

отмечает, что наличие в сколе крупных зерен белита характерно для образцов портландцементного камня высокой прочности.

Необходимо отметить, что и в возрасте 28 суток образцы цементного камня с добавкой отличаются более низкой пористостью и повышенной дисперсностью новообразований (рис. 6). Так, в порах цементного камня контрольных образцов размеры кристаллов этtringита достигают 1,5 мкм, игольчатых гидросиликатов кальция – 0,6 мкм (рис. 7, а). Тогда как в основных образцах с добавкой STG-3 размеры кристаллов этtringита не превышают 0,6 мкм, игольчатых кристаллов гидросиликатов кальция – 0,4 мкм (рис. 7, б).

При изучении структуры было выявлено, что в основных образцах цементного камня с добавкой STG-3 кристаллы гидросиликатов и этtringита более полно заполняют поровое пространство, образуя плотные сростки, способствующие, по-видимому, значительному уплотнению и упрочнению микроструктуры цементного камня (рис. 8, б).

Также необходимо отметить, что повышение pH поровой жидкости цементного камня (что наблюдается при использовании добавки STG-3) может способствовать переходу метастабильного при значениях pH выше 12,5 этtringита в моносulfатную форму. Известно, что этот процесс сопровождается снижением прочности. С помощью метода СЭМ идентифицировать моносulfаты достаточно сложно в связи со схожестью их морфологии с пластинчатыми кристаллами гидроксида кальция. Наиболее надежно идентифицируется эта фаза методом дифференциального термического анализа по соответствующему эффекту при 175–220°C. В связи с этим отметим, что на кривых дифференциального термического анализа для контрольных образцов и образцов с добавкой STG-3 [5] этот эффект не наблюдается на всем исследованном интервале времени (28 суток твердения).

Выводы. В результате испытаний методом СЭМ установлено следующее:

1. На всех исследованных сроках твердения структура цементного камня, модифицированного добавкой STG-3, отличается повышенной плотностью и дисперсностью новообразований, меньшей пористостью, а также смещением размеров пор в сторону большей дисперсности по сравнению с контрольными образцами цементного камня без добавки. Кроме того, структура модифицированного камня отличается большей однородностью распределения новообразований в объеме цементного камня. По-видимому, это связано с комплексным действием добавки, обуславливающим интенсификацию процессов гидратации (что подтверждено рентгеновским фазовым анализом и дифференциальным термическим анализом [5]). Прежде всего, это обусловлено увеличением ионной силы жидкой фазы цементного теста и повышением растворимости исходных клинкерных минералов, а также пластифицирующими свойствами добавки и возможностью снижения водоцементного отношения.

2. Выявленное увеличение дисперсности новообразований подтверждает пластифицирующую способность добавки STG-3, которая определена ее выраженными свойствами ионногенных органических ПАВ, способствующих изменению величины поверхностного натяжения воды на границе раздела фаз и степени смачиваемости зерен [8].
3. Важную роль в процессах гидратации и структурообразования играет повышение pH воды затвердения цементного теста при введении в него добавки STG-3. В результате изменяется не только кинетика гидратации, но также морфология, степень полимеризации и прочностные свойства новообразований.
4. Проведенные электронномикроскопические исследования совместно с результатами физико-химических исследований [5], а также исследований кинетики набора прочности бетона и цементно-песчаного раствора с добавкой STG-3 [3, 4] указывают на то, что добавка ускоряет твердение цементных композиций в нормальных условиях, улучшает микроструктуру цементного камня, способствует повышению его физико-механических свойств.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сычев, М.М. Твердение цементов: Учеб. пособ. / М.М. Сычев. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1981. – 60 с.
2. Комохов, П. Г. Наноструктурная модель цементного камня для оценки свойств композиционного материала / П. Г. Комохов, А.М.Харитонов // Популярное бетоноведение. – 2007 – № 2 (16). – С. 125–127.
3. Уласевич, В.П. Некоторые свойства конструктивных бетонов, модифицированных добавкой STG-3 / В.П. Уласевич, З.Н. Уласевич, О.А. Якубовская // Вестник БГТУ. Серия «Строительство и архитектура». –2007. № 1 (43). – С. 55–60.
4. 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 Ф «Прикладные науки». – 2007. № 9. – С. 58–62.
5. Уласевич, В.П. Оценка процесса структурообразования цементного камня с добавкой STG-3 физико-химическими методами / В.П. Уласевич, З.Н. Уласевич, О.А. Якубовская // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. –2008. № 1 (49). – С. 52–57.
6. Ларионова, З.М. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона / З.М. Ларионова, Л.В. Никитина, В.Р. Гарашин. – М.: Стройиздат, 1977. – 264 с.
7. Казанская, Е.Н. Образование гидратных фаз портландцементного камня: Текст лекций / Е.Н. Казанская; под ред. М.М. Сычева. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1990. – 50 с.
8. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.

