

Судникович Татьяна Михайловна, магистр техн. наук, аспирант,
Белорусский государственный технологический университет
(г. Минск, Беларусь)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА СНИЖЕНИЕ ВЫСОЛООБРАЗОВАНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ БЕТОНА

© РУП «Институт БелНИИС», 2018
Institute BelNIIS RUE, 2018

АННОТАЦИЯ

В статье отражены результаты исследования влияния минеральных добавок, которые снижают высолообразование на поверхности бетона. Решение проблемы высолообразования является актуальной для бетонных заводов Республики Беларусь, так как цементы белорусского производства содержат щелочи, из-за чего на фасадах зданий из бетона, оштукатуренных и тротуарных плитах появляются высолы. Основной причиной наличия щелочей в цементе является щелочесодержащее сырье.

Борьба с высолообразованием должна вестись в двух направлениях: подбор сырья, которое не содержит веществ, способных образовывать высолы, и введение добавок в цемент на стадии помола. Однако это труднодостижимо, так как сырье необходимо обогащать, а вводимые добавки могут негативно влиять на эксплуатационные свойства бетона. Поэтому предотвращение высолообразования на цементных заводах является трудновыполнимой задачей.

Исследования проводили на цементах разных производителей и варьировали соотношением минеральных добавок. Для решения проблемы высолообразования на поверхности бетона предложено введение активных минеральных добавок, таких как трепел, кремнегель, матакаолин. Выбор добавок обоснован наличием активных SiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, гидроксидов железа и алюминия, которые, взаимодействуя с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH и NaOH , образуют

труднорастворимые соединения. Оценка снижения высокообразования производилась по ГОСТ 30459-96 [1].

В результате исследований установили оптимальное содержание указанных выше минеральных добавок. Кроме того, определены сроки схватывания цементного теста и водоотделение для оптимальных дозировок, пределы прочности при изгибе и сжатии были определены для всех составов бетонных образцов.

По результатам проведенных исследований рекомендовано использовать добавки, которые снижают высолообразование на поверхности бетона в следующих количествах: трепел – от 1 % от массы цемента, метакаолин – от 0,5 % от массы цемента и кремнегель – до 0,5 % от массы цемента.

Ключевые слова: бетон, высолы, кремнегель, метакаолин, трепел, состав, свойства, прочностные характеристики растворов бетонов, сроки схватывания.

Для цитирования: Судникович, Т. М. Исследование влияния минеральных добавок на снижение высолообразований на поверхности бетона / Т. М. Судникович // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 10. – С. 261–272. <https://doi.org/10.23746/2018-10-17>

Tatsiana Sudnikovich, Master in Engineering Science, Postgraduate, Department of Chemical Technology of Binders, Belarusian State Technological University (Minsk, Belarus)

A STUDY OF THE INFLUENCE OF MINERAL ADDITIVES ON THE REDUCTION OF THE EFFLORESCENCE EFFECT ON THE SURFACE OF THE CONCRETE

ABSTRACT

The article deals with the results of the study of mineral additives influence that reduce the salinity on the surface of concrete. The solution

to the problem of salinization is relevant for concrete plants of the Republic of Belarus, as cement of Belarusian origin contains alkali, that is why on the facades of buildings made of concrete, plastered and paving slabs appear salting. The main reason for the presence of alkali in cement is alkali-containing raw materials.

The fight against efflorescence should be carried out in two directions: the selection of raw materials that do not contain substances capable of forming salting and the introduction of additives in the cement at the grinding stage. However, this is difficult to achieve, as raw materials must be enriched, and the additives introduced can adversely affect the performance properties of concrete. Therefore, the prevention of efflorescence in cement plants is a difficult task.

Cements from different manufacturers have been studied and the ratio of mineral additives was varied. To solve the problem of efflorescence on the surface of concrete it has been offered the introduction of active mineral additives, such as diatomaceous earth, silica gel, metakaolin. The choice of additives is justified by the presence of active SiO_2 , Al_2O_3 , 2SiO_2 , iron and aluminum hydroxides, which interact with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH and NaOH to form insoluble compounds. Reduction rating of efflorescence was carried out according to GOST 30459-96 [1].

