

*Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, проф.,
Толыпина Н.М., д-р техн. наук, проф.,
Хахалева Е.Н., канд. техн. наук, доц.,
Толыпин Д.А., студент*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫБОРА ТИПА ЦЕМЕНТА ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

tolypina.nm@bstu.ru

В настоящее время в промышленно-развитых зарубежных странах существует тенденция использовать в борьбе с коррозией строительных изделий гидратационного твердения способы снижения проницаемости бетонов для агрессивных агентов внешней среды. Авторы статьи считают, что в вопросах защиты бетона и железобетона от коррозии необходимо использовать все имеющиеся в распоряжении специалистов средства, важнейшим из которых является правильный выбор цемента. Повышение коррозионной стойкости путем снижения водоцементного отношения бетонной смеси является универсальным способом, однако не всегда может обеспечить сохранность эксплуатационных свойств бетонных изделий и конструкций в агрессивных средах на весь срок службы. В связи с этим даны рекомендации по выбору типа цемента для наиболее часто встречающихся на практике агрессивных сред. Анализ литературных источников, показывает, что во многих случаях целесообразно использовать цемент с активными минеральными добавками.

Ключевые слова: *портландцемент, тип вяжущего, коррозия, агрессивная среда, бетоны.*

Введение. В последние годы долговечности бетонов уделяется большое внимание. Опыт строительства показывает, что неправильная оценка агрессивных компонентов окружающей среды и ошибочный выбор цементов, принципиально нестойких в данной среде, может привести к преждевременным разрушениям строительных изделий и конструкций. Долговечные материалы и изделия на цементной основе должны сохранять свою работоспособность в течение всего запланированного срока службы независимо от физических, химических и биологических негативных воздействий. Учитывая возрастающие масштабы строительства в РФ, использование первичных способов защиты бетонных и железобетонных конструкций от воздействия химических и биологических факторов может обеспечить экономию в млрд. руб/год.

В настоящее время в промышленно-развитых зарубежных странах наметилась тенденция бороться с коррозией строительных изделий и конструкций путем снижения проницаемости бетонов для агрессивных агентов внешней среды. При этом, подчеркнем, считают, что снижение водопотребности бетонной смеси сильно повышает долговечность, поэтому тип использованного цемента не имеет значения и нет необходимости в использовании наиболее стойкого в данной агрессивной среде цемента [1–5]. Авторы полагают, что эта точка зрения является спорной. В вопросах защиты бетона и железобетона от коррозии необходимо использовать все имеющиеся

в распоряжении специалистов средства, важнейшим из которых является правильный выбор цемента [6–8], так как при этом можно добиться самоторможения коррозии благодаря процессам кольтматации. Правильный выбор типа цемента и применение средств, снижающих водопотребность цементных систем – меры, не взаимоисключающие, а взаимодополняющие друг друга.

Основная часть. К сожалению, цемент является слабоизученным материалом, склонным к различным аномальным явлениям. Об этом говорят экспериментальные исследования и реальные факты, свидетельствующие о самопроизвольном растрескивании бетона даже в нормальных условиях эксплуатации. Внутренние напряжения могут усилить разрушение от коррозии. Поэтому применение только способа уплотнения бетона для повышения его стойкости в агрессивной среде является недостаточным.

Существующие методы снижения проницаемости цементной матрицы бетона в различных агрессивных средах путем введения в бетонную смесь так называемых супер- и гиперпластификаторов не всегда достаточно эффективны. Это относится прежде всего к тощим бетонам, у которых доля цементной составляющей относительно мала, а также к бетонам на основе малоалюминатных цементов с повышенным содержанием щелочей и сульфатов, которые слабо подвержены действию пластифицирующих добавок.

Нельзя гарантировать при изготовлении конструкций отсутствие микродефектов, которые

выполняют роль проводящих каналов для агрессивных компонентов окружающей среды. Защитой от таких негативных факторов, снижающих долговечность зданий и сооружений, может быть только правильный выбор цемента с учетом его основности. Необходимо использовать химизм процессов, протекающих в цементной матрице бетонов для повышения их коррозионной стойкости [9].