Материал поступил в редакцию 09.02.09

ULASEVICH V.P., JAKUBOVSKAJA O.A., ULASEVICH Z.N. The scanning electron microscopic studies of the cement paste structure modified by admixture STG-3

This article describes the results of scanning electron microscopic studies of the cement paste structure modified by chemical concrete admixture STG-3 TY BY 0271613.379-2004.

The results of the research has allowed to confirm the conclusion that chemical admixture STG-3 accelerates the hardening of cement compositions under normal conditions, improves structure of cement paste, increases the physical and mechanical properties of concrete.

УДК 691.87

Уласевич В.П., Якубовская О.А.

ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОБАВКОЙ STG-3, ПО ОТНОШЕНИЮ К СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЕ

Введение. Арматура железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях различных агрессивных сред, может подвергаться интенсивной коррозии, существенно снижающей их долговечность.

Наиболее опасным является влияние язвенных коррозионных повреждений металла, которые аналогично концентраторам напряжений локализуют пластическую деформацию в небольшом объеме металла. У пластичных сталей происходит перераспределение

напряжений около этих поражений, в то время как у высокопрочных сталей с малой пластичностью, значительными дефектами структуры и высокими внутренними напряжениями концентрация напряжений на пораженных участках сохраняется длительное время. В связи с этим высокопрочная стержневая арматура проявляет склонность к коррозионному растрескиванию, которое реализуется в виде трещин, развивающихся вплоть до разрыва перпендикулярно направ-

лению главных растягивающих напряжений, если растяжение стержня сопровождается агрессивным воздействием среды.

Наиболее распространенной причиной разрушений железобетонных конструкций является локализованная хлоридная коррозия. Кроме хлоридов, растрескиванию высокопрочной арматуры способствуют нитраты, сульфаты, сульфиды, роданиды и некоторые другие соли. Опасность возрастает с повышением их концентрации и температуры [1].

Необходимо отметить, что в СТБ 1168-99 [2] величина критерия пассивного состояния стальной арматуры при электрохимических испытаниях для напрягаемой и ненапрягаемой стали в силу выше – указанных причин различна и составляет соответственно до 5 и до 10 мкА/см². Если такие условия соблюдаются, то бетон обеспечивает устойчивое пассивное состояние стальной арматуры.

С учетом вышесказанного, обеспечение длительной, на весь срок эксплуатации конструкции, сохранности арматуры экономически оправдано и представляет актуальную задачу.

Стойкость бетона, а также его способность защищать арматуру зависят от большого числа факторов. Основой защитной способности бетона по отношению к стали является, прежде всего, щелочная природа его жидкой фазы, обуславливающая 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 pH жидкой фазы не падал ниже 11,8, а содержание хлоридов соответственно не превышало 0,03÷0,05% [1]. Длительность защиты арматуры будет тем дольше, чем меньше степень проницаемости бетона и больше толщина защитного слоя.

Поскольку увеличение толщины защитного слоя приводит к перерасходу материалов и, соответственно, удорожанию конструкций, то основным резервом увеличения длительности защитного действия бетона является *снижение его проницаемости*, которая, в свою очередь, зависит от микроструктуры и характера пористости цементного камня (однородность структуры цементного камня, взаимное расположение и абсолютные размеры открытых и закрытых капилляров и пор, степень гидрофобизации внутренней поверхности пор и капилляров), а также использование химических добавок, не содержащих хлориды и другие агрессивные вещества по отношению к стальной арматуре.