As a result of the research, the optimal content of the above-mentioned mineral additives was established. In addition, the terms of the cement test tying and water separation for optimal dosages were determined, the strength limits for bending and compression were defined for all compositions of concrete samples.

According to the results of the research, it is recommended to use additives that reduce the efflorescence on the surface of concrete in the following quantities: diatomaceous earth from 1 % by weight of cement, metakaolin from 0.5 % by weight of cement and silica gel to 0.5 % by weight of cement.

Keywords: concrete, efflorescence, silica gel, metakaolin, diatomaceous earth, composition, properties, strength characteristics of the concrete mortars, setting time.

For citation: Sudnikovich T. A study of the influence of mineral additives on the reduction of the efflorescence effect on the surface of the concrete. *Contemporary Issues of Concrete and Reinforced Concrete:*

ВВЕДЕНИЕ

Высолы – результат диффузии водорастворимых солей и их последующей кристаллизации при высыхании на поверхности строительных изделий. Они представляют собой чаще всего рыхлую массу кристаллических неорганических солей, нежелательность образования которой связана, прежде всего, с потерей декоративного вида строительных конструкций [2].

Здания и сооружения в процессе строительства и эксплуатации подвергаются агрессивному воздействию окружающей среды – перепадам температур, воды и влаги, газов и аэрозолей различного химического состава. Бетон, который не подвергается химизации, зачастую не обладает необходимыми свойствами.

Высолы также являются причиной появления значительных механических напряжений, от которых с течением времени разрушается бетон. Такие напряжения возникают от знакопеременного изменения объема солей при потере или присоединении кристаллизационной воды и могут быть более значительными, чем даже вызываемые действием замерзающей в порах материалов воды [3].

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ВЫСОЛООБРАЗОВАНИЕМ

На поверхности цементных бетонов часто образуются высолы в виде белых пятен, налетов, потеков, ухудшающих внешний вид зданий. Появление высолов обусловлено наличием в цементе растворимых соединений, в первую очередь щелочей и гидроксида кальция, которые образуют на поверхности бетона сульфат натрия и карбонат кальция.

Возникновению высолов способствуют повышенная пористость цементного камня, большое количество воды затворения, введение в цемент добавок, содержащих растворимые соли. К увеличению высолообразования приводит пониженная температура окружающей среды, к снижению – более тонкий помол цемента, введение активных минеральных добавок.

В настоящее время существуют различные методы борьбы с высолообразованием в зависимости от факторов, оказывающих влияние на их появление [4].

Высолы, образовавшиеся на поверхности бетона, могут быть удалены механической чисткой, растворимые высолы (соли щелочных металлов) растворяются впоследствии дождями. Нерастворимые высолы на основе CaCO_3 со временем под действием карбонизации превращаются в более растворимый бикарбонат $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и постепенно также могут смываться с поверхности. В ряде случаев для предотвращения дальнейшего высолообразования поверхность бетона обрабатывают специальными преобразователями солей, превращающими растворимые соли, содержащиеся на поверхности и вблизи от нее, в менее растворимые [5].

Для существующих конструкций методов по борьбе с высолами меньше, чем при изготовлении новых, и практически все они сводятся к пропитке конструкций активными гидрофобизаторами, которые призваны:

- связать известь и другие растворимые минералы в бетоне в нерастворимые соединения, тем самым уплотнив (заполнив) поры материала и снизив его проницаемость;
- гидрофобизировать поверхность пор материала и предотвратить капиллярную миграцию влаги.

При изготовлении новых конструкций или изделий имеется значительно более широкий арсенал средств для предотвращения или снижения вероятности появления высолов.

Эти технологические средства или методы можно поделить на рецептурные и организационные.

К числу рецептурных методов относятся следующие.

