

ПРИМЕНЕНИЕ ДОБАВКИ STG-3 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИНЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА ПО ОТНОШЕНИЮ К СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЕ

Уласевич В.П., Якубовская О.А.

Актуальность проблемы. Долговечность железобетонных конструкций в значительной степени зависит от защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, которая склонна подвергаться коррозии. Интенсивности коррозии усиливается воздействием хлоридов, которые присутствуют в бетоне чаще всего в результате применения в качестве ускорителей твердения различных хлорсодержащих добавок. Ослабить их коррозионное воздействие можно только в том случае, если содержание хлоридов в жидкой фазе бетона не превышает 0,03–0,05% [1].

Наиболее распространенным способом защиты стали от действия хлоридов является обеспечение низкой проницаемости бетона за счет применения добавок-суперпластификаторов. Однако в некоторых случаях даже бетон с низкой проницаемостью не обеспечивает достаточной защиты, например, когда конструкция требует малой величины защитного слоя, допускается раскрытие трещин в бетоне, используется бетон высокой влагопроницаемости, или конструкция эксплуатируется в агрессивной среде.

Защитная способность бетона по отношению к стальной арматуре обеспечивается также щелочной природой его жидкой фазы, обуславливающей образование на поверхности арматуры пассивационного слоя. Однако в результате длительного взаимодействия бетона с углекислым газом, а также воздействия агрессивных сред идет реакция карбонизации, pH среды снижается, начинаются процессы коррозии. Для обеспечения защиты арматуры важно, чтобы у ее поверхности значение pH жидкой фазы не падало ниже 11,8.

Таким образом, эксплуатация конструкций в условиях агрессивной среды требует дополнительной защиты стальной арматуры, которая может быть достигнута либо путем специальной ее обработки, либо путем усиления защитных свойств бетона при его модифицировании *добавками – ингибиторами коррозии*. Принцип действия ингибиторов коррозии основан на свойстве некоторых индивидуальных химических соединений или их смесей уменьшать скорость коррозионного процесса. Такие добавки представляют собой химические соединения вводимые в бетон или раствор в малых концентрациях, в результате взаимодействия которых со стальной арматурой замедляется или предотвращается реакция взаимодействия металла с окружающей средой. К преимуществам такого вида защиты стальной арматуры, наряду с экономичностью, следует отнести легкости и практическую внедрения, достигаемые за счет несущественных изменений технологического процесса и без использования дополнительного оборудования.

По типу действия ингибиторы подразделяют на *анодные* (пассиваторы), *катодные* и *смешанного действия*. По химической природе ингибиторы могут быть *неорганическими* и *органическими*.

Анодные ингибиторы — это вещества, способные подавлять реакции, протекающие на аноде. Наиболее распространенным анодным ингибитором явля-

ются растворимые соли азотистой кислоты (нитриты NaNO_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$) и хромат натрия Na_2CrO_4 . Отметим, что эти добавки эффективны только тогда, когда они присутствуют в достаточно высоких концентрациях (2—4 % массы цемента). Защитное действие нитритов состоит в образовании поверхностной оксидной пленки, однако при недостаточных их дозах возможно проявление точечной коррозии арматуры. Следует отметить, что нитриты и хроматы относятся к веществам, вызывающим раздражение кожи и дыхательных путей.

Катодные ингибиторы действуют либо путем замедления катодной реакции, либо путем выборочного осаждения на катодных пластинах. В качестве добавок этой группы часто используют гидроксиды (NaOH и NH_4OH), применяемые так же и как ускорители твердения бетона. Их действие в отличие от анодных ингибиторов является обычно косвенным, например, увеличивается значение pH среды, и таким образом уменьшается растворимость соединений железа. Отметим, что при наличии хлоридов их пассивирующее действие недостаточное.

Ингибиторы смешанного действия наиболее предпочтительны, так как их действие направлено на всеохватывающую поверхностную коррозию, возникающую из-за присутствия агрессивной среды, а также из-за наличия микропор на поверхности металла. К этой группе относятся органические соединения, способные замедлить коррозию металла путем замедления скорости как катодной, так и анодной реакций (органические вещества, содержащие полярные группы (амины и их соли), альдегиды, гетероциклические и другие соединения) [1]. Важно, что *органические ингибиторы* с увеличением дозировки, как правило, не уменьшают удобоукладываемости бетонной смеси, а их недостаточная концентрация не приводит к язвенной коррозии. Их защитное действие тем выше, чем легче они сорбируются на железе, а также чем сильнее смачивающая способность входящих в них ПАВ. Следует учитывать, что их эффективность в цементных системах может быть снижена при недостаточной дозировке вследствие интенсивной сорбции минералами цемента [1].