Другой способ повышения коррозионной устойчивости арматуры в бетоне – применение ингибиторов коррозии в виде химических добавок, вводимых в бетон с целью предохранения арматуры в бетоне от агрессивных воздействий.

По химической природе ингибиторы могут быть *неорганическими* и *органическими*; по типу действия ингибиторы подразделяют на анодные (пассиваторы), катодные и смешанного действия. Европейская федерация коррозии подразделяет ингибиторы на три класса: поверхностно-активные (ПАИ), пленочные (ПИ) и мембранные (МИ).

Использование ускорителей твердения бетона весьма эффективно в плане энергосбережения при его производстве. Однако их применение сопряжено с проблемой коррозионной стойкости арматуры в бетоне. В состав большинства известных добавок-ускорителей, а также добавок комплексного действия в качестве ускоряющего компонента входят такие минеральные соли, как хлорид кальция, сульфат натрия, натрий тиосульфат и натрий роданид и др. Если вещество-ускоритель добавки не связывается продуктами гидратации цемента в нерастворимые соединения, а присутствует в свободном состоянии в поровой жидкости цементного камня, то ее анионы способны вызывать коррозию металла. Особую значимость этот вопрос приобретает для предварительно-напряженных конструкций.

Добавка для бетонов STG-3 ТУ РБ 0271613.379-2004 представляет собой суспензию гуминовых веществ (карбоксильных групп, фенольных гидроксидов, карбонильных, хинных групп и др.) и их растворимых солей (гуматов и фульватов). РУПП «Стройтехнорм» она аттестована для введения в бетонную смесь с целью ускорения твердения бетона и улучшения технологических свойств бетонной

смеси при изготовлении бетонных конструкций. Испытаниями по СТБ 1168-99 доказано [2], что применение добавки STG-3 при оптимальном расходе (0,0075 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество) не оказывает вредного воздействия на защитные свойства модифицированного бетона по отношению к стальной арматуре, следовательно, она может применяться при изготовлении железобетонных конструкций.

Нами установлено, что органические анионы гуматов и фульватов, входящие в состав добавки STG-3, за счет наличия карбоксильных, фенольных и спиртовых гидроксильных, карбонильных функциональных групп, а также азотосодержащих соединений (алифатических аминов, аминокислот и гетероциклов) обладают выраженной комплексообразующей способностью по отношению к стали, образуя на ее поверхности нерастворимую пленку из гуматов железа. Отметим также положительную роль ионов натрия, которые, адсорбируясь на стальной арматуре, уменьшают свободную энергию системы и тем самым затрудняют переход ионов металла в жидкую фазу цементного камня. Естественно предположить, что повышенный расход добавки в бетон приведет к повышенным защитным свойствам бетона по отношению к стальной арматуре. Это позволит обосновать применение добавки STG-3 для изготовления предварительно напряженных конструкций, что является актуальной задачей в научном и практическом плане.

Методика испытаний и оборудование. Определение пассивирующего действия бетона, модифицированного добавкой STG-3, по отношению к стальной арматуре выполняли по *направлению 1* СТБ 1168-99 [2]. Метод основан на том, что при погружении бетонного образца со стальной стержнем, исполняющим роль электрода, в воду или раствор электролита некоторое количество ионов железа переходит в раствор (анодный процесс), а соответствующее количество электронов остается в металле. Образуется двойной электрический слой со скачком потенциала на границе «металл-жидкость», который препятствует растворению металла. За счет восстановления кислорода или ионов водорода (катодный процесс) равновесие в двойном слое нарушается, и вновь ионы железа переходят в раствор. В целом, скорость растворения стали определяется тем процессом, который протекает с наибольшим торможением (чаще всего анодным). О степени торможения анодного процесса можно судить по анодным поляризационным кривым, выражающим зависимость плотности тока от потенциала. При снятии поляризационных кривых испытуемый стальной электрод, находящийся в бетоне, включают в электрическую цепь и, изменяя величину потенциала, наблюдают за изменением тока в цепи (потенциостатический метод) или наоборот – изменяя величину тока, наблюдают за изменением потенциала (гальваностатический метод). По двум параметрам строят поляризационную кривую. При наличии сильной поляризации электрода, т.е. когда большому изменению потенциала соответствует небольшое изменение плотности тока, сталь находится в пассивном состоянии. При слабой поляризации сталь находится в активном состоянии и способна интенсивно подвергаться коррозии.