- Снижение количества воды при изготовлении бетона. Для цементных составов это означает применение возможно более низкого водоцементного отношения, то есть следует использовать более жесткие растворные и бетонные смеси.
- Использование в составе цементных смесей достаточного количества пуццолановых добавок, вступающих в химическое взаимодействие с известью, превращая ее в нерастворимые в воде и прочные соединения. Связывая известь и другие растворимые соединения в нерастворимые

вещества, которые кристаллизуются в порах бетона, пуццоланы тем самым делают бетон более водонепроницаемым, снижая капиллярные эффекты.

- В состав строительных материалов также рекомендуется вводить гидрофобизирующие добавки, предотвращающие капиллярную миграцию влаги.
- Использование в составе кладочных растворов вододерживающих добавок, которые снижают отдачу ими влаги (а значит, и растворов водорастворимых минералов) в кладочный материал. Это уменьшит высолообразование на самом кладочном материале около растворных швов.

Организационные методы включают:

- Для изготовления строительных растворов и бетонов используют по возможности чистое сырье, содержащее минимум растворимых в воде соединений [6].

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследованиях использовали следующие материалы.

Кварцевый песок с модулем крупности 2,5–2,7 подвергался сушке при температуре 105 °С до постоянного веса.

Портландцемент марки 500 Д0 производства:

ОАО «Кричевцементношифер», ОАО «Красносельскстройматериалы», ОАО «Белорусский цементный завод».

Трепел, метакаолин и кремнегель ОАО «Гомельский химзавод» сушили в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы, после чего их подвергали предварительному измельчению в фарфоровой ступке. Тонкость помола для добавок определяли по остатку на сите № 008, которая составляла: для трепела – 3,2 %, для метакаолина – 2,8 %, кремнегеля – 1,1 %.

Указанные выше минеральные добавки использовались как средство борьбы с высолообразованием применительно к стеновым панелям.

Для всех составов раствора определяли стандартную консистенцию согласно ГОСТ 310.3-76 [7] на приборе «Вика».

Образование высолов на поверхности бетона определяли согласно ГОСТ 30459-96 [1]. Изготавливали серию из трех образцов призм размером 40x40x160 мм из бетона. После твердения

образцов по заданному технологическому режиму погружали в вертикальном положении на 3–5 см в индивидуальную емкость с водой, обдували воздухом с температурой (20 ± 5) °С не менее 3 часов ежедневно в течение 7 суток. Наличие высолов на открытой поверхности образцов отмечают визуально по появлению выцветов или налета соли. Отсутствие высолов свидетельствует об эффективности испытываемой добавки в бетоне. Появление же высолов свидетельствует о нецелесообразности применения этой добавки в бетоне.

Составы бетона без высолов испытаны на соответствие сроков схватывания по ГОСТ 310.3-76 [7].

Водоотделение определяли по ГОСТ 310.6-85 [8].

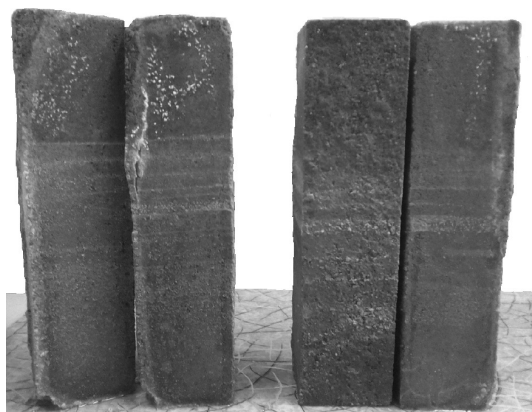
Прочностные показатели оптимальных составов образцов бетона определены по ГОСТ 310.4-81 [9].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Кремнегель для снижения высолов на поверхности бетона вводили в количестве 0,25 % и 0,5 % от массы цемента. С увеличением содержания кремнегеля до 0,5 % наблюдается увеличение количества высолов, что обусловлено, по-видимому, негативным влиянием избыточного аморфного SiO_2 и входящего в его состав (до 9 %) нерастворимого AlF_3 .

