

4. Пат. на изобретение №2478156. Стыковое соединение трех-слойных стеновых панелей/В.В. Данель. Опубл. 27.03.2013. Бюл.№9

УДК 627.221.13

МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ИСПЫТАНИЙ

МАЛЮК В. В.

Сахалинский государственный университет
Южно-Сахалинск, Россия

В настоящее время испытание на морозостойкость является основным методом прогноза стойкости бетона в суровых климатических условиях, где воздействие знакопеременных температур в условиях водонасыщения бетона является преобладающим фактором. Морозостойкость бетона - условная характеристика, предложенная профессором Н.А. Белелюбским, для оценки способности бетона сохранять прочность и другие физико-механические свойства при многократном попеременном замораживании и оттаивании. Данный метод оценки стойкости бетона используется на протяжении более 100 лет. Несмотря на большой объем исследований, выполненных по вопросам долговечности бетона в суровых климатических условиях [1, 2, 6, 7, 9, 16, 17], до настоящего времени отсутствуют научно обоснованные методы, устанавливающие связи между качественными показателями бетона и долговечностью.

Процессы, протекающие при замораживании и оттаивании бетона, обуславливают появление повреждений, которые могут накапливаться и быть причиной разрушения структуры бетона. Степень повреждения бетона при замораживании зависит от многих факторов. Приводятся данные, что на стойкость бетона к воздействию циклов замораживания и оттаивания влияет более 190 факторов. При учете только 25 важнейших факторов и трех интенсивностей каждого из них, число возможных сочетаний имеет порядок 1030 [10], поэтому разрабатывать модель точного расчета морозостойкости для практического применения становится нецелесообразным. Расчетный срок службы конструкций при проектировании соору-

жений назначается, как правило, без должного обоснования и принимается по опыту эксплуатации сооружений в районе строительства [9]. Для построения математической модели необходимо четкое представление о факторах, влияющих на кинетику процесса деградации. Последнее предопределяет необходимость изучения видов разрушения бетона в эксплуатационных условиях и сравнения с разрушениями при прогнозных испытаниях. Стремление к математизации коррозионных исследований без развития экспериментальных работ приводит к искажению представлений о механизме коррозионных процессов [11]. К существенным недостаткам в предлагаемых моделях прогноза является то, что не учитывают возможное упрочнение и стабилизацию структуры бетона в эксплуатационный период. Опыт строительства и эксплуатации морских сооружений показывает, что бетоны невысокой морозостойкости (F₂100) могут обеспечивать эксплуатационную надежность конструкциям 80-90 лет [8].

В данной статье приведены результаты исследований фактической морозостойкости бетона, состав которого согласно ГОСТ 31384-2017 [3] должен обеспечить срок службы (долговечность) бетонным и железобетонным конструкциям 50 лет при эксплуатации в условиях попеременного замораживания и оттаивания при сильном водонасыщении растворами солей антиобледенителей или морской водой. В соответствии с принятой классификацией агрессивности сред, условия эксплуатации морских гидротехнических и транспортных сооружений на о. Сахалин по агрессивности соответствуют индексу XF4. В табл. 1 приведены нормативные требования к показателям бетона для эксплуатации в средах с агрессивностью класса XF4.

С учетом требований, приведенных в табл. 1, выполнено проектирование составов бетона с учетом фактических показателей качества материалов. Бетонную смесь изготавливали из следующих материалов: цемент Спасского цементного завода, песок карьера «Охотский», щебень карьера «Соколовский». В качестве структурообразующих добавок использовали полифункциональный модификатор бетона ПФМ-НЛК и смолу нейтрализованную воздухововлекающую (СНВ). Качественные показатели материалов для бетона соответствуют нормативным требованиям [3]. Показатели качества материалов для бетона приведены в табл. 2 и 3.

Данные материалы применяются на о. Сахалин при изготовлении бетонов для конструкций морских гидротехнических и транспортных сооружений. Составы и показатели качества бетона приведены в табл. 4.

