

**Батяновский Э. И.**, доктор технических наук, профессор, **Смоляков А. В.**, младший научный сотрудник, **Дрозд А. А.**, кандидат технических наук, доцент, заведующий сектором, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРАНИТНОГО ОТСЕВА В ЦЕМЕНТНОМ БЕТОНЕ**

*В статье приведены данные результатов исследований применения переработанного гранитного отсева – побочного продукта от дробления горной породы на крупный заполнитель для бетона, в качестве минеральной добавки в бетон (цемент) и в качестве укрупняющих фракций мелкого заполнителя с целью улучшения его гранулометрического состава. Показана возможность и эффективность полного использования отсевов РУПП «Гранит» Брестской области.*

*In the article are cited the data of the results of researches of the application of the processed granite sifting - by-product from splitting of the rock for the large filler for the concrete, as the mineral additive to concrete (cement) and as the enlarging fractions of fine filler for the purpose of an improvement in its granulometric composition. Possibility and efficiency of full use of siftings of РУПП "Granite" of the Brest area is shown.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Многочисленные попытки прямого использования в бетонах и растворах отходов камнедробления, образующихся на РУПП «Гранит» Брестской области Беларуси в процессе производства крупного заполнителя для бетона, не увенчались успехом. И при традиционных технологиях, и в варианте специфической технологии «сухого» формования бетона [1] установлено ухудшение формуемости бетонных (растворных) смесей, снижение плотности и прочности бетона, рост его проницаемости и водопоглощения при соответствующем ухудшении эксплуатационных характеристик. Эти явления связаны с повышенным содержанием в отсеве тонкодисперсных фракций (менее 0,16 мм), массовым наличием микротрещин в фракциях 0,16-1,25 мм, повышенной удельной поверхностью их и явно выраженной лещадностью зерен этих

фракций. В совокупности эти факторы и обуславливают невозможность прямого эффективного использования гранитного отсева в цементных бетонах и растворах.

Вместе с тем после переработки гранитного отсева [2, 3], в частности отсева его на две фракции «по сити 1,25 мм» и помола мелкой фракции, получают качественные продукты в виде молотой минеральной добавки в бетон (цемент) и отсеянных крупных фракций (1,25-5,0 мм). Последние можно использовать для обогащения природных мелкозернистых песков и тем самым решить проблему, характерную для многих регионов Беларуси (особенно ее юго-восточных областей), заключающуюся в отсутствии местного качественного мелкого заполнителя для бетона. Улучшение гранулометрии мелкого песка за счет введения крупных фракций гранитного отсева обеспечивает рост плотности и прочности бетона, а на этой основе повышение его характеристик и снижение на 5-15% расхода цемента.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЛОТОГО ГРАНИТНОГО ОТСЕВА

В современных условиях строительства широко и эффективно используют [4-14] минеральные добавки в различных вариантах: активные (гидравлические) добавки, способные к самостоятельному твердению (на базе основных доменных шлаков, высококальциевых зол-уноса и др.); активные минеральные добавки, способные реагировать со щелочью, выделяемой при гидратации цемента, за счет наличия аморфного кремнезема (кислые доменные шлаки, золы, глиежи, опоки и др.); инертные минеральные добавки или наполнители, не вступающие в химические реакции при нормальной температуре твердения (молотые песок, известняк, доломит и др.). Особый случай представляет собой введение в бетон микродисперсной добавки кремнезема, являющейся (вследствие соизмеримости размеров его частиц с образующимися гидрокристаллами клинкерных минералов цемента) готовыми «центрами» кристаллизации или «подложной», вокруг которых с меньшими затратами энергии и потому ускоренно образуются и формируются гидрокристаллы в твердеющем цементном камне. Кроме того аморфный кремнезем способен вступить в химическое

