

ПРИМЕНЕНИЕ РАСШИРЯЮЩИХСЯ ЦЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СУЛЬФОФЕРРИТА КАЛЬЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Зорин Д.А.

В настоящее время высотное строительство привлекает все большее внимание во всем мире. В больших строящихся городах меньше места, и одним из решений является многоэтажное строительство. Однако в высотных зданиях применяются особые требования, такие как прочность, теплоизоляция, ветровая нагрузка и другие. Когда бетон подвергается постоянным нагрузкам от ветра или механических нагрузок, он подвергается истиранию. Сопротивление этому процессу зависит от характеристик материалов, из которых сделаны бетонные и отделочные швы. В данной работе приведены исследования в области повышения ударопрочности и стойкости к истиранию цементного камня на основе сульфферрита кальция с точки зрения формирования его структуры. Полученные результаты будут способствовать разработке долговечных материалов для применения в высотном строительстве.

Ключевые слова: сульфферриты кальция, безусадочные цементы, ударная прочность, стойкость к истиранию

Введение. Обеспечение постоянной прочности сооружения – главная цель инженера, поэтому строительство высотного сооружения ведется с учетом ветровых нагрузок и их влияния на прочность зданий, шума ветра, теплоизоляции и в том числе на материалы, используемые для этого строительства.

Ветровая нагрузка для высотных строений считается наиболее важной из временных нагрузок. Это обусловлено тем, что применение в многоэтажном строительстве стальных и железобетонных конструкций

с облегченной арматурой и наполнителями привело к уменьшению веса постройки и сняло ограничение на высоту сооружений. Применение новых материалов и способов строительства привело к значительному снижению жесткости сооружения и в настоящее время ветровые нагрузки стали иметь важное значение при строительстве [1].

Ветровые нагрузки предполагают не только воздействие сильных ветров, но и учитывают передвижение воздушных масс с различной

влажностью и температурой, переносящих большое количество твердых частиц. Поэтому выбор строительного материала для возведения высотных зданий ограничивается не только технологическими особенностями, но и способностью сопротивляться химическим и физическим факторам воздействия [2].

Эрозия или выветривание, вызывается ветром, водой, обледенением и сопровождается сносом материала с поверхности бетона и оголением заполнителя. Так как бетон хрупкий материал, кромки на швах и стыках надламываются в результате ударного воздействия. Когда бетон подвергается постоянным нагрузкам твердых частиц или механических нагрузок происходит его истирание, сопротивление этому процессу зависит от характеристик материалов из которых состоит бетон или затирочные швы.

В конструкциях, подвергающихся атмосферному влиянию, углекислота вызывает формирование карбоната кальция, в гидравлических сооружениях под его воздействием в составе воды наблюдается выщелачивание, ему подвержены в основном вяжущие материалы [3,4].

Выщелачивание бетона такой же процесс, но проходит в присутствии влаги и представляет собой удаление цементного камня, разрушение усиливается под воздействием воды содержащей в себе углекислоту, серную кислоту органического происхождения [5,6].

К физическим разрушающим факторам бетона относится его усадка, как пластическая, так и гигрометрическая, приводящие к появлению микротрещин, трещин или провалам. Особенно это касается материалов, используемых для заделки стыков и швов. В настоящее время имеется опыт использования расширяющихся добавок для заделки швов при строительстве метрополитена, где такие материалы, используются для зачеканки стыков и изготовления тьюбингов [7-9].

Проблемам коррозионного повреждения бетонов уделяется большое внимание. Исследователи ищут возможности повышения стойкости цементных композиций с применением как различных видов вяжущих материалов, так и с введением в их состав коррозионно-устойчивых заполнителей и наполнителей [10-12]. Имеются исследования по коррозионной стойкости цементного камня с добавками сульфатированных клинкеров [5,13]. Поэтому исследования по повышению стойкости цементного камня на основе сульфатерритов кальция к ударному воздействию и истиранию с точки зрения формирования структуры цементного камня будут полезны при разработке долговечных материалов, применимых для высотного строительства.

Цементы на основе сульфатерритов кальция могут не только компенсировать усадку, но и вызывать расширение системы. Кроме того, эти цементы обладают высокими прочностными показателями [14-16].