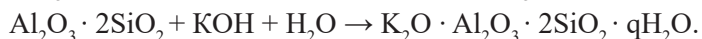
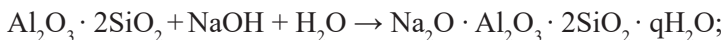
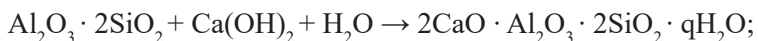
Трепел вводили в количестве 0,25 %, 0,5 %, 0,5 % и 1 % от массы цемента. С увеличением его содержания наличие высолов на поверхности образцов снижается. Это связано с взаимодействием извести и других растворимых минералов с образованием нерастворимых соединений, в результате чего происходит коагуляция пор, а следовательно, проницаемость изделия снижается. Визуальная оценка показала, что оптимальным содержанием трепела в бетонной смеси является от 1 % от массы цемента.

На рисунке 1 представлены образцы-балки контрольного состава (а) и образцы с содержанием трепела в количестве 1 % от массы цемента (б), на которых видно практически полное отсутствие высолов, в то время как на первых в верхней части отчетливо видны высолы.



а) б)
Рисунок 1. Фотография образцов-балок а) контрольный состав; б) состав с трепелом в количестве 1 % от массы цемента

Метакаолин вводили в количестве 0,25 % и 0,5 % от массы цемента. Высолообразование снижается с введением метакаолина в количестве 0,5 % от массы цемента. Метакаолин в цементных композициях способствует образованию новых гидратных фаз по реакциям:



Указанные выше реакции приводят к образованию труднорастворимых соединений.

Исследованные добавки обеспечивают снижение высолообразования на поверхности бетона, при этом не оказывают негативного влияния на свойства растворов и бетонов и незначительно влияют на технологические параметры: введение добавок приводит к некоторому увеличению водопотребности, что связано с высокой удельной поверхностью добавок. В среднем водопотребность увеличивается на 1,4 %; сроки схватывания отличаются от контрольного образца на $\pm 5 - 10$ минут.

Для оптимальных составов определяли водоотделение в соответствии с ГОСТ 310.6-85 [8]. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Водоотделение для образцов оптимальных составов

Вид добавки	Количество добавки, мас%	Коэффициент водотделения (объемный) Кв, %
Контрольный образец	0	24,4
Трепел	1	25,5
Кремнегель	0,25	24,4
Метакаолин	0,5	24,3

В таблице 2 приведены прочностные показатели оптимальных составов образцов бетона. Из данных таблицы видно, что введение добавок не сильно влияет на прочностные характеристики бетона.

Таблица 2

Прочностные характеристики образцов оптимальных составов

Вид добавки	Количество добавки, мас%	Прочность, МПа	
		изгиб	сжатие
Контрольный образец	0	4,9	29,2
Трепел	1	4,9	29,8
Контрольный образец	0	4	28,5
Кремнегель	0,25	3,9	29,0
Контрольный образец	0	7,5	34,0
Метакаолин	0,5	8,6	34,8

Таким образом, на основании проведенных исследований установлены оптимальные содержания испытанных добавок, которые снижают высолообразование. Результаты могут быть использованы на предприятиях по производству бетона и железобетона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Борьба с высолами может вестись по двум направлениям.

1. Радикальным решением проблемы высолообразования является введение добавок в цемент на стадии его помола, что придаст цементу необходимые качества по снижению

высолообразований. Однако данное решение проблемы осуществить сложно по технологическим и экономическим причинам.

