

УДК 691.327:666.97

Морозов Н.М. – кандидат технических наук

E-mail: nikola_535@mail.ru

Морозова Н.Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: ninamor@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Исследование долговечности модифицированных бетонов для монолитного строительства

Аннотация

Проблема долговечности модифицированных бетонов является актуальной и в настоящее время, так как увеличивается количество химических добавок, применяемых в цементных бетонах. В статье показано, что применение поликарбоксилатных суперпластификаторов значительно повышает водонепроницаемость и морозостойкость бетона, за счет уменьшения водоцементного отношения и воздухововлечения бетонных смесей. Применение суперпластификаторов и минеральных наполнителей значительно снижает вероятность возникновения щелочной коррозии. Введение поликарбоксилатных пластификаторов увеличивает прочность и водонепроницаемость бетона больше, чем нафталинформальдегидных, а морозостойкость при этом изменяется незначительно.

Ключевые слова: долговечность бетона, щелочная коррозия, воздухововлечение, суперпластификаторы, морозостойкость.

Долговечность бетона в конструкциях является своего рода гарантом выполнения главного принципа технического регулирования в РФ и в т.ч. в области строительства, – обеспечения безопасности жизни, здоровья физических лиц, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества, а также охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений [1].

Бетон остается главным конструкционным строительным материалом и сейчас, и в будущем. Наука и технология бетона интенсивно развиваются, что позволяет реально изготавливать конструкции из бетонов с прочностью 150 МПа и более. Однако кратковременная, стандартно определяемая прочность еще не достаточный фактор работы конструкций, главный показатель в строительстве – долговечность. Поэтому уже сейчас нормативный срок службы жилых зданий возрос до 125-150 лет, и, тем не менее, опасность изготовления и применения недолговечных материалов и конструкций существует, о чем свидетельствуют нередкие случаи обрушений зданий и сооружений.

Проблема долговечности цементных бетонов и изделий на их основе регулярно является темой международных научно-технических конференций и симпозиумов [2-4]. Долговечность бетона означает, что строительные элементы из бетона при необходимом уходе в течение предусмотренного срока службы устойчивы ко всем воздействиям.

Факторы, влияющие на долговечность, можно разделить на четыре группы:

- физические (водопоглощение, температурные воздействия);
- химические (сульфатная и щелочная коррозия);
- биологические (воздействие бактерий и грибов);
- механические (износ и ползучесть).

Долговечность бетона зависит от его состава и условий эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций. Помимо состава, определяющим является также уход за бетоном в первое время твердения, в зависимости от этого меняются пористость и первоначальная усадка бетона.

Одним из «практических» способов увеличения долговечности является увеличение расхода цемента, однако при этом снижается трещиностойкость и повышается ползучесть бетона. К тому же увеличение объема цементного камня

приводит к увеличению капиллярной пористости бетона, что также является негативным фактором, т.е. увеличение расхода цемента сверх требуемых значений не всегда приводит к увеличению долговечности бетона.

Поэтому учет только показателя прочности бетона при сжатии не является достаточным для обеспечения долговечности.

К непосредственным показателям долговечности относятся:

- плотность (влияет на водопоглощение, водонепроницаемость, газонепроницаемость);
- сопротивление попеременному замораживанию и оттаиванию (морозостойкость: шелушение, потеря массы, потеря прочности);
- глубина карбонизации (возможность коррозии арматуры);
- воздействие агрессивных сред [5].

Сопротивление бетона проникновению агрессивных веществ, зависящее от плотности, имеет большое значение при эксплуатации разного вида бетона. Вода и агрессивные среды проникают в тело бетона через капиллярные и другие открытые поры (седиментационные, поры в контактной зоне цементного камня и заполнителя и др.), а также через микротрещины, вызванные усадочными деформациями.

При использовании подвижных смесей обязательным компонентом бетона становятся пластифицирующие добавки, которые в значительной степени меняют количественные и качественные характеристики его пористости. В настоящее время активно используются суперпластификаторы.

В данном исследовании были выбраны разные по химическому строению суперпластификаторы: на нафталинформальдегидной основе и на основе модифицированных полиэфиркарбоксилатов.

Суперпластификаторы позволяют не только значительно снизить водоцементное отношение, что приводит к уменьшению капиллярной пористости бетона, но и уменьшить деформации усадки. Вид пластификатора по-разному влияет на величину контракционной усадки. Так, например, добавка С-3 практически не влияет на контракцию цементного теста, что, вероятно, обусловлено двумя противоположными факторами: замедлением контракции за счет блокирования молекулами ПАВ активных центров зерен цемента и ускорением гидратации под действием содержащегося в С-3 сульфата натрия [6].