Механизм действия *органических ингибиторов* основан на наличии в них ионогенных ПАВ, а также полярных карбоксильных, и аминных групп, способных к образованию органических солей. Будучи хорошо растворимыми в воде они способны образовывать органические анионы, которые хорошо адсорбируются только на поверхности металла, в то время как продукты коррозии их не адсорбируют.

Материалы и методика исследований. В [2] доказано, что арматура в бетоне, модифицированном добавкой для бетонов STG-3 в оптимальном количестве (0,0075 - 0,0125% от массы цемента), находится в устойчивом пассивном состоянии. Анализируя механизм действия органических ингибиторов коррозии в бетоне [1], а также химические свойства входящих в STG-3 гумусовых кислот, обусловленные наличием в них разнообразных реакционноспособных функциональных групп (карбоксильных, фенольных и спиртовых гидроксильных, азотсодержащих алифатических аминов) и их растворимых солей), естественно было предположить о проявлении добавкой STG-3 свойств органических ингибиторов коррозии смешанного действия.

Для доказательства возможности получения бетонов, модифицированных добавкой STG-3, с повышенными защитными свойствами по отношению к

стальной арматуре, нами были проведены дополнительные экспериментально-теоретические исследования:

а) изучалась возможность применения повышенного расхода добавки STG-3 (в сравнении с установленным ранее оптимальным [2], [3]) без существенного снижения ее эффекта как ускорителя твердения бетона и без ухудшения реологических свойств бетонной смеси;

б) исследовались защитные свойства бетона, модифицированного добавкой STG-3 при повышенном ее расходе, по отношению к стальной арматуре по методу ускоренных электрохимических испытаний;

в) по результатам исследований оценивалось влияние повышенного расхода добавки на защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре.

Определение пассивирующего действия бетона, модифицированного добавкой STG-3, по отношению к стальной арматуре выполняли по *направлению 1* СТБ 1168-99 [4]. Сущность метода испытаний состоит в определении защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре путем наложения электрического потенциала на стальную арматуру и измерения соответствующей величины плотности тока с последующим построением поляризационной кривой и ее анализом.

Оценка влияния компонентов бетона на его защитное действие по отношению к стальной арматуре выполнялась после испытаний армированных образцов в условиях их циклического насыщения (в среде-воде и в среде 5 % раствора соли NaCl) и последующего высушивания.

Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании Научно-исследовательской и испытательной лаборатории бетона и строительной продукции (НИИЛ БиСП) БНТУ.

При изготовлении образцов (размером 40×40×160 мм) использовали составы бетонных смесей, приведенные в таблице 1, и стержни, изготовленные из арматурной стали класса S240, диаметром 10 мм.

Таблица 1 – Составы бетонных смесей для изготовления образцов

Наименование состава бетона	В/Ц	ОК см	Расход материалов на 1 м ³				
			Ц, кг	П, кг	Щ, кг	В, л	Добавка STG-3, л
Контрольный состав бетона	0,576	2	300	804	1206	173	–
Состав бетона с добавкой STG-3	0,542	2				156,5	6,12

Характеристики материалов: *портландцемент* по ГОСТ 10178 ПЦ 500-Д0 ОАО «Красносельскстройматериалы», $ИГ=25,0\%$, $R_n=48,7$ МПа; *песок* природный с $M_k=2,4$; *щебень* гранитный фракций 5÷10 мм; *вода* – по СТБ 1114; *добавка* STG-3 ТУ РБ 0271613.379-2004 с $plf=11,9$, массой сухих веществ – 4,9 %, удельной плотностью $\rho=1022$ кг/м³. В качестве начального порога дозировки принят расход добавки STG-3, равный 0,1 % от массы цемента в перерасчете на сухое вещество.

