

4. Пухаренко, Ю.В. Наноструктурирование воды затвердения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей / Ю.В. Пухаренко, В.А. Никитин, Д.Г. Летенко // Строительные материалы. – Наука. – 2006. – № 8. Приложение к научно-техническому журналу «Строительные материалы», 2006. – № 9 – С. 11-13.
5. Королев, Е.В. Модифицирование строительных материалов нанокремнеземными трубками и фуллеренами / Е.В. Королев, Ю.М. Баженов, В.А. Береговой // Строительные материалы – Наука. – 2006. – № 8. Приложение к научно-техническому журналу «Строительные материалы», 2006. – № 9 – С. 2-4.
6. Лотов, В.А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий / В.А. Лотов // Строительные материалы. – 2006. – № 8 – С. 10-12.
7. Комохов, П.Г. Наноструктурированный радиационный бетон и его универсальность / П.Г. Комохов, Н.И. Александров // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – № 5 – С. 38-40.
8. Чернышов, Е.М. Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами кремнезема (вопросы теории и приложений) / Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – № 5 – С. 30-32.
9. Ратинов В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М. : Стройиздат, 1989. – 188 с.
10. Вавржин, Ф. Химические добавки в строительстве / Ф. Вавржин, Р. Крмча. – М. : Стройиздат, 1964. – 288 с.
11. Ma, J. Ultra High Performance Self Compacting Concrete/ j.Ma, j.Dietz// LACER № 7. 2002.
12. Каприелов, С.С. Уникальные бетоны и технологии в практике современного строительства России / С.С. Каприелов [и др.] // В сб. тр. Проблемы соврем. бет. и ж/бетона. – Минск : Стринко, 2007. – С. 105-120.
13. Цементы. Методы испытаний: ГОСТ 310.0-5 – 76 (88). – Введ. 00.00.00.
14. Батяновский, Э.И. Нанотехнологии и углеродные наноматериалы в строительном материаловедении./ Э.И. Батяновский, П.В. Рябчиков, В.Д. Якимович // Строительная наука и техника, 2009. – № 3 (24) – С. 22-29.
15. Елецкий, А.В. Углеродные нанотрубки / А.В. Елецкий // Успехи физических наук, 1997. – Т. 4. – № 9 – С. 945-972.
16. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М. : Стройиздат, 1981. – С.182-190.
17. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г.И. Горчаков, М.М. Кашкин, Б.Г. Скрамтаев. – М. : Стройиздат, 1965. – С. 27-43.
18. Тейлор, Х. Химия цемента / Х. Тейлор ; пер. с англ. – М. : Мир, 1996. – С. 294-395

УДК 666.972

Э.И. БАТЯНОВСКИЙ, А.В. СМОЛЯКОВ, А.А. ДРОЗД, В.И. МАЦКЕВИЧ

## ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА С МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ В ВИДЕ МОЛОТОГО ГРАНИТНОГО ОТСЕВА

Основная задача представленных ниже исследований заключалась в выявлении возможного влияния вещества минеральной добавки в виде молотого гранитного отсева на сохранность стальной арматуры в бетоне при замене части цемента на миндобавку. Целью исследований являлось определение области применения бетона с минеральной добавкой из молотого гранитного отсева для железобетонных конструкций, включая преднапряженные.

**Введение.** В статье приведены результаты экспериментальных исследований эксплуатационных свойств бетона с минеральной добавкой в контексте проблемы эффективного использования гранитного отсева РУПП «Гранит» г. Микашевичи, Брестской области, образующегося в виде побочного продукта при дроблении исходной горной породы на заполнители для бетона [1].

В процессе исследований выявили влияние количественного содержания минеральной добавки – продукта помола гранитного отсева, на определяемые свойства бетона с целью установления рациональной (допускаемой) области его применения при производстве (возведении) строительных конструкций. Во всех случаях применена минеральная добавка, измельченная до тонкости помола цемента, т.е. примерно до  $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$  ( $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ). Эта тонина помола добавки принята, как наиболее рациональная, т.е. обеспечивающая положительный эффект роста прочности цементного камня до дозировки ее в 30 % от массы цемента [2]. Минеральную добавку в бетон вводили в количестве 0; 10; 20 и 30 % от массы цемента, отслеживая затем закономерности изменения определяемых свойств в зависимости от ее доли в смешанном вяжущем: портландцемент + минеральная добавка» [3].

Для достижения поставленной цели выполнили исследования возможного коррозионного воздействия миндобавки на арматуру в бетоне по методике СТБ 1168-99 как для «направления 1» при разовом насыщении бетона водой с последующим «снятием» поляризационных кривых, так и при циклическом насыщении-высушивании (при насыщении в 5 % растворе NaCl).

