

Композиционные цементы с повышенной коррозионной стойкостью

© Тхет⁺ Наинг Мьинт, Кривобородов^{*+} Юрий Романович, Хтет Паинг Аунг

Кафедра химической технологии композиционных и вяжущих материалов.

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева.

пл. Миусская, д.9. г. Москва, 125047. Россия. Тел.: +7 (495) 495-38-57.

E-mail: ykriv@rambler.ru ; phaymyint.mgwe@gmail.com

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: портландцемент, сульфатированный клинкер, гидратация, коррозионная стойкость цементного камня.

Аннотация

Ключевым направлением в развитии строительных материалов является поиск путей модификации традиционных составов для придания им улучшенных эксплуатационных характеристик. Одной из таких перспективных возможностей является повышение основных свойств бетонных изделий за счёт применения усовершенствованного вяжущего на основе портландцемента, модифицированного сульфатированными клинкерами.

Исследования показывают, что введение данных добавок принципиально меняет процессы гидратации цемента. В результате химических реакций в структуре формирующегося цементного камня образуются специфические соединения – алюминатный и железистый эттрингит. Именно эти гидратные фазы играют ключевую роль в упрочнении материала. Образующиеся игольчатые и удлинённые кристаллы эттрингита создают внутреннее армирование, плотно заполняя микропоры и капилляры. Это приводит к значительному уплотнению структуры, что, в свою очередь, обуславливает рост механической прочности бетона на всех стадиях твердения.

Кроме того, данный механизм обеспечивает существенное повышение долговечности материала. Уплотнённая структура, лишённая крупных пор, становится менее проницаемой для агрессивных сред. Однако главный положительный эффект заключается в целенаправленном повышении стойкости к сульфатной коррозии. Эттрингит, стабильно существующий в цементном камне, не вызывает деструктивных расширений, а, напротив, блокирует возможность последующего образования вредного эттрингита при контакте с сульфатами извне. Таким образом, использование портландцемента с сульфатированными клинкерами позволяет комплексно улучшить как прочностные, так и защитные свойства бетонных изделий, расширяя сферу их применения в условиях агрессивной среды.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Тхет Наинг Мьинт, Кривобородов Ю.Р., Хтет Паинг Аунг. Композиционные цементы с повышенной коррозионной стойкостью. *Бутлеровские сообщения*. 2025. Т.83. №9. С.47-55. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-9-47

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Тхет Наинг Мьинт, Кривобородов Ю.Р., Хтет Паинг Аунг. Композиционные цементы с повышенной коррозионной стойкостью. *Бутлеровские сообщения В*. 2025. Т.11. №3. Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-9-47/ROI-jbc-RB/25-11-3-6

The output for citing the English online version of the article:

Thet Naing Myint, Yury R. Krivoborodov, Htet Paing Aung. Composite cements with high corrosion resistance. *Butlerov Communications B*. 2025. Vol.11. No.3. Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-9-47/ROI-jbc-B/25-11-3-6