2. Введением ряда природных или техногенных добавок непосредственно на бетонных заводах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности : ГОСТ 30459-96. – Введ. 01.09.1997 – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997.
2. Высолы на бетонных изделиях [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.euroblock.info/vysoly-na-betonnyh-izdeliyah> – Дата доступа: 18.09.2018.
3. Гидрофобизация фасадов и придание им водоотталкивающих свойств [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://zadobavkoj.ru/stati/33-gidrofobizaciya-fasadov.html> – Дата доступа: 18.09.2018.
4. Судникович, Т. М. Разработка составов минеральной добавки для предотвращения высолов на поверхности бетона / Т. М. Судникович, А. А. Мечай // Материалы докладов 68-й научно-технической конференции студентов и магистрантов БГТУ : сб. науч. работ: в 4 ч., Минск, 17–22 апреля 2017 г. – Мн.: БГТУ, 2017. – Ч. 2. – С. 314–316.
5. Высолы на цементных растворах (бетонах) [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://bigpo.ru/potra/Доклады+конференции+Baltimix-2006a/main.html> – Дата доступа: 19.09.2018.
6. Методы борьбы с высолообразованием [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://metarus.com/index.php/item/3-metody-borby-s-vysoloobrazovaniem> – Дата доступа: 20.09.2018.
7. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема: ГОСТ 310.3-76. – Введ. 01.01.1978 – М.: ИПК Издательство стандартов, 1978.

8. Цементы. Метод определения водоотделения : ГОСТ 310.6-85. – Введ. 01.01.1986 – М.: ИПК Издательство стандартов, 1986.
9. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии : ГОСТ 310.4-81. – Введ. 01.07.1983 – М.: ИПК Издательство стандартов, 1983.

Статья поступила: 26.11.2018

REFERENCES

1. *Dobavki dlya betonov. Metody opredeleniya effektivnosti* [Additives for concrete. Methods of determining the efficiency] : GOST 30459-96. Intr.: 01.09.1997. Moscow : PPC Standards publishing, 1997. (rus)
2. *Vysoly na betonnykh izdeliyakh* [Efflorescence on concrete products] [Electronic resource]. 2018. Mode of access: <http://www.euroblock.info/vysoly-na-betonnyh-izdeliyah>. Date of access: 18.09.2018. (rus)
3. *Gidrofobizatsiya fasadov i pridaniya im vodoottalkivayuschikh svoystv* [Hydrophobization of facades and getting water repellent properties] [Electronic resource]. 2018. Mode of access: <http://zadobavkoy.ru/stati/33-gidrofobizatsiya-fasadov.html>. Date of access: 18.09.2018. (rus)
4. Sudnikovich T. M., Mechay A. A. *Razrabotka sostavov mineral'noy dobavki dlya predotvrascheniya vysolov na poverkhnosti betona* [The development of mineral additives composition to prevent efflorescence on the concrete surface] // Abstracts of the 68th scientific and technical conference of students and undergraduates of the University BSTU: collection of scientific works: in 4 hours, Minsk, 17–22 April 2017. Minsk: BSTU, 2017. Part 2. Pp. 314–316. (rus)
5. *Vysoly na tsementnykh rastvorakh (betonakh)* [Efflorescence on cement mortars (concrete)] [Electronic resource]. 2018. Mode of access: <http://bigpo.ru/potra/Доклады+conference+Baltimix-2006a/main.html>. Date of access: 19.09.2018. (rus)

6. *Metody bor'by s vysoloobrazovaniem* [Methods of combating efflorescence] [Electronic resource]. 2018. Mode of access: <http://metarus.com/index.php/item/3-metody-borby-s-vysoloobrazovaniem>. Date of access: 20.09.2018. (rus)
7. *Tsementy. Metody opredeleniya normal'noy gustoty, srokov shvatyvaniya i ravnomernosti izmeneniya ob'ema* [Cements. Methods for determining the normal density, setting time and uniformity of volume changes]: GOST 310.3-76. Introduced: 01.01.1978. Moscow : PPC Standards publishing, 1978. (rus)
8. *Tsementy. Metod opredeleniya vodootvedeniya* [Cements. Method for determining water separation] : GOST 310.6-85. Introduced: 01.01.1986. Moscow : PPC Standards publishing, 1986. (rus)
9. *Tsementy. Metody opredeleniya predela prochnosti pri izgibe i szhatii* [Cements. Methods for determining the tensile strength in bending and compression] : GOST 310.4-81. Introduced: 01.07.1983. Moscow : PPC Standards publishing, 1983. (rus)

Received: 26.11.2018