Целью данного исследования являлось получение вяжущего материала на основе сульфатеррита кальция, обладающего безусадочными свойствами и устойчивого к истиранию и ударным воздействиям.

Материалы и методы исследования. Для получения вяжущего материала в работе использовался

сульфатерритный клинкер (СФК) и портландцементный клинкер (ПЦК). Физические свойства и химический анализ клинкеров приведены в таблице 1. Минералогический состав цемента представлен в таблице 2.

Таблица 1 – Физические и химические свойства цемента и сульфатерритного клинкера

	ПЦК	СФК
Удельный вес, кг/м ³	3.16	2.96
Тонкость помола, см ² /г	2700 (3500)	4230
Потери при прокаливании, %	0.21	0.01
SiO ₂ , %	22.03	12.23
Al ₂ O ₃ , %	5.15	3.09
CaO, %	65.41	51.83
MgO, %	1.20	1.92
SO ₃ , %	0.34	5.19
Fe ₂ O ₃ , %	4.86	23.79

Таблица 2 – Минералогический состав цемента

	ПЦК	СФК
Алит	67	-
Белит	8	25
Трехкальциевый алюминат	5	-
Четырехкальциевый алумоферрит	13	-
Сульфатеррит кальция	-	75

Вяжущий материал получали посредством замены части портландцементного клинкера порошком сульфатерритного клинкера. Портландцементный клинкер был размолот до удельных поверхностей по Блейну 2700 см²/г и 3500 см²/г. Отдельно размалывали двухводный гипс до удельной поверхности 3500 см²/г. Порошок сульфатерритного клинкера был размолот до фракций >80мкм, 63-80, 45-63, 28-45 и менее 28 мкм. Смеси готовились смешением компонентов в соотношении ПЦ-клинкер – 80%, РД (определенной фракции) – 10% и гипс – 10%. Готовые цементы затворялись водой при В/Ц = 0,4, из цементного теста формовали образцы, которые твердели в нормальных условиях в течение 1,3,7, 14 и 28 суток, а затем испытывались на прочность и расширение, образцы также подвергались физико-химическому анализу. Испытания на прочность проводились согласно ГОСТ 30744-2001. Испытания на истираемость проводилось по ГОСТ 13087-81.

Результаты и их обсуждение.

Структура цементного камня зависит главным образом от количества гидратов и пористости и заметно изменяется от состава и степени закристаллизованности кристаллогидратов, которая в свою очередь зависит от таких факторов как наличие примесей в минералах, условий твердения, а также от дисперсности твердеющей системы [5,15].

Для изучения влияния дисперсности расширяющегося компонента на формирование структуры цементного камня были приготовлены смеси портландцемента с расширяющимся компонентом сульфатеррит кальция различных фракций (фракция менее 28 мкм (№1), 28-45 (№2), 45-63 (№3), 63-80 (№4) и более 80 мкм (№5)).

Портландцементный клинкер был смолот до удельных поверхностей по Блейну 2700 и 3500 см²/г. Отдельно размалывали двухводный гипс до удельной

поверхности 3500 см²/г. Смеси готовились смешением компонентов в соотношении ПЦ-клинкер – 80%, РД (определенной фракции) – 10% и гипс – 10%. Готовые цементы затворялись водой при В/Ц = 0,4, из цементного теста формовали образцы, которые твердели в нормальных условиях в течение 1,3,7, 14 и 28 суток, а затем испытывались на прочность и расширение. Полученные результаты представлены в таблице 3 и на рисунке 1.

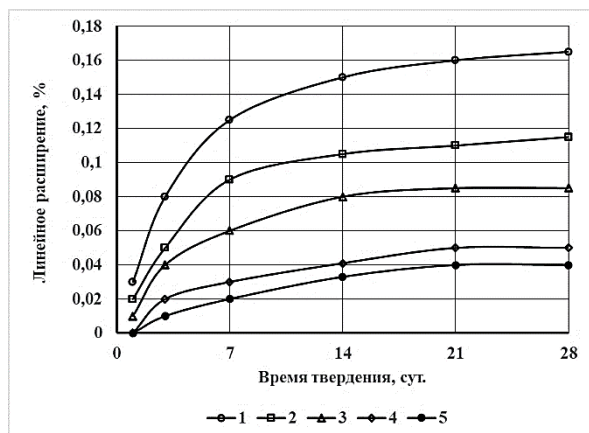


Рисунок 1 – Линейное расширение образцов ПЦкл.-СФ кальция-Г различных фракций.(номера фракций согласно таблице 3)

Таблица 3 - Прочностные и деформационные характеристики модельных смесей с расширяющимися добавками различных фракций.