- [1] Кривобородов Ю.Р., Самченко С.В. Цементные минералы и их твердые растворы минералов. *Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2020. 176с.* https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010376352/ [Yu.R. Krivoborodov, S.V. Samchenko. Cement minerals and their solid solutions of minerals. *Moscow: D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology. 2020. 176p.* https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010376352/ (Russian)]
- [2] Зорин Д.А. Применение расширяющихся цементов на основе сульфогеррита кальция в строительстве. *Техника и технология силикатов. 2019. Т.26. №1. С.21-25.* <https://tsilicates.ru/ru/nauka/article/80829/view> [D.A. Zorin. Application of expanding cements based on calcium sulfoferrite in construction. *Silicate Engineering and Technology. 2019. Vol.26. No.1. P.21-25.* <https://tsilicates.ru/ru/nauka/article/80829/view> (Russian)]
- [3] S.V. Samchenko, O.V. Zemskova, D.A. Zorin. Corrosion-resistant cements based on sulfated clinkers. *American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2018-June (SP 326). P.234-237.* <https://pdfs.semanticscholar.org/1ef5/9ad1f0a7fbc2dee002a8a3cc56254692fd2b.pdf>
- [4] Y.R. Krivoborodov, S.V. Samchenko, T.V. Kouznetsova. Chemistry composition and properties of sulfated cements. *American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2018-June (SP 326). P.154-161.* <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Yu-R-Krivoborodov-2142045817>
- [5] Кривобородов Ю.Р., Верещагин П.М., Самченко С.В., Анпилогова Е.Н. Цементы с повышенной коррозионной стойкостью. Геология, бурение, разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. Науч.-техн. сб. *Москва: ООО «ИРЦ Газпром». 2004. №4. С.8-16.* https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002492222/ [Yu.R. Krivoborodov, P.M. Vereshchagin, S.V. Samchenko, E.N. Anpilogova. Cements with increased corrosion resistance. Anpilogova. *Geology, drilling, development and operation of gas and gas condensate fields. Scientific and technical collection. Moscow: ООО IRC Gazprom. 2004. №4. P.8-16.* https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002492222/ (Russian)]
- [6] Кривобородов Ю.Р., Ключов И.А., Фролов А.А., Самченко С.В. Разновидности тампонажных цементов и их свойства. Обзорная информация. Серия "Бурение газовых и газоконденсатных скважин". *Москва: ООО "ИРЦ Газпром". 2003. 70с.* https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002492222/ [Yu.R. Krivoborodov, I.A. Klyusov, A.A. Frolov, S.V. Samchenko. Types of oil well cements and their properties. Review information. Series "Drilling gas and gas condensate wells". *Moscow: ООО IRC Gazprom. 2003. 70p.* https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_522403/ (Russian)]
- [7] Кузнецова Т.В., Кривобородов Ю.Р. Состав, свойства и применение специальных цементов. *Технологии бетонов. 2014. №2. С.8-11.* <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=PRSV-tbet/2014/2-818258> [T.V. Kuznetsova, Yu.R. Krivoborodov. Composition, properties and application of special cements. *Concrete Technologies. 2014. №2. P.8-11.* <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=PRSV-tbet/2014/2-818258> (Russian)]
- [8] Харченко А.И., Харченко И.Я., Алексеев В.А., Баженова С.И. Применение расширяющихся цементов для набрызгбетона в тоннельном строительстве. *Вестник МГСУ. 2019. Т.14. №11 (134). С.1438-1448.* <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41500983> [A.I. Kharchenko, I.Ya. Kharchenko, V.A. Alekseev, S.I. Bazhenova. Application of expanding cements for shotcrete in tunnel construction. *Bulletin of MGSU. 2019. Vol.14. No.11 (134). P.1438-1448.* <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41500983> (Russian)]
- [9] Харченко И.Я., Харченко А.И., Алексеев В.А., Баженов Д.А. Применение расширяющихся цементов для фиброна брызгбетона при строительстве подземных сооружений. *Вестник МГСУ. 2017. Т.12. №3 (102). С.334-340.* <https://rucont.ru/efd/603741> [I.Ya. Kharchenko, A.I. Kharchenko, V.A. Alekseev, D.A. Bazhenov. Application of expanding cements for fiber spray concrete in the construction of underground structures. *Bulletin of MGSU. 2017. Vol.12. No.3 (102). P.334-340.* <https://rucont.ru/efd/603741> (Russian)]
- [10] I.Ya. Kharchenko, A.P. Pustovgar, S.A. Pashkevich, A.V. Eremin, I.S. Ivanova, Yu.M. Bazhenov, A.I. Kharchenko. Expanding cements hardening within the limited deformations conditions. *Journal of Civil Engineering. 2017. №7 (75). P.161-170.* <https://elib.spbstu.ru/dl/2/j18-459.pdf/download/j18-459.pdf>
- [11] Зорин Д.А. Размалываемость расширяющих цементных добавок. *Техника и технология силикатов. 2019. Т.26. №3. С.90-93.* <https://tsilicates.ru/ru/nauka/article/101576/view> [D.A. Zorin. Grindability of expanding cement additives. *Silicate Engineering and Technology. 2019. Vol.26. No.3. P.90-93.* <https://tsilicates.ru/ru/nauka/article/101576/view> (Russian)]
- [12] Самченко С.В. Формирование и генезис структуры цементного камня. Монография *Москва: Московский государственный строительный университет. Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ. 2016. 284с.* <http://www.iprbookshop.ru/49874> [S.V. Samchenko. Formation and genesis of the structure of cement stone. Monograph. *Moscow: Moscow State University of Civil Engineering, IPR Media, EBS ASV. 2016. P.284.* <http://www.iprbookshop.ru/49874> (Russian)]
- [13] I.Ya. Kharchenko, A.P. Pustovgar, S.A. Pashkevich, A.V. Eremin, I.S. Ivanova, Yu.M. Bazhenov,