По-иному на контракцию цемента влияет добавка Melflux 2651 (MF): с увеличением дозировки добавки процесс контракции цемента замедляется. Через сутки контракция уменьшается в 3 раза, а через 7 суток – в 2 раза. Снижение контракционной усадки позволяет уменьшить деформации, происходящие в цементном камне, повысить его прочность и долговечность бетона. Для бетона из подвижных смесей это особенно важно, так как расход цемента в них значителен [6]. Уменьшение контракционной усадки позволяет также снизить пористость цементного камня, а значит, уменьшить его проницаемость.

Важным показателем при применении суперпластификаторов является долговременная прочность цементного камня.

Как видно из рис. 1, прочность цементного камня после 28 суток твердения растет очень медленно, через год прирост составляет всего 13-18 %. Наибольший прирост прочности цементного камня наблюдается при использовании поликарбоксилатных пластификаторов.

Как было отмечено, долговечность бетона зависит от плотности бетона, поэтому важным показателем является воздухововлечение бетонных смесей с модифицирующими добавками. В присутствии суперпластификаторов воздухововлечение может повышаться [7].

С одной стороны, повышение воздухововлечения приводит к повышению пористости бетона, что негативно сказывается на проницаемости бетона, но с другой – воздухововлечение при применении пластифицирующих добавок является одним из способов повышения морозостойкости при условии создания замкнутой пористости. Как видно из табл. 1, при использовании добавки С-3 воздухововлечение увеличивается при высоких расходах цемента как в крупнозернистых, так и в мелкозернистых бетонных смесях.

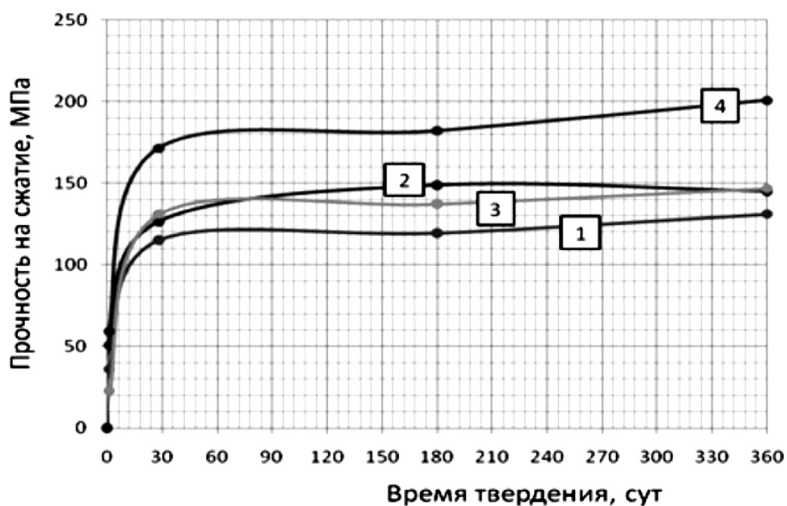


Рис. 1. Влияние пластифицирующих добавок на прочность цементного камня:
1 – контрольный, 2 – С-3; 3 – Sika Visco Crete 5; 4 – Melflux2651 F

Таблица 1

Свойства бетонных смесей на различных заполнителях

№	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	С-3, кг	В/Ц	Подвижность	Воздуховлечение, %	Плотность бетонной смеси, кг/м ³
1	280	750	1200	1,4	0,53	ПЗ	2,2	2230
2	350	800	1100	1,75	0,5	ПЗ	3,2	2320
3	600	1500	-	3	0,31	ПЗ	6,8	2295
4	500	1590	-	2,5	0,37	ПЗ	7,2	2275
5	400	1650	-	2	0,52	ПЗ	7,2	2235
6	300	1690	-	1,5	0,63	ПЗ	5,8	2205

Влияние воздуховлечения на водопоглощение бетона можно проследить на примере суперпластификатора поликарбоксилатного типа и песка с модулем крупности 2,8 (табл. 2).

Таблица 2

Составы бетона и свойства бетонной смеси с суперпластификатором Melflux2651

№	Цемент, кг	Песок, кг	Вода, кг	Melflux, кг	Плотность бетонной смеси, кг/м ³	Воздуховлечение, %	Водопоглощение бетона, %
1	500	1500	290	-	2170	6,5	9,9
2			209	1,25	2190	6,4	8,2
3			189	2,5	2205	4,9	7,2
4			176	3,75	2210	4,7	6,8

Из табл. 2 видно, что увеличение дозировки MF с 0,25 % до 0,75 % (от массы цемента) уменьшает воздуховлечение на 25 %. Наилучший результат достигается при дозировках MF 0,75 и 0,5 % от массы цемента. При этом водопоглощение песчаного бетона с добавкой снижается на 31 %, что обусловлено уменьшением макро- и микропористости бетона. Такое уменьшение водопоглощения должно положительно отразиться на морозостойкости бетона, поэтому выбор пластификатора может сыграть решающую роль в получении долговечного бетона.