Таблица 1

Нормативные показатели бетона для долговечности конструкций 50 лет при эксплуатации в средах с агрессивностью класса XF4 [3]

Показатель бетона	Значение показателя
Водоцементное отношение (В/Ц)	не более 0,45
Расход цемента, кг/м ³	не менее 340
Воздухововлечение смеси, %	не менее 4
Класс по прочности В	не менее 35
Марка по морозостойкости, циклы	300
Марка по водонепроницаемости, МПа	W6

Примечания: 1. Марка по морозостойкости принята по табл. Е.1 [3] для конструкций, работающих в условиях знакопеременных температур при расчетной зимней температуре наружного воздуха ниже -20 до -40 °С. 2. Марка по водонепроницаемости принята по табл. Г.1 [3] для условий воздействия морской воды Охотского моря на стальную арматуру железобетонных конструкций.

Таблица 2

Показатели качества цемента по ГОСТ
(завод-изготовитель: ОАО «Спасскцемент», г. Спасск-Дальний)

Вид цемента	Активность, МПа (Предел прочности при сжатии, 28 сут)	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности при изгибе 28 сут, МПа
			Начало	Конец	
Портландцемент ПЦ500-Д0-Н	49,0	30,25	3-25	4-25	7,2

Для определения влияния величины воздухововлечения на морозостойкость проводились сравнительные испытания бетонов с различным содержанием воздуха в бетонной смеси. Содержание воздуха регулировалось как за счет применения различных видов структурообразующих добавок, так и за счет дозирования их количества. Все составы имеют одинаковое содержание цемента- 500 кг/м³.

Таблица 3

Показатели качества песка по ГОСТ и щебня по ГОСТ

Показатель качества	Метод определения	Значение показателя материала	
		Песок к-р «Охотский»	Щебень к-р «Соколовский»
Истинная плотность, г/см ³	ГОСТ 8269.0-97, п.4.15 ГОСТ 8735-88. п.8	2.63 - 2.65	2.98-3.01 -
Модуль крупности (Мкр)	ГОСТ 8735-88,п.3	2.5-2.8 (крупный)	-
Прочность в насыщенном состоянии	ГОСТ 8269.0-97,п.4.8	-	фр.5-10мм - 1000 фр.10- 20мм -1200
Морозостойкость, циклы	ГОСТ 8269.0-97,п.4.12	-	фр.5-10мм- F200 фр.10-20мм - F400
Водопоглощение, %	ГОСТ 8269.0-97, п.4.18	-	фр.5-10мм- 0.7 фр.10-20мм- 0.2

Таблица 4

Составы и показатели качества бетона

№ состава бетона	В/Ц	Вид добавки и содержание (% от массы цемента)	Показатели бетонной смеси		Показатели бетона		
			ОК	ВВ	R ₀	F ₂	W
1	0,35	ПФМ= 0,50	8	1,7	64,1	200	8
2 (5)	0,38	ПФМ+СНВ=0,45+0,01	3	2,4	44,7	400	8
3 (7)	0,38	ПФМ+СНВ=0,45+0,02	14	3,6	40,9	400	8
4 (8)	0,35	ПФМ+СНВ=0,60+0,02	11	3,7	48,9	600	8

Примечания: 1. ОК- подвижность бетонной смеси по осадке конуса, см; 2. ВВ- воздухововлечение смеси, %; 3. R₀ - предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа; 4. F₂- марка по морозостойкости при испытании ускоренным методом (метод 2 табл.5); 5. W- марка по водонепроницаемости, МПа.

Морозостойкость бетона оценивали коэффициентом морозостойкости KF, который определяли из выражения

$$K_f = R_0 / R_f \quad (1)$$

где R_0 – предел прочности при сжатии перед началом испытания;
 R_f – предел прочности при сжатии после испытания.

Программа испытаний бетона на морозостойкость предусматривала сравнительную оценку суровости различных методик, отличающихся режимом испытаний. С этой целью один состав (№ 4, таблица 4) испытывали на морозостойкость по четырем стандартным методам, режимы которых приведены в таблице 5. Результаты испытаний на морозостойкость состава № 4 приведены на рис. 2.

