

Предложена методика и получены расчетные формулы для оценки риска разрушения потенциально опасных участков крупных каналов в насыпи и на косогоре вследствие фильтрационных воздействий.

На основании расчетов по предложенной методике могут быть заблаговременно разработаны предупредительные мероприятия по исключению вероятности аварии крупного канала.

1. Алтуний В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. – М.: Колос, 1979. – 255 с.

2. Косиченко Ю. М. Каналы переборки стока России. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.

3. Мирцхулава Ц. Е. О надежности крупных каналов. – М.: Колос, 1981. – 318 с.

4. Терлецкая М. Н. Каналы в водонепстойчивых грунтах аридной зоны. – М.:

Колос, 1983. – 96 с.

5. Запорожченко Э. В. Инженерно-геологический опыт проектирования, строительства и эксплуатации первой очереди Большого Ставропольского канала. – Ставрополь: Ставропольское книжное издательство, 1974. – 78 с.

6. Гидротехнические сооружения: справочник проектировщика; под ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.

7. Чугаев Р. Р. Земляные гидротехнические сооружения. – Л.: Энергия, 1967. – 460 с.

8. Гидротехнические сооружения. Основные положения: СНиП 33-01-2003; введ. 01.01.2004. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 30 с.

Материал поступил в редакцию 26.07.12.

*Бакланова Дарья Викторовна, младший научный сотрудник*

*Тел. 8-950-853-22-62*

*E-mail: x-dashulya@rambler.ru*

УДК 502/504:666.3

**А. Н. КЛЮЕВ, В. Б. СЕМЕНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## **КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЩЕЛОЧЕСИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ДОБАВКАМИ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ МИНЕРАЛОВ**

*Приведены результаты исследований коррозионной стойкости щелочесиликатных композиций на основе жидкого стекла, измельченного перлита и добавки глиноземистых минералов, позволяющей снизить содержание водорастворимого силиката натрия, не связанного структурным каркасом бетона. Исследования выполнены в широком диапазоне видов агрессивных сред. Получены новые данные об изменении прочностных свойств бетона.*

*Коррозионная стойкость, щелочесиликатные композиции, жидкое стекло, водорастворимый силикат натрия, бетон, агрессивная среда.*

*There are given investigation results of corrosion resistance of alkaline-silicate mixtures on the basis of addition of liquid glass, granular perlite and aluminous minerals allowing reduce the content of water-soluble sodium silicate which is not bound by the concrete structural frame. The investigations are fulfilled in a wide range of aggressive media. The new data on changing concrete strength properties were received.*

*Corrosion resistance, alkaline-silicate mixtures, liquid glass, water soluble sodium silicate, concrete, aggressive medium.*

Железобетон – основной конструкционный материал в современном капитальном строительстве. Повышение его эф-

фективности, надежности и долговечности имеет большое народно-хозяйственное значение. Помимо основных показателей

качества бетона (классов и марок), устанавливают дополнительные. Для бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивных сред, существенным дополнительным показателем является коррозионная стойкость бетона.

Коррозией бетона называют разрушение, происходящее вследствие воздействия на него атмосферных, химических и биологических факторов. Коррозионные воздействия многообразны. Насчитываются сотни веществ, которые могут входить в соприкосновение с цементным камнем и отрицательно влиять на него.

В соответствии с классификацией, предложенной В. М. Москвиным, химическую коррозию цементного бетона разделяют на три вида [1]:

разложение составляющих цементного камня водой, а также растворение и вымывание (выщелачивание) образовавшегося при этом или ранее имевшегося гидроксида кальция;

развитие обменных реакций между кислотами или солями окружающей среды и составными частями цементного камня с образованием либо легко растворимых солей, уносимых движущимся раствором, либо аморфных продуктов, не обладающих вяжущими свойствами;

образование в цементном камне (под влиянием проникающих в него веществ) соединений, имеющих больший объем, чем исходные продукты реакции, что приводит к внутренним напряжениям и образованию трещин в бетоне.

Для антикоррозионной защиты и повышения долговечности бетона следует выполнять конструктивные требования и применять первичную защиту (путем введения различных модифицирующих добавок), а также вторичную защиту с нанесением на поверхности конструкций различных защитных покрытий.

Для повышения коррозионной стойкости можно применять специальные бетоны. К таким бетонам относится щелочесиликатный бетон. Основными компонентами вяжущего щелочесиликатного бетона являются жидкое натриевое стекло ( $M = 2,8$ ;  $\rho = 1,3...1,4$ ) и измельченное (с удельной поверхностью  $3500...5000 \text{ см}^2/\text{г}$ ) перлитовое сырье. Мелким заполнителем служит кварцитовый отсеv. В каче-

стве крупного заполнителя используется кварцитовый щебень фракцией  $5...10 \text{ мм}$ , удовлетворяющий техническим требованиям государственных стандартов.