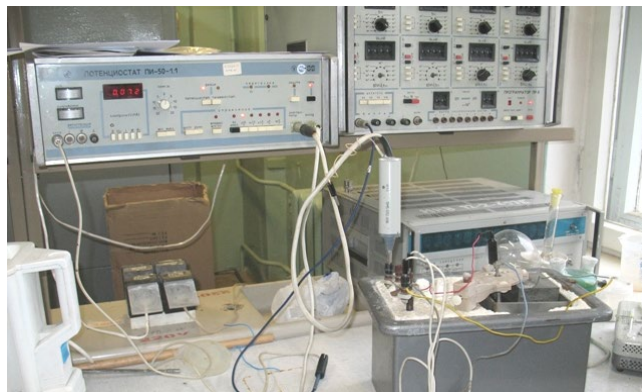


Рис. 1. Испытательное оборудование НИИЛ БУСМ БНТУ

Таблица 1. Составы бетонных смесей для изготовления образцов

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

Таблица 2. Заключение о коррозионном состоянии стали в образцах

Обозначение состава	Плотность тока при потенциале +300 мВ, кА/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			
Основной 0 циклов	4,06		Устойчивое пассивное состояние	Устойчивое пассивное состояние
Основной 10 циклов в воде	1,60			
Основной 20 циклов в воде	2,19			
Основной 10 циклов в р-ре соли	9,53			Неустойчивое пассивное состояние (возможна слабая коррозия)
Основной 20 циклов в р-ре соли	9,68			

* – нормированное значение для напрягаемой стали

Исследования выполнены на оборудовании научно-исследовательской и испытательной лаборатории бетона и строительных материалов (НИИЛ БиСМ) БНТУ. Для измерения силы тока и наложения с определенной скоростью потенциала на рабочий электрод используют потенциостат ПИ-50-1 и программатор ПР-5. Для снятия анодных поляризационных кривых использовали электрохимическую ячейку (рис. 1).

Результаты экспериментальных исследований. Для изготовления образцов использовали составы бетонных смесей, приведенные в таблице 1.

Характеристики материалов: *портландцемент* по ГОСТ 10178 ПЦ 500-Д0 ОАО «Красносельскстройматериалы», $НГ=25,0\%$, $R_{и}=48,7$ 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 $pH=11,9$, массой сухих веществ – 4,9 %, удельной плотностью $\rho=1022$ кг/м³. Дозировка добавки STG-3 принята равной 0,1 % от массы цемента в перерасчете на сухое вещество.

Исследования защитных свойств бетонов контрольного состава и основного состава с добавкой STG-3 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. Для изготовления образцов использовали стержни, изготовленные из арматурной стали класса S240, диаметром 10 мм.

Результаты исследований приведены в таблице 2 и на рис. 2 и 3.

Необходимо отметить, что с точки зрения долговечности конструкций предпочтительно состояние устойчивости (пассивности) стали в бетоне. Активное коррозионное состояние по отношению к стали недопустимо. Неустойчивое пассивное состояние может быть приемлемо, если скорость растворения/коррозии стали ограничена малой величиной потерь, не отражающихся практически на эксплуатационной пригодности конструкций. Однако при этом долговечность конструкции следует оценивать с учетом агрессивности внешней среды.

После проведения электрохимических испытаний арматурные стержни, изъятые из бетонных образцов, были подвергнуты дальнейшему наблюдению при комнатной температуре и влажности. По истечении месяца было установлено, что арматурные стержни, изъятые из контрольных образцов, твердевших 28 суток, покрылись точечной коррозией, в то время как на стержнях из основных образцов бетона с добавкой STG-3, которые были покрыты сплошной пассивирующей пленкой, следов коррозии не наблюдалось (рис. 4).

Кроме того, проводились 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 состояния 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, очевидно, связано с ярко выраженной комплексобразующей способностью определенных функциональных групп (карбоксильных, фенольных и спиртовых гидроксильных, а также некоторых азотосодержащих групп), входящих в состав добавки STG-3.