Введение поликарбоксилатных пластификаторов, как видно из табл. 3, увеличивает прочность и водонепроницаемость бетона по сравнению с нафталиноформальдегидными пластификаторами, однако морозостойкость при этом изменяется незначительно. Большой водоредуцирующий эффект и низкое воздуховлечение позволяют уплотнить структуру и снизить проницаемость бетона, однако добавки на нафталиноформальдегидной основе обладают некоторым воздуховлечением и за счет этого повышается морозостойкость.

Таблица 3

**Морозостойкость и водонепроницаемость тяжелого бетона
из смесей с подвижностью ПЗ-П4**

№ п/п	Класс бетона	Расход цемента, кг/м ³	Вид и расход добавки	Водонепроницаемость	Морозостойкость
1*	B45	420	Поликарбоксилат 1 %	W14	F300
2**	B45	410	Поликарбоксилат 0,5 %	W16	F200
3	B40	395	Поликарбоксилат 0,4 %	W14	F200
4	B30	410	Нафталинформ. 0,7 %	W12	F200

*данные Гамалий Е.А. [8], **данные Изотова В.С., Ибрагимова Р.А. [9]

Другим немаловажным фактором долговечности является вид применяемого цемента. В зависимости от минералогического состава, даже при равной активности, отличаются не только трещиностойкость, но и морозостойкость бетона. Поэтому при подборе состава бетона, особенно для дорожных и мостовых конструкций, цемент необходимо подбирать не только по прочности, но и по влиянию на морозостойкость. Влияние вида цемента на морозостойкость бетона показано на примере трех цементов: ПЦ 600 Д0 «Новоросцемент», ПЦ 500Д0 «Вольскцемент», ПЦ500Д0 «Искитимцемент» (табл. 4). Во всех составах бетона применялся суперпластификатор на нафталинформальдегидной основе, подвижность бетонных смесей П4.

Таблица 4

Влияние вида цемента на морозостойкость бетона

Вид цемента	Класс бетона по прочности	Расход цемента, кг/м ³	Потеря прочности после 200 циклов, %
ПЦ 600 Д0 «Новоросцемент»	B30	370	8,5
ПЦ 500Д0 «Вольскцемент»	B25	384	3,4
ПЦ500Д0 «Искитимцемент»	B25	387	11,2

Как видно из полученных данных, при равном расходе цемента потеря прочности после 200 циклов попеременного замораживания и оттаивания в солях (2-й метод для дорожных бетонов) изменяется от 3,4 до 11,2 %. Причем увеличение марки бетона по прочности на сжатие не всегда увеличивает морозостойкость. Например, известным фактом является отрицательное влияние алюминатов кальция [5]. Согласно требованиям ГОСТ 10178-85 для бетонов с высокими требованиями по морозостойкости необходимо использовать портландцементы с содержанием трехкальциевого алюмината (С₃А) в количестве не более 8 % по массе. В Искитимском цементе содержание С₃А около 10 %, в связи с этим бетон на его основе обладает очень низкой морозостойкостью.

Одной из немаловажных и «скрытых» причин снижения долговечности бетонов является их внутренняя (щелочная) коррозия [11]. Щелочная коррозия бетона в Волго-Камском регионе обусловлена, в первую очередь, тем, что подавляющий объем потребностей в заполнителях для производства бетона сборного и монолитного строительства покрывается песком и гравием, добываемым в виде ПГС с рек Кама и Вятка, в которой содержится большое количество аморфного кремнезема (более 60 мМоль/л). Другой сопутствующий фактор щелочной коррозии – количество щелочей в цементе, а для бетона, полученного из подвижных бетонных смесей, и фактор водоцементного отношения (табл. 5).

Таблица 5

**Оценка влияния количества активного кремнезема на деформации
расширения мелкозернистого бетона**

№ пп	Наименование заполнителя	Содержание активного кремнезема, мМоль/л	В/Ц смеси	Деформация расширения образца, %	
				факт	норма
1.	Гравий	179	0,44	0,063	0,1 [ГОСТ 8269.0-97, СНиП 2.03.11-85]
2.	Обогащенный песок	66,3	0,38	0,0853	
3.	Дробленый песок	309,6	0,38	0,119	
4.			0,41	0,256	

Как видно из табл. 5, увеличение содержания активного кремнезема неоднозначно влияет на деформации расширения образцов бетона, а увеличение В/Ц отношения на 8 % способствует росту собственных деформаций бетона в 2 раза.