На основе анализа и обобщения литературных данных [10–16] в таблице 1 приведены сведения о наиболее распространенных видах агрессивных воздействий, которым подвергаются бетонные изделия и конструкции в процессе эксплуатации. Чаще всего это здания и сооружения химической промышленности, сельского и водного хозяйства.

Таблица 1

Рекомендуемые типы цемента для изделий, эксплуатирующихся в агрессивных средах

№ п/п	Где встречается	Степень агрессивности	Агрессивные компоненты	Вид коррозии	Рекомендуемый тип вяжущего (ГОСТ 31108-2016)
1	Атмосфера Земли	++	CO ₂ (газ)	Углекислотная в среде газа	ЦЕМ I, ЦЕМ II/A
2	Производство азотных удобрений, нитроцеллюлозы, органических нитропродуктов, искусственного нитроволокна	+++	Азотная кислота, аммиачная селитра	Кислотная	ЦЕМ III/A
3	Производство и складирование минеральных удобрений	++	Нитрат калия, натрия, аммония	Кислотная, выщелачивание	ЦЕМ III/A
			Серная кислота	Кислотная	
4	Кожевенное производство, изготовление бумаги	+++	Сернокислый алюминий, хроматы натрия и калия	Сульфатная	ЦЕМ I CC, ЦЕМ III/A
5	Производство соды	++	Водный р-р CO ₂	Углекислая	ЦЕМ III/A
6	Коксохимическая промышленность	+++	Ароматические одно- и многоатомные спирты	Кислотная, выщелачивание	ЦЕМ III/A
7	Химическая, нефтяная, текстильная промышленность, машиностроение	+++	Серная кислота до конц. 0,02 %	Кислотная	ЦЕМ III/A
8	Складирование сырья стекольных заводов	+++	Сода, бура, сульфаты		ЦЕМ III/A
9	Угольные склады, отвалы шлака	+++	Сернистое железо и др. соли	Сероводородная, окислительная	ЦЕМ III/A
10	Железобетонные емкости для хранения нефти	+	Нефть и мазут сернистые	Сероводородная	ЦЕМ III/A
11	Нефтяная промышленность	+	Органические соединения серы	Сероводородная	ЦЕМ III/A
12	Животноводство и птицеводство	+++	Сероводород, аммиак, микроорганизмы	Сероводородная, биокоррозия	ЦЕМ III/A
13	Силосохранилища	+++	Органические кислоты 0,5–1 % (молочная, уксусная и др.)	Кислотная	ЦЕМ III/A
14	Пищевая промышленность, производство газированных напитков	+	Водный раствор CO ₂	Углекислотная	ЦЕМ III/A
15	Масложировая промышленность	++	Органические карбоновые кислоты (олеиновая, пальмитиновая), молочнокислые бактерии	Кислотная, биокоррозия	ЦЕМ III/A

№ п/п	Где встречается	Степень агрессивности	Агрессивные компоненты	Вид коррозии	Рекомендуемый тип вяжущего (ГОСТ 31108-2016)
16	Сахарные заводы	+++	Сахар, сиропы, органические кислоты	Выщелачивание, кислотная	ЦЕМ III/A, ЦЕМ IV/A
17	Подземные сооружения	++	Сульфат-ионы, мягкие воды	Сульфатная, выщелачивание	ЦЕМ I СС, ЦЕМ III/A, ЦЕМ IV/A
			Ионы магния	Магнезиальная,	ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/A-3
18	Морские и речные сооружения (плотины, гидроэлектростанции, водопроводящие элементы, основания мостов и др.): - зона полного погружения	+++	Сульфат-ионы, ионы магния	Сульфатно-магнезиальная, выщелачивание	ЦЕМ I СС, ЦЕМ III/A, ЦЕМ IV/A
	- зона переменного уровня		Сульфат-ионы, ионы магния	Сульфатно-магнезиальная, выщелачивание, замораживание-оттаивание	ЦЕМ I СС, ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/A-3
	- зона над водой		CO ₂ (газ)	Углекислотная, биологическая	ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/A-3
19	Коллекторы сточных вод	+++	Сульфатные соли	Сульфатная, выщелачивание	ЦЕМ I СС, ЦЕМ III/A, ЦЕМ IV/A
20	Дорожные покрытия из цементного бетона	++	Антигололедные химреагенты	Выщелачивание, замораживание-оттаивание	ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/A-3

На Земле самой распространенной агрессивной средой является углекислый газ, содержащийся в атмосфере. В связи с этим углекислая агрессия является всеобъемлющим фактором, который необходимо учитывать при проектировании состава бетона.

