффективности способа гидрофобизации наружных стен без предварительной очистки поверхности. В этом способе гидрофобизатор наносится без предварительной очистки поверхности непосредственно по высолом.

**Таблица 3. Растворимость продуктов высолообразования**

| Продукт                                       | NaOH  | $\text{Na}_2\text{CO}_3$ | KOH  | $\text{K}_2\text{CO}_3$ | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | $\text{Ca}_2\text{CO}_3$ |
|---|-------|--------------------------|------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Растворимость в воде при $t=20^\circ\text{C}$ | 107.0 | 21.5                     | 95.3 | 111                     | 0.143                    | 0.0065                   |

Для устранения высолов используют гидрофобизаторы на водной основе. Следовательно, возможность гидрофобизации наружных стен без предварительной очистки поверхности основывается на том, что водная составляющая раствора гидрофобизатора растворяет растворимые карбонаты и вовлекает продукт высолообразования в объем кладки, при этом гидрофобная пленка осаждается непосредственно на поверхности и в поверхностных слоях материала. Перемещение раствора щелочей в объем кладки опережает гидрофобную составляющую раствора гидрофобизатора, при этом формируется чистая от высолов гидрофобизированная поверхность, обеспечивающая блокировку кладки от замачивания при косом дожде и блокировку выхода раствора щелочей из кладки наружу. В условиях теплой погоды при этом будет происходить осушение кладки по механизму паропроницания наружу. Если в составе высолов присутствуют нерастворимые карбонаты кальция, они удаляются одновременно с гидрофобизацией механически в процессе кистевания. Данный метод был апробирован в лабораторных и натуральных условиях (рис. 10-12).

#### Высолы на поверхности стеновых блоков



#### Блоки после обработки гидрофобизаторами

Гидрощит-супер

Типром К Люкс



**Рисунок 10. Нанесение гидрофобизатора непосредственно по высолом без предварительной очистки поверхности блоков**

Гидрощит-супер

Типром К Люкс

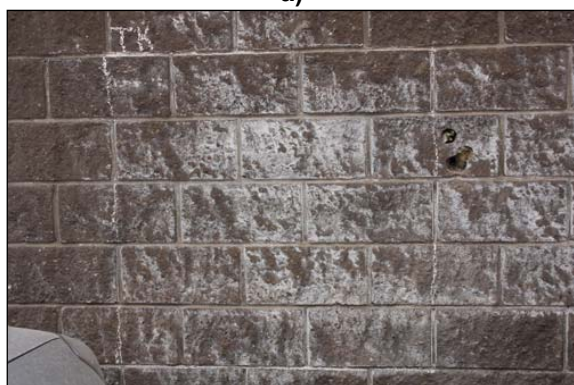
↓ Гидрофобизированная грань ↓



↑ Негидрофобизированная грань ↑

Рисунок 11. Блокировка высолообразования на поверхностях вибропрессованных бетонных блоков гидрофобизаторами Гидрощит-супер и Типром К Люкс, нанесенными непосредственно по высолом

а)



б)



в)



г)



Рисунок 12. Гидрофобизация участка стены на основе вибропрессованных блоков Типромом К Люкс поверх высолов: а) участок стены, обильно покрытый высолом; б) участок стены после нанесения гидрофобизатора поверх высолов; в) участок стены после первого смыва высолов дождеванием и последующего осушения стены; г) участок стены в последующие циклы замачивания-осушения стены

Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., Мохов А.В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов



Таким образом, предложенный способ, с учетом предложенной модели химизма процессов высолообразования, позволяет существенно снизить энерго- и ресурсозатраты, ускорить процесс очистки загрязненных продуктами высолообразования поверхностей наружных стен и дорожных покрытий на основе бетонных изделий и конструкций, обеспечивает снижение эксплуатационных затрат на повторную очистку от высолов, а также способствует повышению долговечности бетонных изделий и конструкций.