Для повышения коррозионной стойкости в состав щелочесиликатного бетона вводится модифицирующая добавка глиноземистых минералов, позволяющая снизить содержание водорастворимого силиката натрия, не связанного структурным каркасом бетона. С этой целью может быть использована каолинистая глина Дружковского месторождения или близкая к ней по характеристикам глина Веселовского месторождения, обожженная при температуре  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  и имеющая в своем составе до  $32 \%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Изучение макро- и микроструктуры щелочесиликатного бетона без добавки и с добавкой глины показало, что введение глины мало влияет на общее строение этого материала. Структура макропорового пространства бетона, а также его контактной зоны практически не меняется. Добавка глины оказывает влияние главным образом на микроструктуру матричной части бетона.

Изучение минерально-фазового состава матрицы бетонов проводилось иммерсионным методом анализа под световым микроскопом, а также с помощью рентгенодифрактометрического метода снятия порошкограмм. Результаты микроскопических исследований в иммерсионных препаратах показали, что сравниваемые пробы отличаются различным количеством стекло- и кристаллических фаз, а также степенью закристаллизованности. Проба с глиной характеризуется заметным уменьшением содержания стеклофазы и соответственно увеличением кристаллической фазы, при этом отмечается более высокая общая закристаллизованность структуры материала.

Результаты свидетельствуют о том, что введение нагретой каолинистой глины в щелочесиликатный бетон, где содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  может достигать  $32 \%$  обуславливает дополнительное связывание избыточного количества щелочи из системы в водонерастворимые (или мало растворимые) алюмосиликаты натрия типа морденита и альбита.

Дополнительным подтверждением сказанного могут являться значения рН водного фильтрата из бетонов: рН бетона

контрольного состава колеблется в пределах 9...9,5, а pH бетона с глиной – 8,6...8,8. Это понижение щелочности указывает на то, что водорастворимая часть матрицы бетона обедняется щелочью в результате увода ее в нерастворимые водой соединения.

Водостойкость щелочесиликатного бетона, как и любого материала, обусловлена главным образом его фазовым составом. Основными фазами щелочесиликатного бетона являются стеклофаза, альбит и морденит, которые различаются по водостойкости. Крупный и мелкий кварцевый наполнитель не принимается во внимание при рассмотрении этого вопроса, поскольку кварц и другие содержащиеся в наполнителе компоненты характеризуются очень высокой водостойкостью.

Наиболее водостойкой фазой является альбит и в несколько меньшей степени морденит (один из немногих водостойких цеолитов). Легко растворяется в воде стеклофаза, содержащая силикаты натрия, о которых упоминалось выше. В связи с этим наиболее благоприятным фазообразованием для нашей системы является сочетание максимального количества альбита и морденита, при незначительном содержании стеклофазы, с водорастворимыми силикатами натрия.

Введение глинозема  $Al_2O_3$ , связывающего избыток щелочи, в виде каолининовой глины в щелочесиликатный бетон обуславливает перераспределение фаз в матрице и максимальный увод из системы растворимой щелочи, что приводит к повышению водостойкости бетона.

Отформованная в изделие смесь твердеет в автоклаве в условиях гидротермальной обработки при давлении

0,8 МПа, температуре 170 °С по режиму 2 + 8 + 2 ч (выход на режим + выдержка + выход из режима).

Проведенные исследования подтвердили высокую морозостойкость (F1000), водостойкость (0,85...0,9) и износостойкость щелочесиликатного бетона [2–4]. Для оценки коррозионной стойкости этого бетона были проведены исследования в соответствии с требованием ГОСТ 25881–83 «Бетоны химически стойкие: Методы испытаний».

Среды для проведения исследований были следующими: воздух, вода, 3% -й раствор NaCl, 40% -й раствор  $NH_4NCO$  и машинное масло марки И-20. Перечисленные среды приняты из условий эксплуатации бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений и их конструкций: облицовок осушительных и оросительных каналов, проточных трактов водопропускных сооружений, берегоукрепительных сооружений, отстойников и оголовков водозаборных сооружений, а также покрытий полов сельскохозяйственных предприятий, дорожных и аэродромных плит покрытий, тротуарных плит. Исследования проводились на кубах размером 7,07x7,07x7,07 см.

Для выдерживания в каждой из намеченных сред было изготовлено пять серий кубов по 15 в каждой серии. Кубы каждой серии выдерживались в указанных средах разное время. Продолжительность выдерживания образцов была принята равной 30, 90, 180, 360 и 540 сут. Параллельно с опытными образцами были изготовлены контрольные кубы, которые хранились в воздушной сухой среде. Число образцов составило 75. Их распределение по средам приведено в таблице.