Необходимо учитывать, что во всех случаях наблюдается карбонизация, за исключением закрытых подземных сооружений. В реальных условиях РФ к специфическим видам агрессии добавляется коррозия замораживания-оттаивания, где целесообразно применять цементы типа ЦЕМ I и ЦЕМ II.

В большинстве случаев необходимо применять активные минеральные добавки, которые ослабляют деструктивные явления, обусловленные кристаллизацией этtringита и льда. В качестве активных минеральных добавок по ГОСТ 31108-2016 используют: шлак, золу-унос, пуццоланы, микрокремнезем, глиеж, природные стекловидные кислые силикаты, обожженный сланец. Следует учитывать, что шлак более активная минеральная добавка по сравнению с золой-уносом, поэтому цементы типа ЦЕМ II/A-III и ЦЕМ II/III будут проявлять большую стойкость в

условиях сульфатной агрессии, как менее основные, по сравнению с ЦЕМ II/A-3 или ЦЕМ II/B-3.

Цементные бетоны можно использовать при кислотной коррозии только в том случае, когда концентрация кислоты не превышает 0,01 %. Если это условие не выполняется, то портландцемент не рекомендуется использовать. При концентрации сульфат-ионов от 250 мг/л и выше в большей степени развивается углекислотная коррозия, а не сульфатная, причем такая зависимость наблюдается вплоть до концентрации сульфат-ионов 1000–2000 мг/л.

Если в бетонных изделиях отсутствует армирование, то углекислотная агрессия (CO₂ газ) для изделий на основе ЦЕМ I и ЦЕМ II неопасна. При эксплуатации конструкций в подводных условиях рекомендуется использовать цементы типа ЦЕМ I СС, ЦЕМ III, ЦЕМ IV, ЦЕМ V, но целесообразно использовать в надводных условиях эксплуатации (кроме ЦЕМ I СС), т.к. они снижают морозостойкость и атмосферостойкость.

Изложенные способы выбора, вяжущего можно запрограммировать, обобщенный алгоритм показан на рис. 1.