Номера фракций	Фракция расширяющейся добавки, мкм	Смесь с ПЦкл $S_{уд} = 2700 \text{ см}^2/\text{г}$				Смесь с ПЦкл $S_{уд} = 3500 \text{ см}^2/\text{г}$			
		Прочность, МПа		Самонапряжение, МПа		Прочность, МПа		Самонапряжение, МПа	
		1 сут	28 сут	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут
1	<28	15	58	0,48	1,5	18	61	0,6	1,8
2	28-45	14,8	56	0,44	1,3	17	59	0,55	1,6
3	45-63	14,2	53	0,41	1,12	15	57	0,5	1,5
4	63-80	12,5	51	0,32	0,96	13	54	0,4	1,3
5	>80	10,6	44	0,08	0,9	11	48	0,1	1,2

Увеличение тонкости помола портландцемента при постоянной фракции расширяющегося компонента сопровождается повышением прочности цемента. Причем эффект расширения зависит как от тонкости расширяющегося компонента, так и от вида компонента.

Для расширяющегося компонента на основе сульфогеррита кальция наибольший эффект расширения достигается, когда он находится в составе цемента в мелких фракциях (<28 мкм и 28-45 мкм). Скорость их гидратации возрастает как за счет увеличения реагирующей поверхности частиц, так и их активности. Более высокая гидратационная активность мелких частиц обеспечивает ускорение формирования безусадочной структуры цементного камня, а быстрая гидратация тонкомолотой портландцементной составляющей обеспечивает уплотнение структуры и повышение прочности цементного камня.

Таким образом, можно заключить, что для получения расширяющихся цементов на основе добавок сульфогеррита кальция необходимо стремиться к тому, чтобы эти минералы содержались в тонких фракциях. Для получения плотного прочного цементного камня

Наибольшее расширение наблюдается у образцов содержащие мелкие фракции минералов СФК, так как их гидратация протекает более интенсивно, чем у минералов крупных фракций. Зависимости расширения у цементов на основе ПЦК с различной удельной поверхностью (2700 и 3500 см²/г) примерно одинаковы (рисунок 1). При этом формируется менее пористая структура камня, которая обуславливает высокую прочность образцов, а при ограничении расширения и самонапряжения камня, причем наилучшие результаты получаются в сочетании с портландцементным клинкером, размолотым до удельной поверхности $S_{уд} = 3500 \text{ см}^2/\text{г}$. (таблица 3).

По данным электронно-микроскопических исследований формирование структуры цементного камня с тонкоразмолотым портландцементным клинкером и тонкой фракцией сульфогеррита кальция обусловлено образованием призматических кристаллов железистого этрингита и мелкокристаллической и гелеобразной массой гидросиликатов кальция.

Проведенные исследования показывают, что тонкость помола и грансостав цемента оказывает большое влияние на формирование структуры цементного камня. При этом имеет значение дисперсность как портландцементной составляющей, так и расширяющегося компонента.

портландцементная составляющая должна быть размолота до удельной поверхности не менее 3000 см²/г.

Такой цемент при твердении образует прочный и плотный цементный камень [5] и может обеспечить устойчивость к истиранию при использовании его для заделки стыков и швов.

Для подтверждения этого предположения были проведены исследования образцов из цементов, содержащих сульфогерриты кальция. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Истираемость образцов из цементов, содержащих сульфогерриты кальция

Предельные расходы цемента, кг/м ³	400	425	450
Величина водоцементного отношения, В/Ц	0,45	0,42	0,40
Предельные потери массы (в кг на 1 м ² площади истирания за 1 час) водонасыщенных образцов ($I_{пред}$)	0,55	0,48	0,30

Результаты показывают, что образцы из цементов, содержащих сульфогерриты кальция характеризуются устойчивостью к истираемости, поэтому могут быть

рекомендованы для использования в конструкциях, подвергающихся повышенным физическим воздействиям.