Результаты исследований. Исследования защитных свойств бетонов контрольного состава и с добавкой STG-3 (основного) выполнены по вышеназванной методике на образцах после 28 суток твердения, а также после 10 и 20 циклов попеременного насыщения в водной среде и в 5%-ом растворе соли NaCl и высушивания. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Заключение о коррозионном состоянии стали в образцах

Обозначение состава бетона	Плотность тока при потенциале +300 мВ, $\mu\text{А/см}^2$		Заключение о коррозионном состоянии стали в бетоне	
	Среднее значение	Требование СТБ 1168-99	Ненапрягаемая сталь	Напрягаемая сталь
Контрольный 0 циклов	4,72	до 10,0 (5,0*)	Устойчивое пассивное состояние	Устойчивое пассивное состояние
Контрольный 10 циклов в воде	2,19			
Контрольный 20 циклов в воде	1,71			
Контрольный 10 циклов в р-ре соли	10,63		Неустойчивое пассивное состояние (возможна слабая коррозия)	Активное состояние (возможна интенсивная коррозия)
Контрольный 20 циклов в р-ре соли	11,12			
С добавкой STG-3 0 циклов	4,06		Устойчивое пассивное состояние	Устойчивое пассивное состояние
С добавкой STG-3 10 циклов в воде	1,60			
С добавкой STG-3 20 циклов в воде	2,19			
С добавкой STG-3 10 циклов в р-ре соли	9,53			
С добавкой STG-3 20 циклов в р-ре соли	9,68			
			Неустойчивое пассивное состояние (возможна слабая коррозия)	

* – нормируемое значение плотности тока для напрягаемой стали

Анодные поляризационные кривые испытаний контрольных образцов и образцов с добавкой STG-3 (основных), подтверждающие данные, приведенные в таблице 2, изложены в [5].

После проведения электрохимических испытаний арматурные стержни, изъятые из бетонных образцов, были подвергнуты дальнейшему длительному наблюдению при комнатной температуре и влажности. По истечении месяца после испытаний было установлено, что арматурные стержни, изъятые из контрольных образцов после 28 суток твердения, покрылись точечной коррозией, в то время как стержни из основных образцов бетона с добавкой STG-3 были покрыты сплошной пассивирующей пленкой и не имели следов коррозии [5]. В настоящее время за состоянием образцов ведутся дальнейшие наблюдения.

Необходимо отметить, что после 10 циклов насыщения/высушивания все контрольные образцы бетона (40×40×160 мм) имели две выраженные поперечные трещины.

В образцах, рабочей жидкостью для которых являлся 5 % раствор соли, ширина раскрытия трещин была больше, чем в образцах, выдерживавшихся в водной среде. При осмотре основных образцов бетона с добавкой STG-3, подвергшихся циклическим испытаниям в воде, трещин обнаружено не было. На основных образцах бетона, подвергшихся циклическим испытаниям в растворе соли, трещин либо не наблюдалось (см. рис. 1), либо была обнаружена одна по-

перечная трещина со значительно меньшей шириной раскрытия в сравнении с контрольными образцами. Это свидетельствует о более высокой стойкости образцов бетона с добавкой STG-3 при циклическом увлажнении и высушивании, в том числе и в условиях агрессивной среды (5% раствор хлорида натрия).

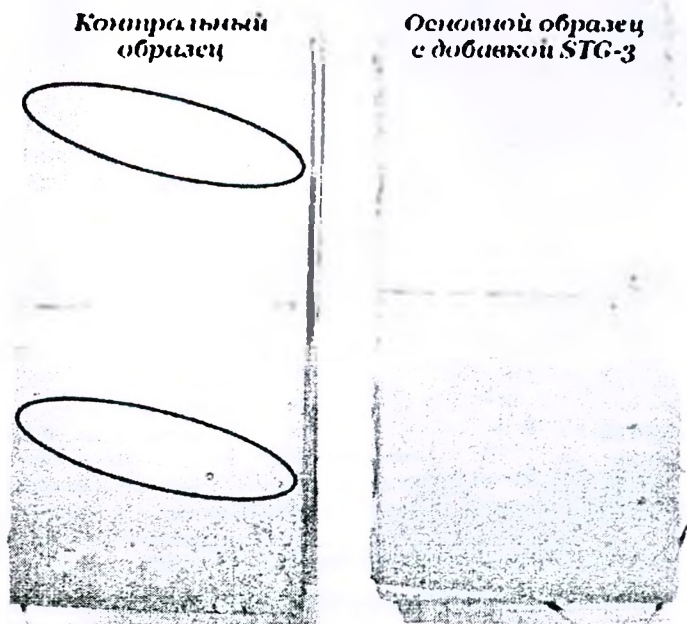


Рисунок 1 – Состояние экспериментальных образцов бетона после 10 циклов насыщения в растворе соли NaCl и высушивания