Физико-химическая сущность исследований заключается в том, что под влиянием положительного потенциала, приложенного к арматуре, побуждается движение отрицательно заряженных ионов (находящихся в жидкости, заполняющей поры насыщенного водой бетона) к арматуре. Чем больше свободных (не связанных)

отрицательно заряженных ионов в жидкой фазе, тем сильнее ток и его плотность, приходящаяся на единицу площади стального стержня, и тем значительнее опасность коррозии арматуры в бетоне [4, 5].

В таблице 1 приведены критериальные значения плотности тока по СТБ 1168-99, характеризующие коррозионное состояние стали в испытываемом железобетонном образце. Из них следует, что для напрягаемой арматуры плотность тока должна быть не более:  $I = 5 \text{ мА/см}^2$ , при потенциале:  $E = 300 \text{ мВ}$ , и для ненапрягаемой арматуры — до  $10 \text{ мА/см}^2$ , при том же потенциале. В случае превышения этих критериальных значений плотности тока при  $E = 300 \text{ мВ}$ , состояние стальной арматуры переходит в неустойчивую фазу и возможно развитие коррозии. При обработке результатов в партии из трех образцов среднее значение определяют по двум наибольшим результатам испытаний.

Таблица 1 – Критерии оценки анодных поляризационных кривых при испытаниях по направлению 1 и направлению 2

Плотность тока при потенциале плюс 300 мВ (по отношению к насыщенному каломельному электроду), мкА/см <sup>2</sup> , для		Характеристика коррозионного состояния арматурной стали
Ненапрягаемой стали	Напрягаемой стали	
До 10	До 5	Устойчивое пассивное состояние
От 10 до 25	От 5 до 10	Неустойчивое пассивное состояние (возможна слабая коррозия)
Более 25	Более 10	Активное состояние (возможна интенсивная коррозия)

*Методика одноциклических испытаний.* В соответствии с положениями стандарта (СТБ 1168 – 99) при испытаниях по «направлению 1» образцы насыщали питьевой водой до постоянной массы (прирост массы за сутки не более 0,1 %), а затем, после припайки провода подключения к потенциостату к арматурному стержню испытываемой арматуры), образец помещали в сосуд испытательной установки, заполненный водой.

Сущность дальнейших электрохимических испытаний заключалась в получении данных для построения анодной поляризационной кривой. Для этого выявляли (для каждого образца поочередно) величину установившегося потенциала (отрицательного) стальной арматуры. Затем ее поляризовали от величины выявленного:  $E_{уст.}$ , мВ, до потенциала «+1000 мВ», в течение – 60 мин и ступенчато (через каждые 100 мВ) регистрировали величину силы тока [6].

По окончании процесса поляризации измеряли омическое сопротивление между рабочим электродом и электродом сравнения для определения поправки к величине потенциала стальной арматуры.

Далее обрабатывали полученные данные в соответствии с п. 8 СТБ 1168-99, строили анодные поляризационные графики, анализировали полученные результаты испытаний.

*Методика циклических испытаний.* При контроле коррозионного состояния стальной арматуры под действием внешней агрессивной среды путем циклических испытаний армированные образцы подвергают 20 циклам попеременного насыщения в растворе соли (5 % раствор NaCl) и высушивания, после чего (в насыщенном состоянии) проводят электрохимические испытания по ранее изложенной методике. На основании результатов испытаний строят соответствующие анодные поляризационные графики и анализируют полученные данные.

При каждом цикле «насыщение-высушивание» водонасыщение образцов вели 24 часа по методике п. 7.10.2 СТБ 1168-99 и высушивали их за 24ч при температуре  $40 \pm 5^\circ\text{C}$ , т.е. каждый цикл составлял 2 суток.

Для испытаний готовили 2 партии образцов. В соответствии с методикой стандарта вначале испытывают одну из них и сравнивают полученные данные с ранее полученными при одноразовом цикле испытаний. Если по результатам циклических испытаний не произошло ухудшение показателей коррозионного состояния арматуры или произошло явное ухудшение их относительно установленных при одноциклическом насыщении бетона, можно сделать итоговый вывод на основе результатов циклических испытаний первой партии образцов. Если ситуация неустойчива и данные противоречивы, может оказаться необходимым циклическое испытание второй партии образцов для подтверждения влияния миндобавки на защитную способность бетона по отношению к стальной арматуре в железобетоне.