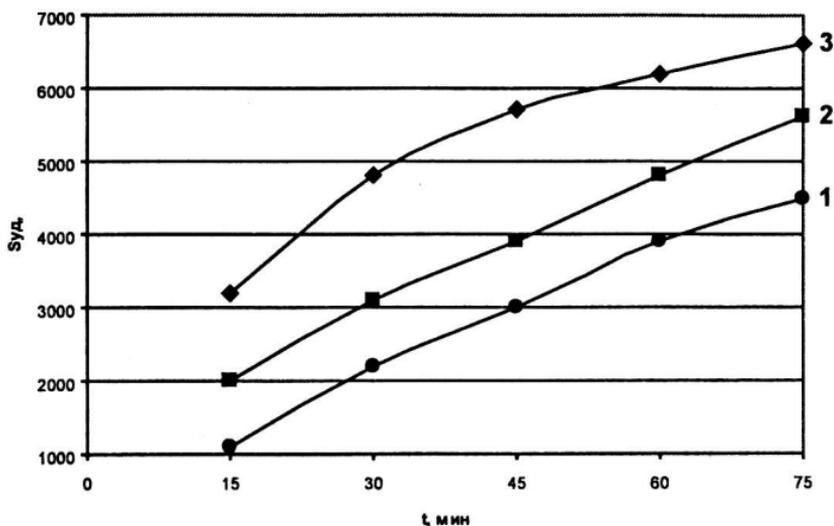
взаимодействие со щелочью гидратирующегося цемента [11-13]. Введение микрокремнезема в количестве 10 – 30 % от массы цемента в сочетании с пластифицирующими добавками I-ой группы (суперпластификаторами и гиперпластификаторами) создает предпосылки получения быстротвердеющих и высокопрочных бетонов по литевой технологии.

Необходимо констатировать, что аморфный микрокремнезем такого качественного уровня (примерная удельная поверхность соответствует:  $S_{уд} \geq 150000 \text{ см}^2/\text{г}$  ( $>15,0 \text{ м}^2/\text{г}$ )) не выпускается промышленностью Беларуси, а с учетом высокой стоимости его применение в мировой строительной практике ограничивается относительно небольшими объемами бетонирования уникальных сооружений. В общестроительном назначении широкое применение этой добавки в бетон в современных условиях экономически нецелесообразно. Вместе с тем рационален сам принцип или механизм действия «добавок-затравок» для использования их в качестве катализаторов процесса твердения и повышения темпа роста прочности цементного бетона. С этой целью используют тонкодисперсные метакаолины, золы-уноса, содержащие аморфный кремнезем в меньшем количестве и в более «грубой», т.е. крупнодисперсной форме, в сравнении с микрокремнеземом. Известно [4, 7, 8, 13], что считающиеся инертными тонкоизмельченные наполнители (их микрофракции), содержащие в своем составе кристаллический кремнезем, при определенных условиях [14] проявляют активность твердеющего в щелочной среде при нормальной температуре цементного камня и способствуют росту его плотности и прочности. В этой связи использование тонкоизмельченного гранитного отсева может оказаться более эффективным, чем применение его в качестве инертного наполнителя, т.е. вещества, просто замещающего часть портландцемента в бетонах и растворах низкой прочности. Это утверждение основано на том, что гранит относится к типу кислых глубинных горных пород магматического происхождения, содержащих значительное количество  $\text{SiO}_2$  (более 65 %), а значит потенциально существует возможность проявления им эффектов, характерных для тонкодисперсных оксидов кремния.

**Помол гранитного отсева.** Исследуя помол сухого гранитного отсева в шаровой мельнице установили, что в пределах времени измельчения от 0,25 ч до 5,0 ч удельная поверхность возрастает с  $S_{уд} \sim 2000 \text{ см}^2/\text{г}$  до  $S_{уд} \sim 11000 \text{ см}^2/\text{г}$  (по прибору типа «ПСХ»).

При этом наиболее интенсивно удельная поверхность продукта помола нарастает в первые 0,5 ч работы шаровой мельницы и достигает  $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ , что соответствует тонкости помола рядовых современных цементов и принципиально достаточно для применения продукта помола в качестве минеральной добавки в строительные бетоны и растворы.

Данные о кинетике процесса измельчения отсева, представленные на рис. 1, свидетельствуют об ускоренной диспергации его мелких фракций (менее 1,25 мм), в сравнении с собственно гранитным отсевом (график № 2) и, тем более, его крупными фракциями (2,5 – 5,0 мм). Это связано как с исходной дисперсностью частиц мелких фракций, так и с наличием в них многочисленных структурных дефектов в виде микротрещин. Как результат, на начальной фазе измельчения последние способствуют интенсивному разрушению отдельных зерен по развивающимся трещинам и процесс измельчения идет быстро. После измельчения части исходного материала он становится более однородным и сопротивляемость воздействию мелющих тел возрастает, что и отражается в снижении темпа роста  $S_{уд}$  продукта помола. Естественно, что кроме отмеченного на снижение прироста  $S_{уд}$  со временем помола оказывают и другие закономерности, характерные (общие) для процесса диспергации твердой фазы и которые здесь не рассматриваются.