## Литература

1. Розенталь Н. К., Чехний Г. В. Причины образования и методы предупреждения образования высолов на поверхности строительных конструкций // Материалы 1-й Всероссийской конференции по проблемам бетона. Москва, 2001 г. Том 3. С. 1444-1447.
2. Бабков В. В., Климов В. П., Сахибгареев Р. Р., Чуйкин А. Е. и др. Механизмы высолообразования на поверхностях наружных стен зданий из штучных стеновых материалов // Строительные материалы. 2007. № 8. С. 74-76.
3. Бабков В. В., Габитов А. И., Чуйкин А. Е., Мохов А. В. и др. Высолообразование на поверхностях наружных стен зданий из штучных стеновых материалов // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 2-4.
4. Бабков В. В., Габитов А. И., Чуйкин А. Е. и др. Особенности высолообразования на поверхностях возводимых в зимних условиях наружных стен зданий на основе штучных стеновых материалов // Башкирский химический журнал. 2007. № 5. С. 156-159.
5. Бабков В. В., Мохов А.В., Габитов А. И., Чуйкин А. Е. Цикличность высолообразования на поверхности наружных стен зданий из штучных материалов // Строительные материалы. 2010. № 1. С. 56-57.
6. Штарк И., Бернд В. Долговечность бетона. К.: ОРАНТА, 2004. 295 с.
7. Федосов С. В., Базанов С. М. Сульфатная коррозия бетона. М.: АСВ. 2003. 192 с.
8. Степанова В. Ф., Розенталь Н. К., Чехний Г. В. Причины образования высолов на поверхности строительных конструкций // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2000. № 3. С. 12-13.
9. Климов В. П. Механизмы высолообразования на поверхностях наружных стен зданий на основе штучных стеновых материалов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05. Уфа, 2007. 137 с.
10. Мохов А. В. Цикличность и способы блокировки процессов высолообразования на поверхностях наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05. Уфа, 2010. 128 с.
11. Сураев В. Б. Гидрофобизация. Теория и практика. Часть 1 // Технологии строительства. 2002. № 1. С. 120-121.
12. Краткий справочник по химии / Под ред. Гороновского И.Т. и др. Киев: Наукова думка, 1974. 901 с.
13. Бутт Ю. М., Волконский Б. В., Егоров Г. Б. Справочник по химии цемента. Л.: Стройиздат, Ленинградское отд-ние, 1980. 224 с.
14. Hans Böhni Corrosion in reinforced concrete structures. Cambridge England: Woodhead Publishing Ltd., 2005. 262 p.
15. Bolte G., Dienemann W. Efflorescence on concrete products – causes and strategies for avoidance // ZKG International. 2004. № 9, volume 57. Pp. 78-86.
16. Atkins M., Glasser F., Kindness A., Macphee D. Solubility data for cement hydrate phases (25°C) // DOE Report № DOE/HMIP/RR/91/32.
17. Durekovic A. Hydration of alite and C<sub>3</sub>A and changes of some structural characteristics of cement pastes by addition of silica fume // 8th Intern. Congr. Chem. Cement. Sept. 22-27, 1986. Rio de Janeiro, Brasil. Commun. Theme 3. Vol. IV. Pp. 279-285.
18. M. Conzales, E. Irassar Ettringite formation in low C A Portland cement exposed to sodium sulfate solution // Cement and Concrete Research. 1997. Vol. 27. Pp. 1061-1072.

\* Элина Альбертовна Гафурова, г. Уфа, Россия  
Тел. моб.: +7(917)787-78-70; эл. почта: elina\_gafurova@mail.ru

© Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., Мохов А.В., 2012

doi: 10.5862/MCE.33.2

## The problems of the occurrence of efflorescence on the surface of buildings' exterior walls made of vibropressed concrete blocks and the methods of blocking these processes

V.V. Babkov,  
E.A. Gafurova,  
O.A. Rezvov,  
A.V. Mokhov,

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
+7(917)787-78-70; e-mail: elina\_gafurova@mail.ru

### Key words

vibropressed concrete blocks; efflorescence; chemical composition; mineralogical composition; hydrophobization

### Abstract

At this article it has been considered the questions concerning the occurrence of efflorescence on the surface of buildings' exterior walls made of vibropressed concrete blocks.