*Оценка влияния миндобавки на коррозию арматуры при одноциклических испытаниях.* На рисунках №1 и №2 приведены экспериментальные данные исследований коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне, не содержащем миндобавки (рисунок 1) и с минеральной добавкой из молотого гранитного отсева в количестве 20 % от массы смешанного вяжущего (или до 25 % от массы цемента) в бетоне (рисунок 2).

Результаты анализа поляризационных кривых одноциклических электрохимических испытаний, выполненных по СТБ 1168-99, приведены в таблице 2. На их основании можно сделать однозначный вывод о том, что минеральная добавка в бетон в виде порошкообразных (молотых) гранитных отсева не оказывает активирующего воздействия на стальную арматуру в бетоне и не вызывает изменений ее коррозионного состояния в срав-

нении с бетоном на чистоклинкерном цементе (Д 0) и может в дозировке по 20...25 % от массы цемента применяться в железобетонных изделиях и конструкциях без ограничений.

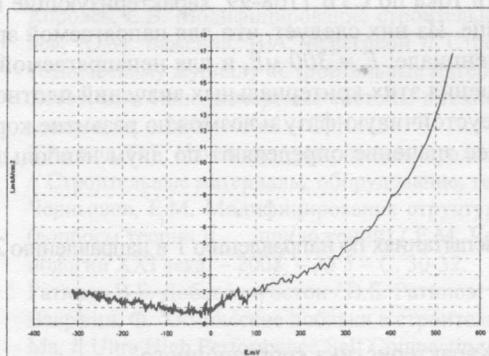


Рисунок 1 – Поляризационная кривая образца состава, не содержащего миндобавки (водная среда)

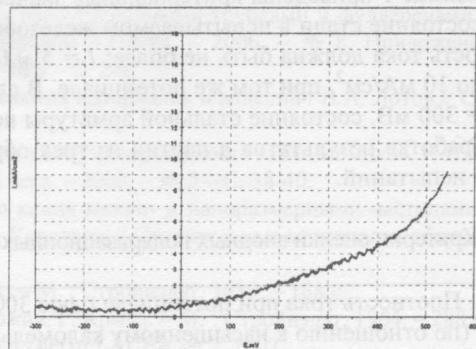


Рисунок 2 – Поляризационная кривая образца состава с минеральной добавкой из молотого гранитного отсева в количестве 20 % (водная среда)

Таблица 2 – Результаты одноциклических испытаний (водная среда)

№ состава	Характеристики бетона					Добавка СП, % от СВ	Состояние арматуры
	Ц	Щ	П	Миндобавка кг	Миндобавка %		
1	350	1150	700	-	-	-	Устойчивое пассивное состояние стали
2	280	1150	700	70	20	-	Устойчивое пассивное состояние стали

Оценка влияния миндобавки на защитные свойства бетона и коррозию арматуры при циклических испытаниях. На рисунках 3 и 4 приведены экспериментальные данные исследований коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне (без и с минеральной добавкой) при циклических испытаниях (насыщение – высушивание).

При этом данные получены и при насыщении в воде с целью перепроверки результатов одноциклических испытаний и подтверждения вывода о безопасности для стальной арматуры в бетоне введения в него (замены до 20% цемента) минеральной добавки из молотого гранитного отсева. Очевидно, что периодическое насыщение бетона водой – высушивание более активно может воздействовать на «поведение» вещества миндобавки в бетоне, чем при одноразовом насыщении. В результате установлено, что и при циклических испытаниях активации арматуры не происходит, т.е. материал отсева пассивен по отношению к стали.

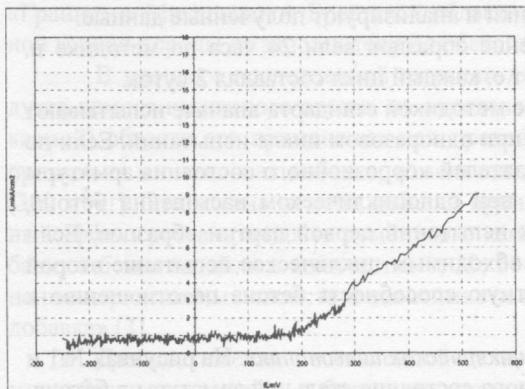


Рисунок 3 – Поляризационная кривая образца состава № 1 (водная среда)

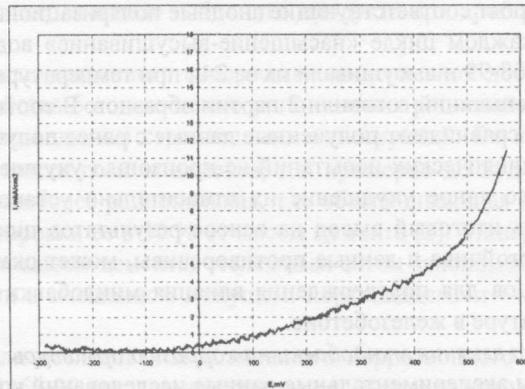


Рисунок 4 – Поляризационная кривая образца № 2 (водная среда)