- A.I. Kharchenko. Expanding cements hardening within the limited deformations conditions. *Journal of Civil Engineering*. **2017**. №7 (75). P.161-170. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35039903>
- [14] Борисов И.Н., Гребенюк А.А. Особенности гидратации и набора прочности сульфогерритных клинкеров и специальных цементах на их основе. *Цемент и его применение*. **2019**. №3. С.88. <https://jcement.ru/magazine/vypusk-3-19/osobennosti-gidratatsii-i-nabora-prochnosti-sulfoferritnykh-klinkerov-i-spetsialnykh-tsementov-na-ikh/> [I.N. Borisov, A.A. Grebenyuk. Features of hydration and strength gain of sulfoferrite clinkers and special cements based on them. *Cement and its Application*. **2019**. No.3. P.88. <https://jcement.ru/magazine/vypusk-3-19/osobennosti-gidratatsii-i-nabora-prochnosti-sulfoferritnykh-klinkerov-i-spetsialnykh-tsementov-na-ikh/>]
- [15] S.V. Samchenko, T.V. Kouznetsova. Resistance of the calcium sulphoaluminate phases to carbonation. *Cement, Wapno, Beton*. **2014**. Vol.2014. No.5. P.317-322. https://www.researchgate.net/publication/291964066_Resistance_of_the_calcium_sulphoaluminate_phases_to_carbonation
- [16] Кривобородов Ю.Р., Кузнецова Т.В., Самченко С.В. Структурные изменения в огнеупорных бетонах на основе алюминатов кальция. *Новые огнеупоры*. **2018**. №3. С.45-49. <https://newogneup.elpub.ru/jour/article/view/934/848> [Yu.R. Krivoborodov, T.V. Kuznetsova, S.V. Samchenko. Structural changes in refractory concretes based on calcium aluminates. *New Refractories*. **2018**. No.3. P.45-49. <https://newogneup.elpub.ru/jour/article/view/934/848> (Russian)]
- [17] Абзаев Ю.А., Саркисов Ю.С., Кузнецова Т.В., Самченко С.В., Клопотов А.А., Клопотов В.Д., Афанасьев Д.А. Анализ структурно-фазового состояния моноалюмината кальция. *Инженерно-строительный журнал*. **2014**. №3. С.56-62. [https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/3\(47\)/06.pdf](https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/3(47)/06.pdf) [Yu.A. Abzaev, Yu.S. Sarkisov, T.V. Kuznetsova, S.V. Samchenko, A.A. Klopotov, V.D. Klopotov, D.A. Afanasyev. Analysis of the structural and phase state of calcium monoaluminate. *Civil Engineering Journal*. **2014**. No.3. P.56-62. [https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/3\(47\)/06.pdf](https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/3(47)/06.pdf) (Russian)]
- [18] Тхет Наинг Мьинт, Хан Тао Ко, Зо Е Мо У, Кривобородов Ю.Р. Влияние добавки сульфогерритного клинкера на свойства портландцемента. Инновационные материалы и технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. *Минск: БГТУ*. **2021**. С.572-575. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/44912> [Thet Naing Myint, Han Tao Ko, Zo Ye Mo U, Yu.R. Krivoborodov. The effect of adding sulfoaluminoferrite clinker on the properties of Portland cement. Innovative materials and technologies: Proc. Int. scientific and technical. conf. of young scientists. *Minsk: BSTU*. **2021**. P.572-575. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/44912> (Russian)]
- [19] Тхет Наинг Мьинт, Мин Хеин Хтет, Хан Тао Ко, Кривобородов Ю.Р. Коррозионная стойкость цементного камня на основе портландцемента. Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции. *Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т*. **2020**. С.105-108. https://kpfu.ru/staff_files/F360306387/Sbornik_RESURSY_2020.pdf [Thet Naing Myint, Min Hein Htet, Han Tao Ko, Yu.R. Krivoborodov. Corrosion resistance of cement stone based on Portland cement. Resource-energy efficient technologies in the construction complex: collection of scientific papers based on the materials of the VIII International scientific and practical conference. *Saratov: Saratov State Tech. Univ*. **2020**. P.105-108. https://kpfu.ru/staff_files/F360306387/Sbornik_RESURSY_2020.pdf (Russian)]
- [20] Тхет Наинг Мьинт. Свойства портландцемента с добавкой сульфогерритного клинкера. Химия и химическая технология в XXI веке: Материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. *Томск: Изд-во Томского политехнического университета*. **2020**. С.135-136. <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/72361> [Thet Naing Myint. Properties of Portland cement with the addition of sulfoaluminoferrite clinker. Chemistry and chemical technology in the 21st century: materials of the XXI International scientific and practical conference of students and young scientists. *Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University*. **2020**. P.135-136. <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/72361> (Russian)]
- [21] Тхет Наинг Мьинт, Хтет Паинг Аунг, Кривобородов Ю.Р. Влияние состава расширяющегося цемента на стойкость камня при сульфатной агрессии. Химия и химическая технология в XXI веке: Материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. *Томск: Изд-во Томского политехнического университета*. **2021**. Т.1. С.130-131. <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/20172/257.pdf?sequence=1> [Thet Naing Myint, Htet Paing Aung, Yu.R. Krivoborodov. Effect of the composition of expanding cement on the resistance of stone to sulfate aggression. Chemistry and chemical technology in the XXI century: Proceedings of the XXII International scientific and practical conference of students and young scientists. *Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University*. **2021**. Vol.1. P.130-131. <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/20172/257.pdf?sequence=1> (Russian)]