Необходимо отметить, что в [1] приведены данные о целесообразности предварительной обработки металла растворами ингибиторов. В связи с этим следует изучить возможность предварительной обработки арматурной стали добавкой STG-3 непосредственно перед ее использованием для изготовления железобетонных конструкций. Вероятно, это позволит повысить коррозионную стойкость арматуры в бетоне, а также снизить расход добавки, необходимый для достижения максимального защитного эффекта.

Приведенные экспериментальные исследования подтвердили повышение защитных свойств бетона, модифицированного добавкой STG-3, по отношению к стальной арматуре в железобетонных изделиях и конструкциях.

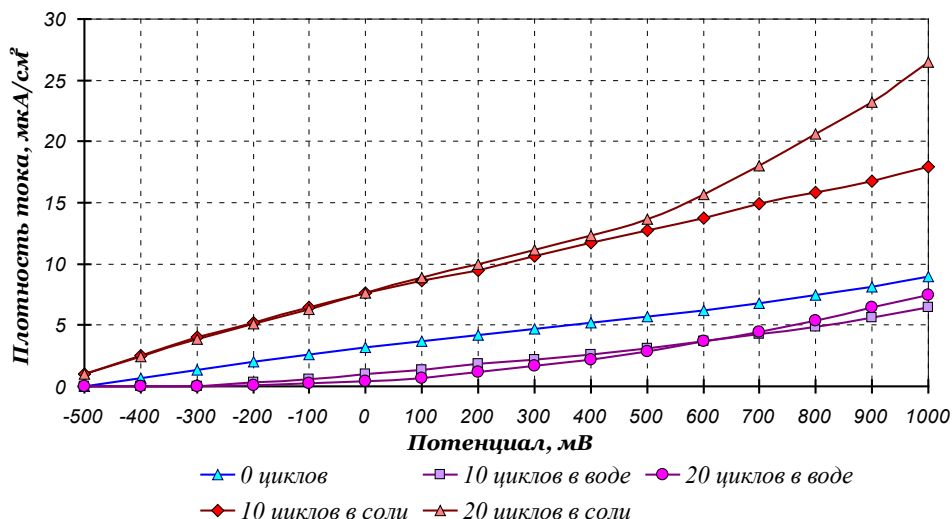


Рис. 2. Анодные поляризационные кривые для контрольных образцов

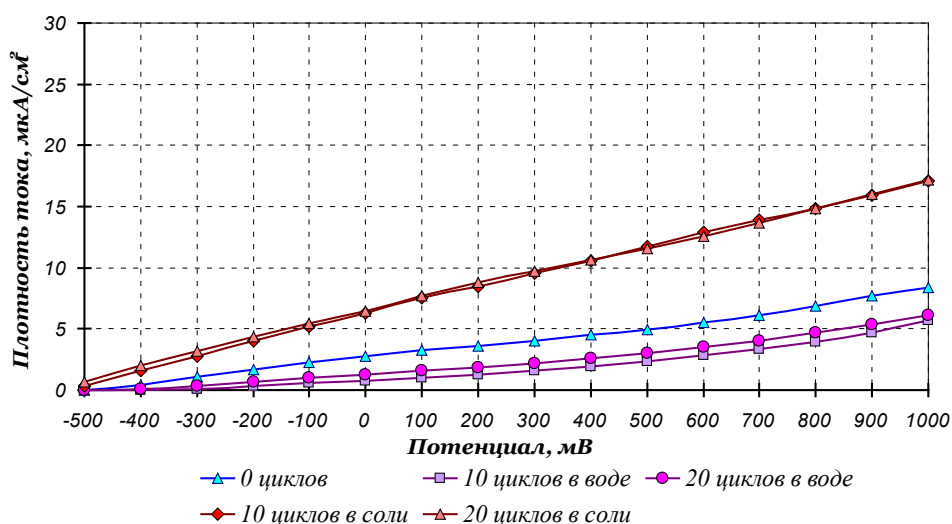


Рис. 3. Анодные поляризационные кривые для основных образцов с добавкой STG-3

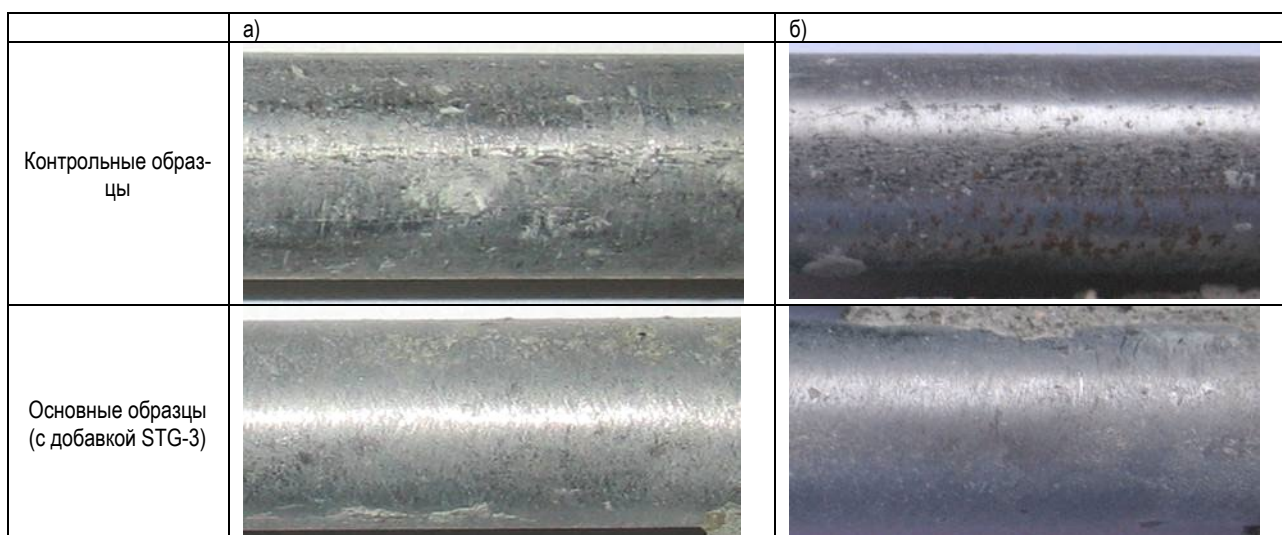


Рис. 4. Состояние образцов арматурной стали, изъятых из контрольных и основных образцов с добавкой STG-3: а) после 28 суток твердения; б) через 30 суток после извлечения из бетонных образцов и выдерживания в комнатных условиях

Выводы. Анализ результатов исследований позволяет утверждать следующее:

1. Добавка STG-3 является ингибитором коррозии, поэтому модифицированный ею бетон обеспечивает повышенные защитные свойства по отношению к стальной предварительно напряженной арматуре.