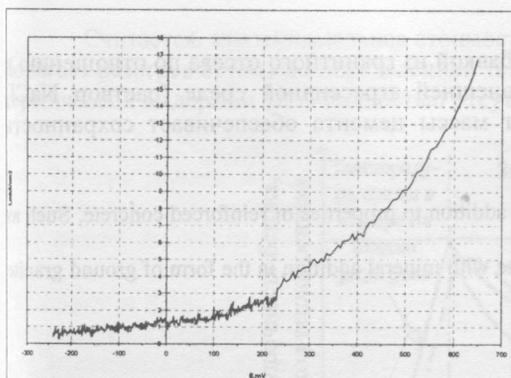


Рисунок 5 – Поляризационная кривая образца состава № 1 (0 циклов; p-p NaCl)

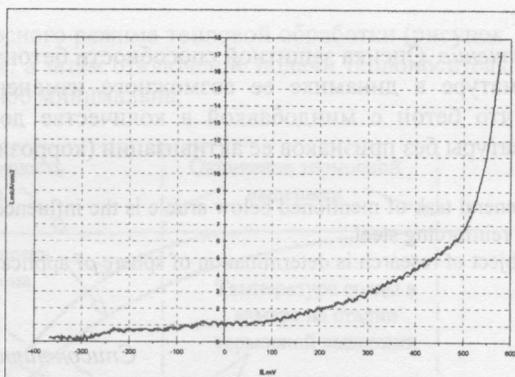


Рисунок 6 – Поляризационная кривая образца состава № 2 (0 циклов, p-p NaCl)

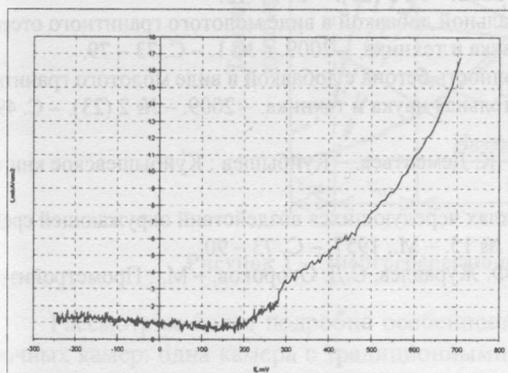


Рисунок 7 – Поляризационная кривая образца состава № 1 (0 циклов, p-p NaCl)

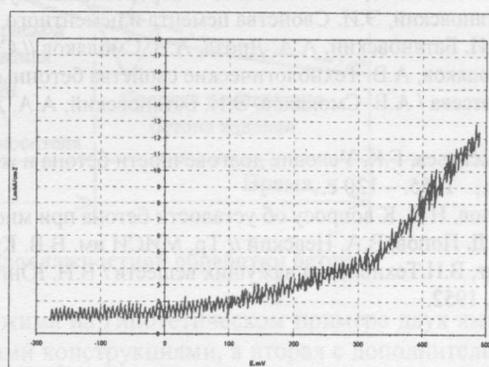


Рисунок 8 – Поляризационная кривая образца состава № 2 (10 циклов, p-p NaCl)

Оценка влияния минеральной добавки из гранитных отсевов на защитную способность бетона по отношению к стальной арматуре при внешней агрессии хлоридов (насыщение в 5-% растворе NaCl) отражается данными рисунком №№ 3...8 и таблицы 3. При этом рисунок 5,6 отражают экспериментальные оценки состояния арматуры при однократном насыщении раствором NaCl, а рисунок 7, 8 – после 10 циклов насыщения в растворе соли-высушивания. В таблице 3 обобщенно представлены результаты циклических испытаний из которых следует, что замена части цемента (до 20...25 % от МЦ) минеральной добавки из молотого гранитного отсева *не вызывает* существенных изменений в защитной способности бетона по отношению к стальной арматуре, включая исследования в динамике процесса воздействия от «0» до «10» циклов. Данный эксперимент продолжается. Об его окончательных результатах информация будет представлена в заключительном отчете по работе в целом.

При этом *не установлен* эффект ухудшения защитных свойств бетона при продолжительном (более 150 сут) хранении миндобавки.

На основании одноциклических и циклических испытаний коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне, содержанием до 25 % от массы цемента минеральной добавки из молотого гранитного отсева можно сделать вывод об отсутствии ее влияния на активизацию стали, т.е. вещество молотого гранитного отсева не вызывает коррозии стали.