Графики №№ 1, 2 и 3 – крупные фракции отсева (1,25 – 5,0 мм); гранитный отсев и мелкие фракции отсева (менее 1,25 мм)

Рис. 1 Кинетика роста удельной поверхности при помоле

**Основные свойства молотого отсева:** среднюю плотность и плотность, водопотребность, изменение удельной поверхности при хранении (слеживаемость), а также влияние его на стандартизированные свойства цемента при введении в количестве до 30% - 50% от массы вяжущего контролировали по стандартным (ГОСТ 310), общепризнанным и оригинальным методикам. Полученные данные приведены в публикации [2]. Далее приведены экспериментальные данные о влиянии миндобавки из молотого отсева на прочность цементного камня, его фазовый состав, активность, свойства бетонных смесей и бетона.

### ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА

**Прочность цементного камня.** Образцы (2x2x2 см) цементного камня, изготовленные из теста нормальной густоты, приготовленном на цементе и смешанном вяжущем, до распада через 24 ч твердели в нормально-влажностных условиях и пропаривались по режиму: выдержка – 2 ч; нагрев до 80 °С – 3 ч; кипячение – 6 ч и остывание в бачке.

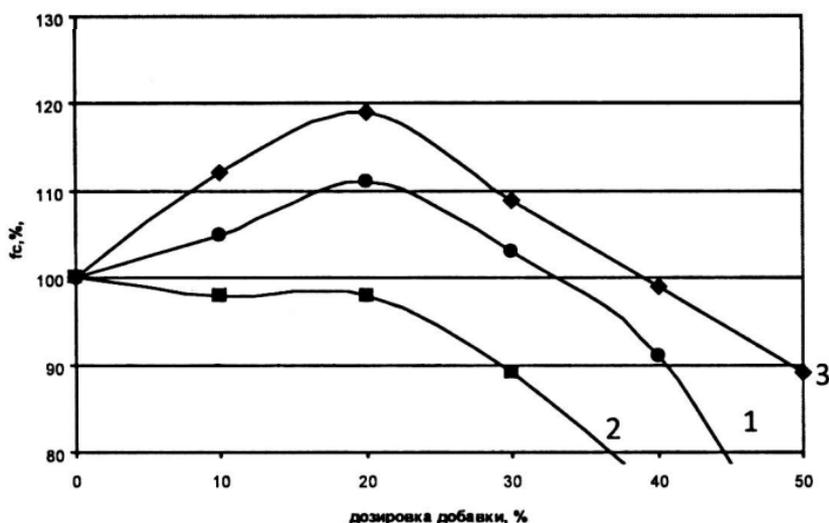


График № 1 – прочности после 28 сут НВТ ( $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ );  
 2 - прочности после 28 сут НВТ ( $S_{уд} \sim 9000 \text{ см}^2/\text{г}$ );  
 3 - прочности после пропаривания ( $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ );

Рис. 2 Тенденция изменения прочности цементного камня на сжатие.

Очевидно, что положительный эффект от наличия в добавке высокодисперсного  $\text{SiO}_2$ , который проявляется при ее введении в количестве 10 - 20 % от МЦ, при «передозировке» минеральной добавки не может компенсировать отрицательные эффекты от снижения количества реакционно-активной клинкерной составляющей в смешанном вяжущем при одновременном росте истинного водоцементного отношения приготовленного на нем цементного теста. Этот вывод подтверждают результаты определения прочности образцов цементного камня как пропаренных, так и твердевших в нормально-влажностных условиях и в воде.

**Активность цемента.** Активность цемента определили по стандартной методике (ГОСТ 310.2 -88) и при пропаривании образцов-балочек аналогичного состава (вяжущее - 500г; песок стандартный - 1500 г; водоцементное (общее) отношение: (В/Ц) ~ 0,4, добавка в виде молотого до  $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$  гранитного отсева) по ранее приведенному режиму (Таблица 1).