Кроме вышесказанного, были выполнены долговременные исследования по выдерживанию стальных арматурных стержней в водной среде и в добавке STG-3 (1,7%-й раствор по сухому веществу добавки). После полного испарения жидкой фазы в условиях комнатной температуры было проведено сравнение стальных стержней. Образцы, выдерживавшиеся в воде, были покрыты сплошным слоем коррозионного налета, в то время как на образцах, выдерживавшихся в добавке STG-3, следы коррозии отсутствовали, а поверхность стержней была покрыта пассивирующим слоем темно-коричневого цвета (соответствующего цвету добавки STG-3). Это свидетельствует о ярко выраженной комплексобразующей способности входящих в состав добавки функциональных групп, обеспечивающих ей свойства органического ингибитора коррозии смешанного действия.

Заключение. Исследования подтвердили возможность использовать добавку STG-3 для придания бетону повышенных защитных свойств по отношению к стальной арматуре. При этом бетон, модифицированный добавкой STG-3, оказывает защитные свойства не только благодаря проявлению добавкой свойств

органического ингибитора коррозии, но и благодаря ее способности подщелачивать жидкую фазу бетона, а также обеспечивать более плотную структуру бетона в процессе его твердения [6].

Устойчивое (пассивное) состояние стальной арматуры в бетоне с добавкой STG-3 подтверждает целесообразность ее применения для изготовления железобетонных конструкций, в том числе и предварительно напряженных с повышенными защитными свойствами по отношению к стальной арматуре.

Список цитированных источников

1 Алексеев, С.Н. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях / С.Н. Алексеев, В.Б. Ратинов, Н.К. Розенталь, Н.М. Кашурников – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.

2 Уласевич, В.П. Некоторые свойства конструкционных бетонов, модифицированных добавкой STG-3 / В.П. Уласевич, З.Н. Уласевич, О.А. Якубовская // Вестник БрГТУ – 2007 – № 1(48) Строительство и архитектура – С. 54–59

3 Уласевич, В.П. Прогнозирование основных свойств бетонов, модифицированных добавкой суспензии торфяных гуминовых веществ / В.П. Уласевич, З.Н. Уласевич, О.А. Якубовская // Вестник ПГУ, серия F «Прикладные науки». Строительные материалы и технологии. – 2007 – № 12 – С. 58–62

4 СТБ 1168-99 Бетоны Метод контроля коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне и защитных свойства бетона. – Введ. 21.07.99 – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1999. – 16 с.

5 Уласевич, В.П. Электронно-микроскопические исследования структуры цементного камня, модифицированного добавкой STG-3 / В.П. Уласевич, О.А. Якубовская // Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура – 2009 – № 1 (55). – С. 90–94

6 Уласевич, В.П. Защитные свойства бетонов, модифицированных добавкой STG-3, по отношению к стальной арматуре / В.П. Уласевич, О.А. Якубовская // Вестник БрГТУ. – 2009 – № 1(55): Строительство и архитектура – С. 94–98.

УДК 666.97; 693.54в

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРВИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ТВЕРДЕЮЩЕГО БЕТОНА

Саназ Эгбалшик, Батяновский Э.И., Коваженкова В.И.

Введение. Вся совокупность физико-технических свойств тяжелого цементного бетона, включая прочностные, упруго-деформативные, эксплуатационные (водо-, коррозионную, морозостойкость и др.), непосредственно зависит от качества структуры цементного камня. В свою очередь, на ее важнейшие характеристики: плотность, пористость, проницаемость, при прочих равных условиях, определяющее влияние оказывает начальный период твердения бетона. В частности, условия влагообмена с окружающей средой, которая характеризуется пониженной влажностью при высокой положительной температуре и, особенно, в сочетании с наличием и ростом скорости движения воздуха (ветра). Эта проблема существенна как для варианта тепловой обработки сборных изделий с использованием «сухих» теплоносителей, так и для монолитного строительства в летний период года, а также в любой иной при использовании разнообразных вариантов обогрева бетона, исключая паробогрев. Среди приемов технологической защиты неопалубленных поверхностей свежесотформованного бетона или после снятия опалубки (полив, разнообразные увлажняемые посыпки и гидроизолирующие укрытия, пленкообразующие составы и пр.) не полу-