Таблица 5

Методы и режимы испытания бетона на морозостойкость

Метод и марка по морозостойкости	Режим испытаний			
	Замораживание		Оттаивание	
	Среда, температура	Время, ч	Среда (насыщение и оттаивание), температура	Время, ч
1 Базовый, F ₂ (второй метод п.5.2, 4)	Воздушная, минус (18±2) ⁰ C	2,5	5%-ный водный раствор хлорида натрия, (20±2) ⁰ C	2,5
2 Ускоренный, F ₂ (третий метод п. 6.2, 4)	5%-ный водный раствор хлорида натрия минус (50±2) ⁰ C	2,5	5%-ный водный раствор хлорида натрия, (20±2) ⁰ C	2,5
3 Базовый, F ₁ (первый метод п. 5.1, 4)	Воздушная, минус (18±2) ⁰ C	2,5	Пресная вода, (20±2) ⁰ C	2,5
4 Метод по ГОСТ 4800-59 [5]*	Воздушная, минус (18±2) ⁰ C	2,5	Морская вода с соленостью 35%, (20±2) ⁰ C	2,5

*- ГОСТ 4800-59 [5] предусматривает продолжительность замораживания и оттаивания 4 часа.

Результаты испытаний бетона на морозостойкость ускоренным методом (метод 2, табл. 5) приведены в табл. 6 и на рис. 1.

Результаты испытаний бетона на морозостойкость
по ускоренному методу

№ состава бетона	R ₀ , МПа	K _F	Потеря массы, %	Число циклов ПЗО	F ₂ , циклы
1	67,3	0,88	0,5	20	200
2	44,7	1,16	1,7	55	> 400
3	40,9	1,33	1,7	55	> 400
4	48,9	1,04	0,6	105	> 600

Примечания:

1. F₂ - марка по морозостойкости, определенная ускоренным методом (метод 2 табл.5); 2. R₀ - прочность перед началом испытания в возрасте 28 суток; 3. K_F – коэффициент морозостойкости после испытания на морозостойкость.

В результате проведенных испытаний бетона установлено следующее.

Базовый состав бетона (состав № 4 табл. 4), показатели качества которого рекомендованы для эксплуатации в агрессивных средах класса XF4 [3] с долговечностью 50 лет, имеет марку по морозостойкости более F₂600. Это минимум в 3 раза превышает марку по морозостойкости бетона состава № 1, который не соответствует по одному показателю качества - объему вовлеченного воздуха в бетонной смеси. Прочность бетона всех составов после 10-20 циклов испытаний на морозостойкость повышается.

Рост прочности бетона с добавкой ПФМ через 10 циклов достигает 20 % (K_F = 1,2) и в дальнейшем идет понижение прочности - через 37 циклов прочность снижается и величина K_F = 0,9. Это дает основание считать, что в структуре бетона после 37 циклов начинают преобладать деструктивные процессы. Рост прочности бетона с комплексной добавкой СНВ+ПФМ через 20 циклов составлял 25-37 %. В дальнейшем происходит снижение прочности, однако коэффициент морозостойкости K_F остается на уровне 1,2 – 1,3. Бетон состава № 2 и № 3 после 37 циклов не испытывали. Последующие испытания бетона состава № 4 до 110 циклов показали, что прочность бетона снижается, но снижение не превышает критического уровня- K_F = 1,05.

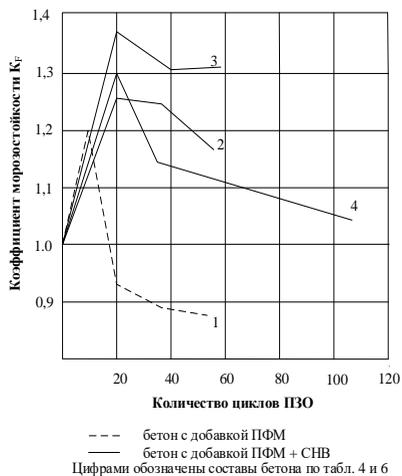


Рис. 1. Зависимость морозостойкости от показателей качества бетона при испытании ускоренным методом по табл. 5