2. Увеличение расхода добавки STG-3 в бетон до 0,1 % от массы цемента обеспечивает защитные свойства бетона по отношению к стальной предварительно напряженной арматуре, как в водной среде, так и в растворе соли NaCl.

3. Увеличение расхода добавки в бетон до 0,1 % от массы цемента не оказывает существенного снижения основных ее свойств –

ускорять процессы твердения и пластифицировать бетонную смесь.

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. СТБ 1168-99. Бетоны. Метод контроля коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне и защитных свойств бетона: – Введ. 21.07.99. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1999. – 16 с.
3. Уласевич, В.П. Некоторые свойства конструкционных бетонов, модифицированных добавкой STG-3 / В.П. Уласевич, З.Н. Уласевич, О.А. Якубовская. // Вестник БГТУ. Серия «Строительство и архитектура». –2007. № 1 (43). – С. 55–60.

Материал поступил в редакцию 18.02.09

ULASEVICH V.P., JAKUBOVSKAJA O.A. Protective properties of concrete modified by admixture STG-3 towards reinforcement steel

This article describes the results of protective properties of concrete modified by admixture STG-3 TY BY 0271613.379-2004 towards reinforcement steel studies carried out according to STB 1168-99.

Studies established that admixture STG-3 is the corrosion inhibitor of the reinforcement steel. The application of admixture STG-3 with the production of reinforced concrete constructions ensures steady passive state of the prestressing reinforcement steel.

УДК 624.014:621.792

Левчук А.А.