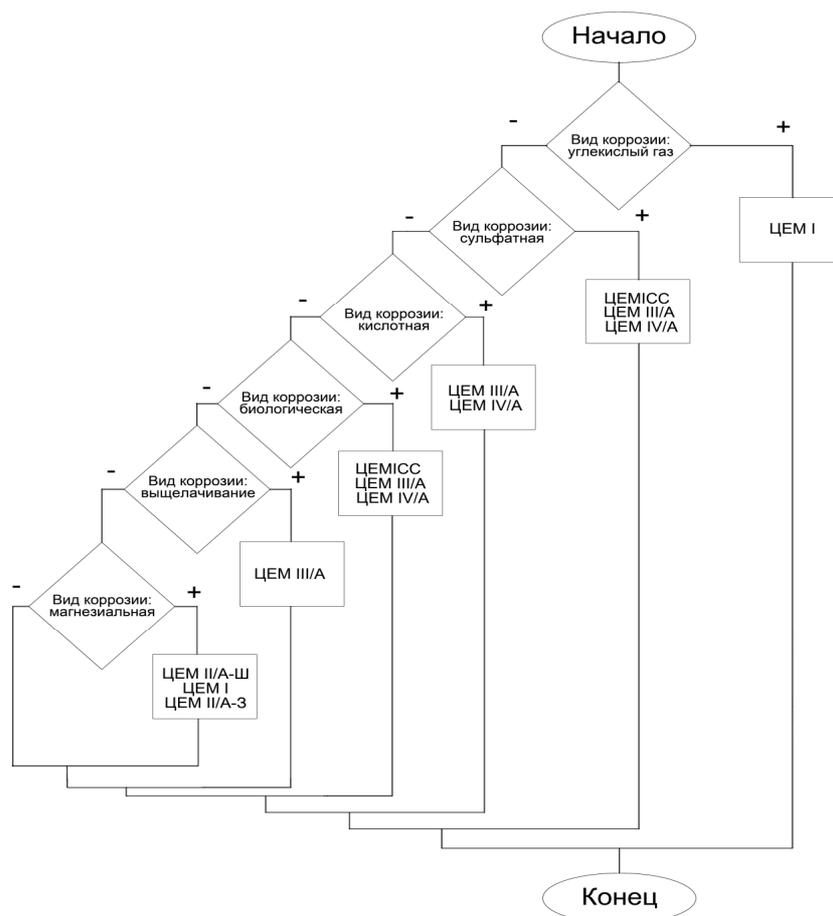


Рис. 1. Обобщенный алгоритм выбора вяжущего в зависимости от вида агрессивной среды

Выводы.

Повышение коррозионной стойкости путем снижения водоцементного отношения бетонной смеси является универсальным способом, однако не всегда может обеспечить сохранность эксплуатационных свойств бетонных изделий и конструкций в агрессивных средах на весь срок службы. При борьбе с коррозией важнейшим условием является правильный выбор цемента. В связи с этим обоснован выбор типа цемента для наиболее часто встречающихся на практике агрессивных сред. Анализ материалов, приведенных в табл. 1 показывает, что во многих случаях целесообразно использовать цемент с активными минеральными добавками.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона Пер. с нем. А. Тулганова, под ред. П. Кривенко. Киев: Оранта. 2004. 301 с.
2. Cohen M., Olek J. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement

mortars Santhanam Manu // Cement and Concrete Research. 2006. Vol. 36. №12. Pp. 2132–2137.

3. Брыков А.С. Сульфатная коррозия портландцементных бетонов // Цемент и его применение. 2014. № 6. С. 96–103.

4. Bertron A.G., Escadeillas J. Duchesne Cement pasters alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical characterization // Cement and Concrete Research. 2004. Vol. 34. № 10. Pp. 1823–1835.

5. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости: Дисс... д.т.н. Москва, НИИЖБ. 2004. 432 с.

6. Рахимбаев Ш.М. Принципы выбора цементов для использования в условиях химической агрессии // Известие Вузов. Строительство. 1996. № 10. С. 65–68.

7. Рахимбаев Ш.М., Карпачева Е.Н, Толыпина Н.М. О выборе типа цемента на основе теории кольматации при сложном составе агрессивной среды // Бетон и железобетон. 2012. № 5. С. 25–26.

8. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем

рационального выбора вяжущего и заполнителей. Белгород, Изд-во БГТУ, 2015. 321 с.

9. Рахимбаев Ш.М. Кинетика процессов кольтматации при химической коррозии цементных систем // Бетон и железобетон. 2012. № 6. С. 16–17.

10. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Совм. изд. СССР–ЧССР–ФРГ. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.

11. Алексеев С. Н., Розенталь Н. К. Коррозионная стойкость конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 205 с.

12. Ferreira R.M. Probability based durability analysis of concrete structures in marine environment. Guimares : University of Minho, School of Engineering Departament of Civil Engineering, 2004. 321 p.

13. Курочка П.Н. Стойкость бетона в органических агрессивных средах : дисс...докт. техн. наук. Ростов-на-Дону. 2000. 288 с.

14. Лагерblad Б. Механизм карбонизации // Цемент и его применение. 2014. № 1-2. С. 177–181.

15. Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Авренюк А.Н., Федоров П.А., Тимеряев Д.В., Кантор П.Л. Восстановление бетона и железобетона после деструктивного воздействия серосодержащих соединений // Строительные материалы. 2009. № 3. С. 58–59.

16. Wells T., Melchers R.E. An observation-based model for corrosion of concrete sewers under aggressive conditions // Cement and Concrete Research. 2014. Vol. 61–62. Pp.1–10.

Информация об авторах

Рахимбаев Шарк Маграсулович, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Толыпина Наталья Максимовна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: tolypina.nm@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хахалева Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: hahaleva@intbel.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Толыпин Даниил Александрович, студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2017 г.

© Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н., Толыпин Д.А., 2018

Sh.M. Rakhimbaev, N.M. Tolykina, E.N. Hahaleva, D.A. Tolypin OPTIMIZATION OF CEMENT TYPE SELECTION PROCESS FOR PRODUCTS IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

Currently, in industrialized countries in order to prevent corrosion of the hydration-hardened building products a tendency to use methods reducing the permeability of concrete to aggressive agents of the environment is applied. The authors believe that to protect concrete and reinforced concrete against corrosion, it is necessary to use all available means at the disposal of specialists, the most important of which is the correct choice of cement. Increasing corrosion resistance by reducing the water-cement ratio of the concrete mixture is a universal way, but not always it can ensure preserving the performance properties of concrete products and structures in aggressive environments for their entire service life. In this regard, recommendations for choosing the type of cement for the most frequently encountered aggressive environments are given. The analysis of literature sources shows that in many cases it is advisable to use cement with active mineral admixtures.

Keywords: portland cement, type of binder, corrosion, aggressive environment, concretes

REFERENCES

1. Stark I., Wicht B. Durability of concrete. Kiev: Orans. 2004. 301 p.
2. Cohen M., Olek J. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement mortars Santhanam Manu. Cement and Concrete Research, 2006, vol. 36, no. 12, pp. 2132–2137.
3. Brykov A.S. Sulphate corrosion of portland cement concrete // Cement and its applications, 2014, no. 6, pp. 96–103.
4. Bertron A.G., Escadeillas J. Duchesne Cement pasters alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical characterization // Cement and Concrete Research, 2004, no. 10, vol. 34, pp. 1823–1835.
5. Rosenthal N.K. Corrosion resistance of cement concretes of low and especially low permeability. Diss. Ph. D. Moscow, NIIZHB. 2004. 432 p.
6. Rakhimbaev S.M. Principles of selection of cements for use in the conditions of chemical aggression // Izvestiya Vuzov. Construction, 1996, no. 10, pp. 65–68.
7. Rakhimbaev S.M., Karpacheva E.N., Tolykina N. M. On the choice of type of cement on the basis of the theory of mudding in complex composition of the aggressive environment // Concrete and reinforced concrete, 2012, no. 5, pp. 25–26.
8. Rakhimbaev S.M., Tolykina N.M. The increased corrosion resistance of concrete by rational selection of binder and fillers. Belgorod, Publishing house of BSTU, 2015, 321 p.
9. Rakhimbaev S.M. Kinetics of clogging in chemical corrosion of cement systems // Concrete and reinforced concrete, 2012, no. 6, pp. 16–17.
10. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modra, S., Sisli P. Durability of reinforced concrete in aggressive environments. Jointly. ed. USSR–Czechoslovakia–Germany. M.: Stroizdat, 1990, 320 p.
11. Alekseev S.N., Rosenthal N.K. Corrosion resistance of structures in aggressive industrial environments. M: Stroizdat, 1976. 205 p.
12. Ferreira R.M. Probability based durability analysis of concrete structures in marine environment. Guimares. University of Minho, School of Engineering Department of Civil Engineering, 2004, 321 p.
13. Kurochka P. N. Durability of concrete in aggressive environments, organic. Diss. Ph. D. Rostov-on-Don. 2000, 288 p.
14. Lagerblad B. Mechanism of carbonation // Cement and its applications, 2014, no. 1-2, pp. 177–181.
15. Latypov V.M., Latypov T.V., Lavrenyuk A.N., Fedorov P.A., Timiryayev D.V., Kantor P.L. Restoration of concrete and reinforced concrete after the destructive effects of sulfur-containing compounds // Stroitel'nye Materialy, 2009, no. 3, pp. 58–59.
16. Wells T., Melchers R.E. An observation-based model for corrosion of concrete sewers under aggressive conditions // Cement and Concrete Research, 2014, vol. 61–62, pp.1–10.

Information about the author

Shark M. Rakhimbaev, PhD, Professor.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Nataliy M. Tolykina, PhD, Professor.

E-mail: tolykina.nm@bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Elena N. Hahaleva, PhD, Assistant professor.

E-mail: hahaleva@intbel.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Daniil A. Tolykin, student

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in December 2017