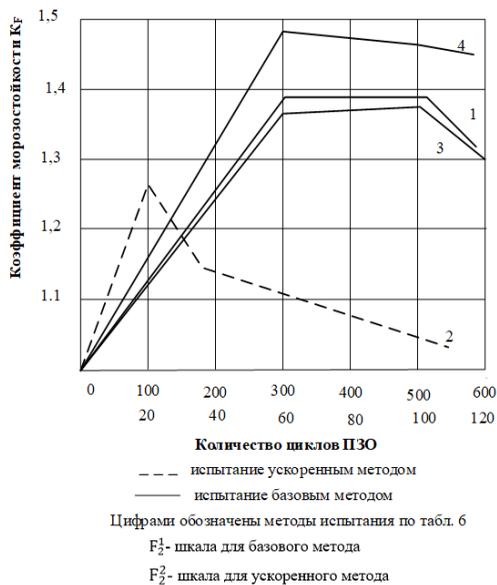


Рис. 2. Результаты испытаний бетона на морозостойкость базовым и ускоренным методами

Результаты исследований, приведенные на рис. 2, свидетельствуют о том, что морозостойкость бетона в значительной степени зависит от режима испытаний. Наиболее существенное влияние на стойкость бетона к циклам попеременного замораживания-оттаивания (ПЗО) оказывает температура замораживания и условия замораживания. Испытания по базовому методу оказались менее суровые - после 600 циклов $KF = 1,2$. Ускоренный метод, режим которого основан на испытании при температуре замораживания минус 50°C в солевом растворе, существенно меняет характер изменения прочности бетона в процессе испытания. При ускоренном испытании через 110 циклов, что соответствует марке F2600 [4], $KF = 1,05$. Среда оттаивания при базовых методах испытания не отразилась на морозостойкости бетона. Высокую морозостойкость бетон имеет как при оттаивании в солевом растворе, так и при оттаивании в пресной воде. Испытание образцов при оттаивании в морской воде [5] показало, что характер изменения прочности существенно не отличается от испытаний в базовых средах оттаивания по [4].

Результаты исследований, представленные в данной работе, дают основания сделать следующие выводы.

Состав бетона, рекомендованный ГОСТ 31384-2017 [3] для эксплуатации в условиях попеременного замораживания и оттаивания при сильном водонасыщении растворами солей антиобледенителей или морской водой, т.е. в средах, соответствующих классу агрессивности XF4, обладает высокой стойкостью к циклам ПЗО. Этот состав следует рассматривать в качестве базового или эталонного состава. Показатели качества базового состава бетона с нормативными значениями В/Ц, расхода цемента, воздухововлечения обеспечивают марку по морозостойкости F₂₆₀₀ и более. Снижение воздухововлечения в бетонной смеси ниже нормативного значения приводит к снижению морозостойкости в 2-3 раза.

Стойкость бетона к циклам ПЗО в значительной степени зависит от среды и температуры замораживания. Режим ускоренных стандартных испытаний на морозостойкость существенно влияет на изменение прочности бетона в процессе испытаний по сравнению с базовыми методами. По характеру изменения прочности бетона можно предполагать, что при испытании по режимам базовых методов продолжительность конструктивных процессов в бетоне существенно больше по сравнению с режимом ускоренных стандарт-

ных испытаний. Имеются данные [8] о том, что фактическая морозостойкости бетона в конструкциях может достигать F₂2000 и более при соблюдении основных требований технологии бетонов высокой морозостойкости [15]. Бетон с такими показателями по морозостойкости обеспечивает долговечность не менее 50 лет при эксплуатации в средах, соответствующих классу агрессивности XF4 [13].

Базовый стандартный метод испытаний бетона на морозостойкость позволяют оценивать потенциальные возможности бетона при эксплуатации в агрессивных средах класса XF4 в климатических районах с расчетной зимней температурой наружного воздуха минус 20 °С и выше. Многочисленные исследования дают основание считать, что при более низких температурах замораживания на характер развития процессов в бетоне будет оказывать существенное влияние разность коэффициентов температурного расширения составляющих бетона. Принципиальное отличие бетонов высокой морозостойкости от обычных, очевидно, заключается в том, что формирование структуры бетонов высокой морозостойкости продолжается в течение всего жизненного цикла. Доказательством этому служат результаты многочисленных экспериментов [17] и опыт эксплуатации морских сооружений в агрессивных средах класса XF4 [8].