## Прочность образцов

Дозировка добавки (S <sub>д</sub> ~ 3000 см <sup>3</sup> /г) в % от МЦ	Прочность цементно-песчаного раствора на растяжение при изгибе при твердении:				Прочность цементно-песчаного раствора на сжатие, при твердении:			
	в воде		после пропаривания		в воде		после пропаривания	
	в МПа	в %	в МПа	в %	в МПа	в %	в МПа	в %
0	6,2	100	4,6	74,2	48,5	100	36,6	75,5
10	6,3	102	4,8	78,0	51,9	107,0	38,8	80,0
15	6,45	104	5,1	82,0	54,6	112,6	42,7	88,0
20	6,2	100	4,5	72,6	52,7	108,7	40,0	82,5
30	5,8	93,5	4,0	64,5	45,0	92,8	33,5	69,1

Сопоставление данных, отражающих изменения прочности раствора на сжатие, с таковыми на растяжение при изгибе (при прочих равных условиях) выявляет определенную тенденцию в их соотношении. В частности, прирост прочности на растяжение при изгибе менее значителен, а ее снижение – резче и глубже, в сравнении с изменениями прочности на сжатие и начинается с дозировки добавки в 20% от МЦ, при которой прочность на сжатие образцов с добавкой еще превышает прочность раствора на цементе без добавки.

На наш взгляд, это явление связано с влиянием вещества добавки на качество сцепления (энергию связи) цементного камня с поверхностью зерен заполнителя в растворе (бетоне), оценка которого в специальной научно-технической литературе [1-8, 13-15] отсутствует. Поскольку прочность бетона на растяжение в большей мере зависит от качества сцепления поверхности зерен заполнителя с цементным камнем, чем прочность на сжатие, то (при прочих равных условиях) ее снижение при ухудшении качества сцепления за счет введения в цемент неактивного вещества более значительно, что и подтверждают результаты экспериментов. Можно предположить, что их развитие при испытаниях бетонов с крупным заполнителем обеспечит возможность не только качественной, но и количественной оценки влияния данного явления на

прочностные характеристики бетона.

**Структурно-фазовые изменения цементного камня с добавками.** На рисунке 3 выборочно приведены дериватограммы (прибор-дериватограф Q-1500Д) термического разложения проб (в возрасте 28 суток) чистого цементного камня и содержащего 30% от МЦ добавки.

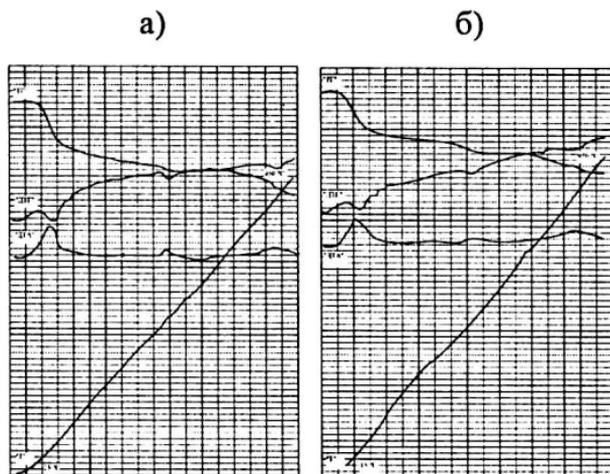


Рис. 3. а) Дериватограмма термического разложения пробы разложения чистого цементного камня; б) Дериватограмма термического пробы цементного камня с 30% добавки от МЦ

Очевидно, что общий характер графиков «ТГ» (изменения веса), «ДТГ» (скорость изменения веса) и «ДТА» (термическое превращение) не изменяется и дополнительных экстремумов не наблюдается, что свидетельствует об отсутствии дополнительных химических превращений под влиянием вещества добавки на цемент, продукты его гидратации и новообразования. Вместе с тем, имеются отличия в графиках «ТГ» и «ДТГ», которые в результате отражаются в расширении оснований пиков (и площади пиков) на графике «ДТА» в диапазоне низких температур (до 150 °С), средних (400-480 °С) и высоких (600-800 °С), что свидетельствует об увеличении времени испарения физически и химически связанной воды и разложения разнообразных продуктов гидратации цемента с добавкой. Это может свидетельствовать, в частности, об увеличении количества разлагающихся новообра-

зований в пробах цементного камня с добавкой без изменения их морфологии (состава).