Из полученных данных (табл. 6) следует, что применяемые цементы не вызывают деформаций расширения при щелочной коррозии, превышающих стандартно допустимые (0,1 %). Однако они существуют и могут проявиться в более поздние сроки испытаний (или эксплуатации) бетона [12].

Таблица 6

**Результаты измерений деформации мелкозернистого бетона,
изготовленного на различных цементах и химических добавках**

Марка цемента, завод-изготовитель	Вид и количество химической добавки, %	Деформация расширения, %		Заключение
		факт	норма	
ПЦ-400Д20 Ульяновский	0	0,029	0,1 [ГОСТ 8269.0-97, СНиП 2.03.11-85], 0,06-	Деформации расширения не превышают стандартных требований
	С-3 (0,7 % от массы цемента)	0,0052		
	Нитрит натрия (10 % сухого вещества от массы цемента)	0,178		Деформации расширения превышают стандартное значение. Требуется испытание в бетоне в течение года
	Формиат натрия (4 % сухого вещества от массы цемента)	0,133		
	Лигнопан Б-4 (3 % сухого вещества от массы цемента)	0,0287		
	Лигнопан Б-4 (4 % сухого вещества от массы цемента)	0,044		
ПЦ500Д0 Вольский	0	0,063	0,1 [ГОСТ 8269.0-97, СНиП 2.03.11-85], 0,06-	Деформации расширения не превышают предельного стандартного значения
	Гексалит (3,3 % от массы цемента)	0,0505		
	Гексалит (5,5 % от массы цемента)	0,063		
	МК-85 (1 % от массы цемента)	0,027		
	МК-85 (5 % от массы цемента)	0,018		

Обнаружено, что введение противоморозных добавок нитрита и формиата натрия увеличивает деформации расширения более в 3-6 раз. В качестве «подавителя» деформаций расширения при щелочной коррозии проявляют себя следующие добавки: Лигнопан Б-4, Гексалит и, особенно эффективно, суперпластификатор С-3 и микрокремнезем. Из полученных результатов видно, что применение противоморозных добавок без пластификаторов приводит к увеличению щелочной коррозии бетона. Поэтому для снижения вероятности возникновения щелочной коррозии необходимо применять только комплексные противоморозные добавки, содержащие в своем составе пластификатор.

Таким образом, применение суперпластификаторов и минеральных наполнителей значительно снижает вероятность возникновения щелочной коррозии бетона при монолитном строительстве. Введение поликарбоксилатных пластификаторов увеличивает прочность и водонепроницаемость бетона больше, чем нафталинформальдегидных, а морозостойкость при этом изменяется незначительно.

Список литературы

1. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ.
2. Степанова В.Ф. Защита конструкций зданий и сооружений от коррозии – стратегическая задача строительства // Тезисы Международной научно-практической конференции «Защита от коррозии в строительстве и городском хозяйстве» в рамках 3-ей Международной специализированной выставки «Антикор-гальваносервис». – М.: Официальный каталог, 2005. – С. 60-61.
3. Батраков В.Г. Модификаторы – ключ к решению проблемы долговечности бетона // Тезисы Международной научно-практической конференции «Защита от коррозии в строительстве и городском хозяйстве» в рамках 3-ей Международной специализированной выставки «Антикор-гальваносервис». – М.: Официальный каталог, 2005. – С. 61-62.
4. Гусев Б.В. Коррозионные процессы и методы борьбы с ними // Тезисы Международной научно-практической конференции «Защита от коррозии в строительстве и городском хозяйстве» в рамках 3-ей Международной специализированной выставки «Антикор-гальваносервис». – М.: Официальный каталог, 2005. – С. 59-60.
5. Штарк Иохен, Вихт Бернд. Долговечность бетона / Пер. с нем. А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. – Киев: Оранта, 2004. – 301 с.
6. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Мугинов Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов // Строительные материалы, 2010, № 9. – С. 72-73.
7. Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г., Авксентьев В.И., Мугинов Х.Г. Влияние компонентов песчаного бетона на воздухововлечение при его приготовлении // Известия КГАСУ, 2011, № 3. – С. 129-133.
8. Гамалий Е.А. Комплексные модификаторы на основе эфиров поликарбоксилатов и активных минеральных добавок для тяжелого конструкционного бетона // Автореф. дисс. на соиск. уч. степей канд. технич. наук: 05.23.05. – Челябинск, 2009. – 18 с.
9. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Влияние комплексной добавки на долговечность тяжелого бетона // Известия КГАСУ, 2011, № 2. – С. 190-194.
10. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. – С. 195-203.
11. Хозин В.Г. Морозова Н.Н., Матеюнас А.И., Захарова Н.А., Акимова Э.П. Исследование внутренней коррозии модифицированных монолитных бетонов на основе местных заполнителей РТ // Технологии бетонов, 2008, № 3. – С. 58-59.
12. Рояк Г.С. Внутренняя коррозия бетона // Автореф. дис. на соиск. уч. степей, д.т.н. – М.: ЦНИИС, 2003. – 78 с.