ВЛИЯНИЕ СТЕСНЕНИЯ СВОБОДЫ ДЕФОРМАЦИЙ ПАНЕЛЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ С УТЕПЛИТЕЛЕМ В ПЛОСКОСТИ СТЕНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ НА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

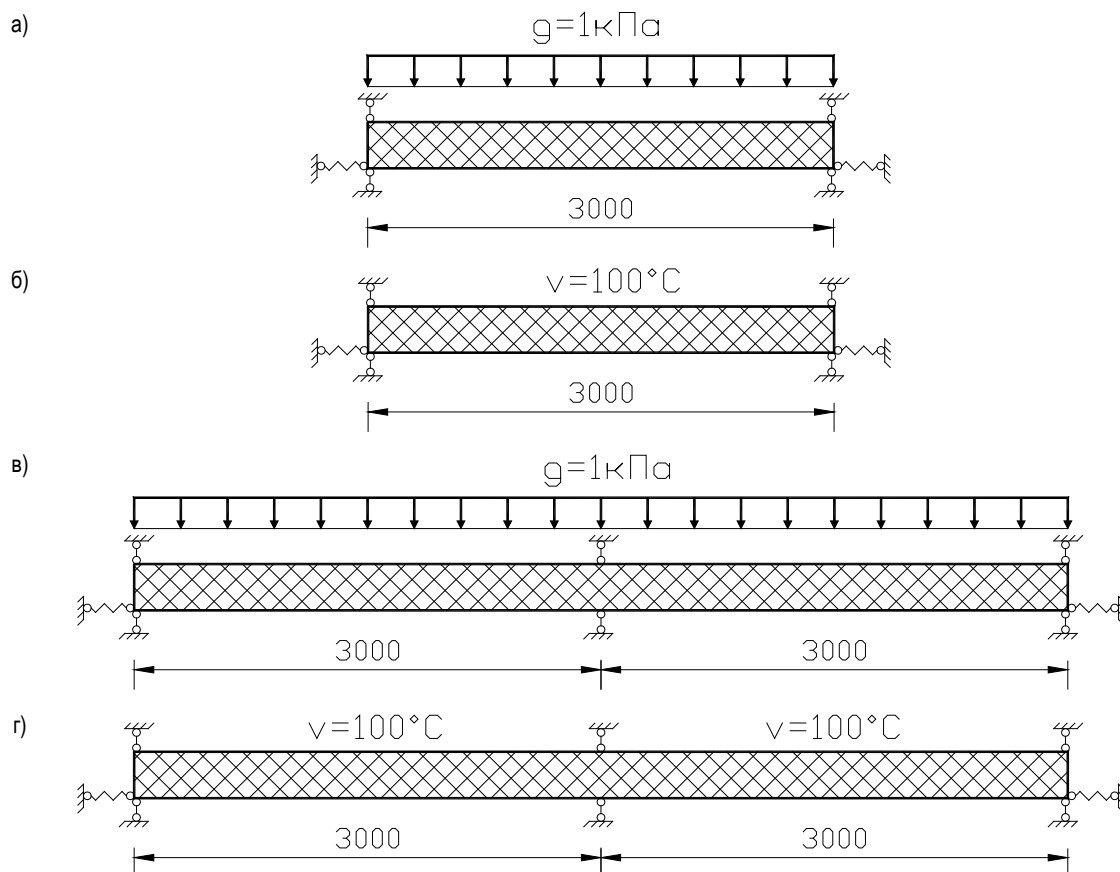


Рис. 1. Расчетные схемы панелей

Исследования проводились на панелях металлических с утеплителем из плит минераловатных и пенопласта (на бескаркасных панелях с легким конструкционным средним слоем).

Натяжение крепежных винтов, трение на участках контакта панелей и несущих конструкций, сопротивление сдвигу в местах кон-

такта крепежных винтов с металлом внутренних обшивок определенным образом стесняют свободу смещений в плоскости панелей на их опорах.

Для исследования влияния жесткости связей в плоскости панелей на напряженно-деформированное состояние панелей выполнялись

Левчук Александра Александровна, младший научный сотрудник отдела испытаний строительных конструкций филиала РУП «Институт БелНИИС» - научно-технический центр.
Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267/2.