Анализ научно-исследовательских работ, посвященных вопросам долговечности и морозостойкости бетона, опыт строительства и эксплуатации морских сооружений показывает, что прогнозирование долговечности по показателю морозостойкости затруднено по многим объективным причинам [8]. В частности, не учитывают возможное упрочнение и стабилизацию структуры бетона в эксплуатационный период. Результаты исследований, представленные в данной работе, показывают, что процессы упрочнения и стабилизации структуры могут существенно отразиться на долговечности, поэтому прогноз долговечности без учета этого фактора будет не полным и не объективным. В связи с этим представляют интерес продолжения исследований в направлении изучения потенциальных возможностей бетона при воздействии циклов ПЗО и агрессивных сред.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С.Модры, П. Шиссл. – М.: Стройиздат, 1990.- 320 с.

2. Гладков В.С. Технология изготовления конструкций из долговечного бетона. В сб. научных трудов ВНИИ транспортного строительства, № 78. М., 1974, с. 153 (С. 31-37).

3. ГОСТ 31384-2017 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования.

4. ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости.

5. ГОСТ 4800-59 Бетон гидротехнический. Методы испытаний бетона.

6. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. - Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1983- 132 с.

7. Леонович С.Н. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях/Д.А. Литвиновский, О.Ю. Чернякевич, А.В. Степанова: монография: в 2 ч. Ч. 2- Минск: изд-во БНТУ, 2016.- 393 с.

8. Малюк В.В. Прогнозирование долговечности конструкций морских гидротехнических сооружений из бетона по опыту строительства и эксплуатации в суровых климатических условиях. Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VIII Национальной конференции с международным участием / Под ред. Ф.К. Абдразакова. – Саратов: изд.центр «Наука», 2018. 354 с.

9. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты /Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А.- М. Стройиздат, 1980.- 536 с.

10.Подвальный А.М. Стратегия обеспечения морозостойкости и долговечности бетонных и железобетонных конструкций. // Технология бетонов 2007. - № 3.

11.Розенталь Н.К. Проблемы коррозионного повреждения бетона. //Бетон и железобетон. – 2007. - № 6 с. 29-30.

12.Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: Учеб. пособие для строит. спец. вузов- М.: Высшая школа, 2004. – 701 с.

13.Свиридов В.Н., Малюк В.Д. Применение технологии высокоморозостойких бетонов в практике морского гидротехнического строительства на Дальнем Востоке. В сб. трудов «Стихия. Строительство. Безопасность». Владивосток, Дальнаука, 2008.

14.СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии:- Введен с 08.05.2017.

15.Технические указания по технологии изготовления и защите бетонных и железобетонных конструкций морских гидротехнических сооружений в суровых климатических условиях. ВСН 118-65. Минтрансстрой. М., 1965.

16.Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. Л., 1989.

17.Шестоперов С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. М., изд-во Транспорт, 1976.

УДК 666.311

ФОСФОГИПСОВЫЕ СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ С УЛУЧШЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ МОРОЗОСТОЙКОСТИ

ПОВИДАЙКО В. Г.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Применение гипсовых и фосфогипсовых материалов для наружных работ ограничено из-за низких показателей водостойкости и морозостойкости. Возможность повышения водостойкости гипсовых материалов изучалась А. В. Волженским и А.В. Ферронской [1]. Ими были разработаны и внедрены в производство смешанные вяжущие вещества: гипсоцементно-пуццолановые (ГЦПВ) и гипсошлакоцементно-пуццолановые (ГШЦПВ). Эти материалы сочетают положительные свойства гипсовых вяжущих материалов и портландцемента. Они быстро схватываются и твердеют, что позволяет исключить из технологического процесса энергоемкие и дорогостоящие процессы тепловой обработки, а благодаря использованию цемента повышается водостойкость смешанных материалов. Однако при смешивании в определенных пропорциях гипсового вяжущего и портландцемента образуется высокосульфатная форма гидросульфаломината кальция (этtringита), вследствие чего с течением времени происходит разрушение материала. А.В. Волженский и А.В. Ферронская предложили дополнительно вводить в