Morozov N.M. – candidate of technical sciences

E-mail: nikola_535@mail.ru

Morozova N.N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: ninamor@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Modified concrete durability research for monolithic construction

Resume

The durability of concrete depends on its composition and operating conditions of concrete and reinforced concrete structures. Resistance of concrete penetration of aggressive substances, depending on the density, is important in the operation of various types of concrete. Superplasticizers, can not only significantly reduce the water-cement ratio, which reduces the capillary porosity of the concrete, but also reduce the shrinkage strain. After one day of hardening cement paste with superplasticizers based on polycarboxylate contraction is smaller in 3 times, and after 7 days in 2 times. Reduction of the contraction reduces shrinkage deformation occurring in the cement stone and increase its strength, which ultimately increases

durability of concrete. Furthermore, the use of such supplements significantly reduces water absorption and increases water resistance and frost resistance of concrete.

One of the important and the «hidden» causes of decline in durable concrete is their internal (alkaline) corrosion. Studies have shown that the use of the type series of modifiers can significantly slow down the concrete manifestation of alkaline corrosion. Durability of the modified concrete depends not only on the type of additives, but also on the type of cement and quality aggregates. Choosing modifiers must be justified as regards their impact on the performance of concrete in the vintage age, and in the later stages of hardening in actual use.

Keywords: durability of concrete, alkaline corrosion, air entrainment, superplasticizers, frost resistance.

References

1. Federal Law «On technical regulation» of 27.12.2002, № 184-FZ.
2. Stepanova V.F. Protection of buildings and structures from corrosion-strategic goal of building // Proceedings of the International Scientific Conference «Protection against corrosion and Urban Development» in the 3rd International Specialized Exhibition «Anticor-galvanoservis». – Moscow: The official catalog of, 2005. – P. 60-61.
3. Batracov V.G. Modifier key to solving the problems of durability of concrete // Proceedings of the International Scientific Conference «Protection against corrosion and Urban Development» in the 3rd International Specialized Exhibition «Anticor-galvanoservis». – M.: The official catalog of, 2005. – P. 61-62.
4. Gusev B.V. Corrosion processes and methods to combat them // Proceedings of the International Scientific Conference «Protection against corrosion and Urban Development» in the 3rd International Specialized Exhibition «Anticor-galvanoservis». – M.: The official catalog of, 2005. – P. 59-60.
5. Jochen Stark, Vihti Bernd. Durability of concrete / Per. with him. A. Tulaganova. Ed. P. Krivenko. – Kiev: Orans, 2004. – 301 p.
6. Morozov N.M., Khozin V.G., Muginov H.G. Features of formation of structure of the modified sandy concrete. // Building materials, 2010, № 9. – P. 72-73.
7. Morozov N.M., Borovskich I.V., Khozin V.G., Avksentev V.I., Muginov H.G. The influence of the components of sandy concrete on the involvement of air with his cooking // News of the KSUAE, 2011, № 3. – P. 129-133.
8. Gamaliy E.A. Complex modifiers based on polycarboxylate ethers and active mineral additives for heavy structural concrete // Author. diss. on competition. uch. Candidate steppes. tech. Sciences: 05.23.05. – Chelyabinsk, 2009. – 18 p.
9. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Impact on the longevity of the complex additive heavy concrete // News of the KSUAE, 2011, № 2. – P. 190-194.
10. Mchedlov-Petrosyan O.P. Chemistry of inorganic building materials. – M.: Publishing House of Literature on construction, 1971. – P. 195-203.
11. Khozin V.G., Morozova N.N., Mateyunas A.I., Zacharova N.A., Akimova E.P. The study of internal corrosion modified monolithic concrete on the basis of local aggregates RT // Technology of concrete, 2008, № 3. – P. 58-59.
12. Royak G.S. Internal corrosion of concrete // Author. dis. on competition. uch. steppes, PhD. – M. CNIIS, 2003. – 78 p.