Таблица 3 – Результаты циклических испытаний при внешней агрессии (раствор NaCl)

№ состава	Характеристики бетона					Состояние арматуры		
	Ц	Щ	П	Миндобавка		Добавка СП, % от СВ	0	10
				кг	%			
1	350	1150	700	-	-	-	Устойчивое пассивное состояние стали	Устойчивое пассивное состояние стали
3	280	1150	700	70	20	-	Устойчивое пассивное состояние стали	Устойчивое пассивное состояние стали

**Заключение.** Оценка защитной способности бетона с миндобавкой из гранитного отсева по отношению к стальной арматуре в динамике ее возможного изменения при внешней агрессивной среде (раствор NaCl) показывает, что бетон с миндобавкой в количестве до 25 % от массы цемента обеспечивает сохранность стальной арматуры без признаков ее активизации (коррозии).

The general task of mentioned below article is the influence of granite addition to properties of reinforced concrete. Such as preserve ability reinforcing steel.

The object of research is determination of sphere of application concrete with mineral addition in the form of ground granite screening.

#### Список литературы

1. Батыновский, Э.И. Гранитный отсев РУПП «Гранит» – направления использования и свойства / Э.И. Батыновский, А.В. Смоляков, П.В. Рябчиков // Строительная наука и техника. – 2008. – № 5 (20). – С. 7 – 15.
2. Батыновский, Э.И. Свойства цемента и цементного камня с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева / Э.И. Батыновский, А.А. Дрозд, А.В. Смоляков // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1. – С. 73 – 79.
3. Смоляков, А.В. Технологические свойства бетонных смесей и прочность бетона с добавкой в виде молотого гранитного отсева / А.В. Смоляков, Э.И. Батыновский, А.А. Дрозд // Строительная наука и техника. – 2009. – № 2 (23). – С. 49 – 57.
4. Дементьев, Г.К. Условие долговечности бетона и железобетона / Г.К. Дементьев. – Куйбышев : Куйбышевское книгоизд., 1955. – 120 с.
5. Попов, Н.Д. К вопросу об усталости бетона при многократных циклах чередующихся воздействий окружающей среды / Н.Д. Попов, В.А. Невский // Тр. МИСИ им. В.В. Куйбышева. Сб. № 15. – М., 1957. – С. 73 – 90.
6. Юнг, В.Н. Технология вяжущих веществ / В.Н. Юнг, Ю.М. Бут, В.Ф. Журавлев, С.Д. Окоороков. – М. : Промстройиздат, 1952.

УДК 666.972

М.С. БИБИК, В.В. БАБИЦКИЙ

### ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ЯМНЫХ ПРОПАРОЧНЫХ КАМЕРАХ

Рассмотрены общие принципы проектирования энергосберегающих режимов тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий. Предложенная схема проектирования проходит апробацию на заводе железобетонных изделий №1.

**Введение.** Тепловлажностная обработка бетонных и железобетонных изделий – важнейший технологический передел в производстве сборного железобетона. Именно на этой стадии твердения бетона формируются его структурные особенности, определяющие физико-механические характеристики, водонепроницаемость, морозо- и коррозионную стойкость. При этом тепловая обработка характеризуется и значительной энергоемкостью. В свете этого, что, впрочем, общеизвестно, грамотное назначение (или расчет) режима тепловой обработки представляется важнейшей задачей инженера-технолога.

Факторов, определяющих особенности режима тепловой обработки, множество [1, 2], поэтому решение этой задачи весьма сложно, тем более, что рекомендаций в этой области бетоноведения не так и уж много.

**Назначение традиционного режима тепловой обработки изделий.** В технологии бетона весьма популярен так называемый трапецеидальный режим, складывающийся из предварительной выдержки, подъема температуры, изотермической выдержки и охлаждения, а по очертаниям напоминающий трапецию. Этот режим прост, сравнительно легко автоматизируется. Кроме того, именно под него создана информационная база, позволяющая назначать стадии тепловой обработки с учетом проектной и отпускной прочности бетона, толщины изделия, эффективности цемента при пропаривании и пр. Обычно инженеры-технологи ориентировочно назначают по имеющимся разнообразным таблицам, графикам, собственным данным варианты режимов тепловой обработки бетона с их последующей экспериментальной проверкой, но в основном по критерию получения заданной прочности бетона. Вопросами же стоимости реализации того или иного режима интересуются сравнительно редко. Ранее при участии авторов данной работы (а также Суходоевой Н.В.) [3, 4] разработаны расчетная модель и соответствующее программное обеспечение для проектирования как трапецеидального, так и иных подобных режимов.