Среда экспонирования и число опытных образцов

Образец	Среда и число опытных образцов					Число образцов
	Воздушно-сухая	Вода	3% -й раствор NaCl	40% -й раствор $NH_4NCO$	Масло И-20	
Кубы 7,07x7,07x7,07 см	15	15	15	15	15	75

Опытные образцы хранили в эксикаторах. Уровень раствора придерживали таким, чтобы его толщина над образцами

была не менее 3 см. Температура химических сред была принята равной  $20 \pm 2$  °С. Концентрацию среды проверяли через

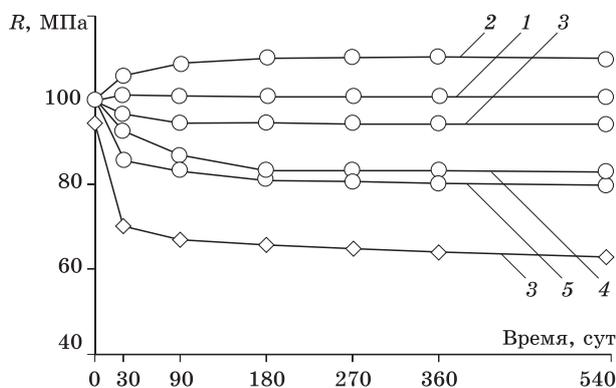
каждые 30 сут. По истечении установленного срока образцы извлекали из емкости и протирали. После обмера и взвешивания образцов определяли их прочность.

Оценка коррозионной стойкости бетона осуществлялась по изменившейся прочности образца после каждого срока выдерживания по сравнению с прочностью образца воздушно-сухого хранения. Критерием стойкости был принят коэффициент  $K$ , определяемый так:

$$K = R_{tn} / R_0,$$

где  $R_{tn}$  – прочность образцов в среде в течение  $n$  сут;  $R_0$  – прочность образцов воздушно-сухого хранения.

Основные результаты исследований коррозионной стойкости модифицированного бетона приведены на рисунке.



**Изменение прочности кубов из щелочесиликатных бетонов:** ○ – с добавкой глины; ◇ – без глины; (1 – воздух; 2 – масло И-20; 3 – вода; 4 – 3 %-й раствор NaCl; 5 – 40 %-й раствор  $NH_4HCO$ )

### Выводы

Прочность модифицированного щелочесиликатного бетона при воздушно-сухом хранении практически не изменяется. За 540 сут хранения (1,5 года) прочность образцов увеличилась на 3 %.

Во всех случаях отмечено снижение прочности при выдерживании образцов в различных средах. Исключение составили образцы, выдерживаемые в машинном масле И-20. Прочность этих образцов увеличилась через 540 сут в среднем на 6 %.

Максимальное снижение прочности отмечено для образцов, выдерживаемых в 40%-м растворе мочевины ( $NH_4HCO$ ). Это снижение составило в среднем 20 %.

При выдерживании в остальных средах снижение прочности колебалось в диапазоне 10...15 %.

Снижение прочности образцов из модифицированного бетона при выдерживании их в водной среде составило в среднем 12 %, из бетона без добавки глины – почти 30 %, т. е. водная среда для щелочесиликатных бетонов является агрессивной средой.

Проведенные исследования показали достаточно высокую коррозионную стойкость модифицированного щелочесиликатного бетона. Коэффициент коррозионной стойкости для него в большинстве случаев составлял 0,90...0,80.

При эксплуатации железобетонных конструкций в рассмотренных агрессивных средах следует учитывать снижение прочности бетона введением коэффициента коррозионной стойкости.

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин [и др.]; под общ. ред. В. М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.

2. Новый вид щелочесиликатного бетона – конструкционного материала для машиностроения / Е. А. Гузев [и др.] // Бетон и железобетон. – 1989. – № 2. – С. 10–11.

3. Клюев А. Н., Пименов А. Н., Гузев Е. А. Износостойкие щелочесиликатные бетоны: Коррозионная стойкость бетона, арматуры и железобетона в агрессивных средах: сб. науч. статей. – М.: НИИЖБ, 1988. – С. 58–62.

4. Клюев А. Н., Семенов В. Б. Сопротивление истиранию модифицированного щелочесиликатного бетона: сб. науч. трудов. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2004. – С. 219–222.

Материал поступил в редакцию 18.06.12.

**Клюев Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, декан факультета довузовского образования и профориентации

Тел. 8 (499) 976-14-36

**Семенов Валерий Борисович**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Инженерные конструкции»

Тел. 8 (499) 976-26-43