Заключение. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. У минерала сульфогеррита кальция любой фракции всегда образуются призматические кристаллы железистого этtringита. От дисперсности минерала зависит только гидратационная активность. Более мелкие фракции гидратируются быстрее, а средние и грубые очень медленно из-за его низкой гидратационной активности, и образование призматических кристаллов железистого этtringита наблюдается в возрасте 7-14 суток.

2. Для получения расширяющих добавок на основе сульфогеррита кальция предпочтителен

полифракционный состав, сочетающий в себе только мелкие фракции (<28 мкм и 28-45 мкм).

3. Формирование структуры цементного камня с тонкоразмолотым порландцементным клинкером и тонкой фракцией сульфогеррита кальция обусловлено образованием призматических кристаллов железистого этtringита и мелкокристаллической и гелеобразной массой гидросиликатов кальция.

4. Вяжущие материалы на основе сульфогерритов кальция способны расширяться и обладают высокими прочностями, при этом образуется цементный камень стойкий к истиранию. Поэтому такие вяжущие могут использоваться при высотном строительстве в качестве материала для заделки стыков и швов.

Литература:

1. Особенности оценки ветрового воздействия на высотные здания // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по материалам XXX студ. междунар. заочной науч.-практ. конф. — М.: «МЦНО». — 2016 — № 1 (30) / [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/1\(30\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/1(30).pdf)

2. Самченко С.В. Сульфогерритные цементы, свойства и применение/ Бетон и железобетон \ Сборный железобетон. 2014, №1 (10). С.18-21

3. Svetlana V. Samchenko, Dmitriy A. Zorin Use sulfogerritic cements in construction// E3S Web of Conferences 33, 02070 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302070> International Scientific Conference on High-Rise Construction, HRC 2017

4. Samchenko S.V., Kouznetsova T.V. Resistance of the calcium sulphoaluminate phases to carbonation //Cement, Wapno, Beton. 2014. Т. 2014. № 5. P. 317-322

5. Самченко С.В. Формирование и генезис структуры цементного камня. Монография – М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. – 284 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49874>

6. Pengkun Hou, Rui Zhang, Yamei Cai, Xin Cheng, Surendra P. Shah In situ Ca(OH)₂ consumption of TEOS on the surface of hardened cement-based materials and its improving effects on the Ca-leaching and sulfate-attack resistivity // Construction and Building Materials, Volume 113, 15 June 2016, Pages 890-896

7. T.V.Kouznetsova, D.J.Frenkel, Y.R.Krivoborodov The use shrinkage-compensating cements in metro building/ 12th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC). Montreal, Canada, 2007, pst. 5.07

8. Кузнецова Т.В., Френкель Д.Я., Кривобородов Ю.Р. Модифицирование порландцемента для устранения усадки бетона/ Цемент и его применение, 2007, № 4. – с.14-15

9. Харченко И.Я., Харченко А.И., Алексеев В.А., Баженов М.А. Применение расширяющихся цементов для фибронабрызгбетона при строительстве подземных сооружений // Вестник МГСУ. 2017. Том 12(3 (102)). С. 334-340.

10. Брыков А.С., Васильев А.С., Мокеев М.В. Сульфатостойкость порландцементного камня с

References:

1. Osobennosti otsenki vetrovogo vozdeystviya na vysotnye zdaniya, Youth science forum: Technical and mathematical Sciences, Moscow, 1 (30) (2016).

2. S.V. Samchenko, Sul'foalyumoferritnye tsementy, svoystva i primeneniye/ Beton i zhelezobeton, Sbornyy zhelezobeton, 1 (10) 18-21 (2014)

3. Svetlana V. Samchenko, Dmitriy A. Zorin Use sulfogerritic cements in construction// E3S Web of Conferences 33, 02070 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302070> International Scientific Conference on High-Rise Construction, HRC 2017

4. S.V. Samchenko, T. V. Kouznetsova, Resistance of the calcium sulphoaluminate phases to carbonation, Cement, Wapno, Beton. 5, 317-322 (2014)

5. Samchenko S.V. Formirovaniye i genezis struktury tsementnogo kamnya. Monografiya – М.: Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet, Ay Pi Er Media, EBS ASV, 2016. – 284 s. Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/49874>