Полная исследовательская публикация — Тхет Наинг Мьинт, Кривобородов Ю.Р., Хтет Паинг Аунг

- [22] Тхет Наинг Мьинт, Хтет Паинг Аунг, Кривобородов Ю.Р. Свойства сульфалоомоферритных цементов при твердении в агрессивных растворах. Успехи в химии и химической технологии: Сб. науч. тр. Том XXXV. №4 (239). Москва: ПХТУ им. Д.И. Менделеева. **2021**. С.108-110. <https://www.openrepository.ru/article?id=727342> [Thet Naing Myint, Htet Paing Aung, Yu.R. Krivoborodov. Properties of sulfoaluminoferrite cements during hardening in aggressive solutions. Advances in chemistry and chemical technology: collection of scientific papers. Vol.XXXV, No.4 (239). Moscow: RUCTU n.a. D.I. Mendeleev. **2021**. P.108-110. <https://www.openrepository.ru/article?id=727342> (Russian)]
- [23] Yu.R. Krivoborodov, Thet Naing Myint. Development of Chemistry and Technology of Special Cements. *Proceedings of conference on Science and Technology Development - 2022. Republic of the Union of Myanmar*, Pyin Oo Lwin, Myanmar, Defence Services Academy. **2022**. Vol.II. P.7-12. <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc100813/>
- [24] Thet Naing Myint, Yury R. Krivoborodov, Htet Paing Aung. Composite cements with high corrosion resistance. *Butlerov Communications B*. **2025**. Vol.11. No.3. Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-9-47/ROI-jbc-B/25-11-3-6
- [25] Тхет Наинг Мьинт, Кривобородов Ю.Р., Хтет Паинг Аунг. Композиционные цементы с повышенной коррозионной стойкостью. *Бутлеровские сообщения В*. **2025**. Т.11. №3. Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-9-47/ROI-jbc-RB/25-11-3-6

The English version of the article have been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications B
Advances in Chemistry & Thermophysics

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-B/25-11-3-6

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-9-47/ROI-jbc-B/25-11-3-6

Composite cements with high corrosion resistance

© **Thet Naing Myint,⁺ Yury R. Krivoborodov,^{*+} Htet Paing Aung**

Department of Chemical Technology of High-Temperature Composite and Binding Materials.

D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology. Miusskaya Sq., 9. Moscow, 125047. Russia.

Phone: +7 (495) 495-38-57. E-mail: ykriv@rambler.ru ; phaymyint.mgwe@gmail.com

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: portland cement, sulfated clinker, hydration, corrosion resistance of cement stone.

Abstract

The key area of development in building materials is the search for ways to modify traditional compositions to improve their performance characteristics. One such promising opportunity is enhancing the key properties of concrete products through the use of an improved binder based on Portland cement modified with sulfated clinkers.

Research shows that the introduction of these additives fundamentally alters the cement hydration process. As a result of chemical reactions, specific compounds – aluminate and ferrous ettringite – form within the structure of the forming cement paste. These hydrated phases play a key role in strengthening the material. The resulting acicular and elongated ettringite crystals create internal reinforcement, tightly filling micropores and capillaries. This leads to significant structural compaction, which, in turn, increases the mechanical strength of concrete at all stages of curing.

Furthermore, this mechanism significantly increases the durability of the material. A compacted structure devoid of large pores becomes less permeable to aggressive environments. However, the main positive effect lies in the targeted increase in resistance to sulfate corrosion. Ettringite, which is stable in the cement stone, does not cause destructive expansions; instead, it prevents the subsequent formation of harmful ettringite upon contact with external sulfates. Thus, the use of Portland cement with sulfated clinkers allows for a comprehensive improvement in both the strength and protective properties of concrete products, expanding their range of application in aggressive environments.