The chemical and mineralogical composition of efflorescences were investigated using the electron-scan microscope and diffractometer. The mechanism of the efflorescence occurrence was disclosed

The suitability of hydrophobization as a purifying method of the above mentioned walls from efflorescences was analyzed. The results of full-scale testing of proposed methods are given.

### References

1. Rozental N. K., Chekhniy G. V. *Proceedings of the 1st All-Russian Conference on Concrete*. 2001. Book 3. Pp. 1444- 1447. (rus)
2. Babkov V. V., Klimov V. P., Sakhibgareev R. R., Chuikin A. E. *Magazine of Building materials*. 2007. No. 8. Pp. 74-76. (rus)
3. Babkov V. V., Gabitov A. I., Chuikin A. E., Mokhov A. V. *Magazine of Building materials*. 2008. No. 3. Pp. 2-4. (rus)
4. Babkov V. V., Gabitov A. I., Chuikin A. E., *Bashkir Chemistry Journal*. 2007. No. 5. Pp. 156-159. (rus)
5. Babkov V. V., Gabitov A. I., Chuikin A. E., Mokhov A. V. *Magazine of Building materials*. 2010. No. 1. Pp. 56-57. (rus)
6. Stark J., Bernd V. *Dolgovechnost betona* [Durability of concrete]. Kiev: ORANTA, 2004. 295 p. (rus)
7. Fedosov S. V., Bazanov S. M. *Sulfatnaya korrosiya betona* [Sulfate corrosion of concrete]. Moscow: ACB. 2003. 192 p. (rus)
8. Stepanova V. F., Rozental N. K., Chekhniy G. V. *Building materials, equipment and technologies of the XXI century*. 2000. No. 3. Pp. 12-13. (rus)
9. Klimov V. P. *Mekhanismi visoloobrazovaniya na poverhnostyah naruzhnykh sten zdaniy na osnove shtuchnykh stenovykh materialov*. A thesis for the degree of candidate of technical sciences: 05.23.05. Ufa, 2007. 137 p. (rus)
10. Mokhov A. V. *Tsiklichnost i sposoby blokirovki processov na poverhnostyah naruzhnykh sten zdaniy na osnove vibropressovannykh betonnykh blokov*. A thesis for the degree of candidate of technical sciences: 05.23.05. Ufa, 2010. 128 p. (rus)
11. Suraev V. B. *Building Technologies*. 2002. No. 1. Pp. 120-121. (rus)
12. Goronovskiy I. T. *Kratkii spravochnik po himii* [Quick reference guide to chemistry]. Kiev: Naukova dumka, 1974. 901 p. (rus)
13. Butth U. M., Volkonskii V. B., Egorov V. G. *Spravochnik po khimii cementa* [Quick reference guide to cement chemistry]. Leningrad: Stroyizdat, Leningrad Department, 1980. 224 p. (rus)

Babkov V.V., Gafurova E.A., Rezvov O.A., Mokhov A.V. The problems of the occurrence of efflorescence on the surface of buildings' exterior walls made of vibropressed concrete blocks and the methods of blocking these processes

14. Hans Böhni. *Corrosion in reinforced concrete structures*. Cambridge England: Woodhead Publishing Ltd, 2005. 262 p.
15. Bolte G., Dienemann W. Efflorescence on concrete products - causes and strategies for avoidance. *ZKG International*. 2004. No. 9. Volume 57. Pp.78-86.
16. Atkins M., Glasser F., Kindness A., Macphee D. Solubility data for cement hydrate phases (25°C). *DOE Report No. DOE/HMIP/RR/91/32*.
17. Durekovic A. Hydration of alite and C<sub>3</sub>A and changes of some structural characteristics of cement pastes by addition of silica fume. *In: 8th Intern. Congr. Chem. Cement*. Sept. 22-27, 1986. Rio de Janeiro, Brasil. Commun. Theme 3. Vol. IV. Pp. 279-285.
18. Conzales M., Irassar E. Ettringite formation in low C A Portland cement exposed to sodium sulfate solution. *Cement and Concrete Research*. 1997. Vol. 27. Pp. 1061-1072

**Full text of this article in Russian: pp. 14-22**