6. Pengkun Hou, Rui Zhang, Yamei Cai, Xin Cheng, Surendra P. Shah In situ Ca(OH)₂ consumption of TEOS on the surface of hardened cement-based materials and its improving effects on the Ca-leaching and sulfate-attack resistivity // Construction and Building Materials, Volume 113, 15 June 2016, Pages 890-896

7. T.V.Kouznetsova, D.J.Frenkel, Y.R.Krivoborodov The use shrinkage-compensating cements in metro building/ 12th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC). Montreal, Canada, 2007, pst. 5.07

8. Kouznetsova T.V., Frenkel' D.YA., Krivoborodov YU.R. Modifitsirovaniye portlandtsementa dlya ustraneniya usadki betona./ Tsement i yego primeneniye, 2007, № 4. – с.14-15

9. Kharchenko I.YA., Kharchenko A.I., Alekseyev V.A., Bazhenov M.A. Primeneniye rasshiryayushchikhsya tsementov dlya fibronabryzgbetona pri stroitel'stve podzemnykh sooruzheniy // Vestnik MGSU. 2017. Tom 12(3 (102)). S. 334-340.

10. Brykov A.S., Vasil'yev A.S., Mokeyev M.V. Sul'fatostoykost' portlandtsementnogo kamnya s alyumosoderzhashchimi uskoritelyami skhvatyvaniya // Tsement i yego primeneniye. 2013. № 5. S. 59-63.

11. Safarov K.B., Stepanova V.F.Regulirovaniye

алюмосодержащими ускорителями схватывания // Цемент и его применение. 2013. № 5. С. 59-63.

11. Сафаров К.Б., Степанова В.Ф. Регулирование реакционной способности заполнителей и повышение сульфатостойкости бетонов путем совместного применения низкокальциевой золы-уноса и высокоактивного метакАОлина Строительные материалы. 2016. № 5. С. 70-73.

12. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Гамалий Е.А. Бетоны высокой сульфатостойкости // Цемент и его применение. 2011. № 4. С. 127-131.

13. Samchenko, S.V. Corrosion resistance of sulfated cements in carbonate and in carbonate-sulfate mediums / S.V. Samchenko, O.V. Zemskova, D.A. Zorin // MATEC Web of Conferences 106, 03014 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/201710603014 SPbWOSCE-2016.

14. Осокин А.П., Кривобородов Ю.Р. Свойства расширяющихся цементов и их применение // Цемент и его применение. 2004. № 6. С. 43.

15. Samchenko S.V., Zorin D.A. Influence of fineness of expansive components of cement properties // Cement-Wapno-Beton, vol. XIII/LXXV, № 5, 2008. - P. 254-257.

16. Кривобородов Ю.Р., Самченко С.В. Физико-химические свойства сульфатированных клинкеров Аналитический обзор / Москва, 1991. Сер. I Цементная промышленность Выпуск 2. 55 с.

reaktsionnoy sposobnosti zapolniteley i povysheniye sul'fatostoykosti betonov putem sovmnestnogo primeneniya nizkokal'tsiyevoy zoly-unosa i vysokoaktivnogo metakaolina Stroitel'nyye materialy. 2016. № 5. S. 70-73.

12. Kramar L.YA., Trofimov B.YA., Gamaliy Ye.A. Betony vysokoy sul'fatostoykosti // Tsement i yego primeneniye. 2011. № 4. S. 127-131.

13. Samchenko, S.V. Corrosion resistance of sulfated cements in carbonate and in carbonate-sulfate mediums / S.V. Samchenko, O.V. Zemskova, D.A. Zorin // MATEC Web of Conferences 106, 03014 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/201710603014 SPbWOSCE-2016.

14. Osokin A.P., Krivoborodov YU.R. Svoystvo rasshiryayushchikhsya tsementov i ikh primeneniye // Cement i ego primeneniye. 2004. № 6. S. 43.

15. Samchenko S.V., Zorin D.A. Influence of fineness of expansive components of cement properties // Cement-Wapno-Beton, vol. XIII/LXXV, № 5, 2008. - P. 254-257.

16. Krivoborodov YU.R., Samchenko S.V. Fiziko-khimicheskiye svoystva sul'fatirovannykh klinkerov Analiticheskiy obzor / Moskva, 1991. Ser. I Cementnaya promyshlennost' Vypusk 2. 55 s.

Зорин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

E-mail dim-z@yandex.ru