Такой же вывод позволяет сделать оценка характеристических пиков рентгеновского сектора исследованных проб затвердевшего цементного камня (без и с добавкой), которая показывает, что они присущи одним и тем же кристаллогидратным новообразованиям во всех случаях. Визуальное отличие и большая «насыщенность» дифрактограммы цементного камня с добавкой молотого отсева связана с присутствием ее вещества и «дополнением» рентгеновского спектра данного цементного камня спектром вещества гранитного отсева (определено до проведения основного эксперимента).

На этом основании можно сделать вывод, дополняющий результаты дериватографических испытаний, об отсутствии изменений морфологии продуктов гидратации цемента и соответствующих химических реакций под влиянием вещества минеральной добавки из гранитного отсева.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Закономерности изменения технологических свойств бетонных смесей различной консистенции (подвижных (осадка конуса от П1 до П5), жестких (марок Ж1 – Ж3)), приготовленных с введением в бетон минеральной добавки в дозировке: 0% - 30 % от массы цемента, исследовали по методикам СТБ 1545-2005.

В результате установлено, что введение в бетон тонкоизмельченной минеральной добавки молотого гранитного отсева в количестве 10 % - 30 % от массы цемента не снижает «живучести» или сохраняемости формовочных свойств как пластичных, так и жестких бетонных смесей по всему проверенному диапазону. Более того, проявляется общая тенденция к замедлению снижения формуемости с миндобавкой в ходе эксперимента; при этом с ростом количества вводимой миндобавки с 10% до 30 % от МЦ данная тенденция сохраняется.

Физическая сущность отмеченного явления заключается в том, что вещество тонкоизмельченной минеральной добавки, обладая значительным потенциалом поверхности, адсорбирует достаточно большое количество воды затворения и способно

удерживать ее длительный период времени. При этом, в отличие от цемента, миндобавка инертна и не вступает в реакцию с водой, т.е. не связывает ее физико-химически образующимися продуктами гидратации [3-8]. Таким образом в смешанном вяжущем (т.е. цемент+миндобавка) меньшее (чем для чистоклинкерного цемента) количество жидкости затворения переходит в начальном периоде из свободного в физико-химически связанное состояние, так как процесс этого перехода адсорбированной зернами миндобавки воды растягивается во времени. В результате замедляется темп коагуляционного структурообразования цементного теста на смешанном вяжущем (и значительнее с увеличением дозировки миндобавки), что отражается в соответствующем замедлении снижения показателя формуемости смесей во времени.

Введение в бетон минеральной добавки незначительно понижает водо- и раствоороотделение пластичной бетонной смеси. Это согласуется с данными других исследований [4,9], относящихся к иным тонкоизмельченным веществам (зола-унос; молотый шлак, песчаник и др).

Введение в жесткие бетонные смеси минеральной добавки молотого гранитного отсева способствует как снижению показателя их жесткости, так и поддержанию формуемости бетонной смеси во времени. То есть, в ее присутствии жесткие смеси сохраняют формуемость близкой к начальной более продолжительный период благодаря тому, что минеральная добавка удерживает (за счет потенциала своей поверхности) значительное количество воды, не вступая с ней в химическое взаимодействие. Это ее отличие от цемента обеспечивает сохранение в объеме цементного теста жидкости, часть которой переходит в свободное состояние при вибрировании. С увеличением дозировки минеральной добавки этот «резервный» объем жидкости возрастает, что способствует проявлению эффекта тиксотропии более продолжительный период времени. С позиции сохраняемости свойств бетонной смеси этот эффект положителен; одновременно его следует учитывать как нежелательный фактор при назначении предварительной выдержки бетона при тепловой обработке изделий.

## ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА

**Прочность бетона.** Анализ закономерностей изменений прочности образцов пропаренного бетона (Рис №4) на сжатие и растяжение при введении свежемолотого отсева подтверждает гипотезу [2] о наличии в этом случае эффекта активизации процессов гидратации и структурообразования в твердеющем цементном камне за счет ультрадисперсной части зерен кремнезема в минеральной добавке.

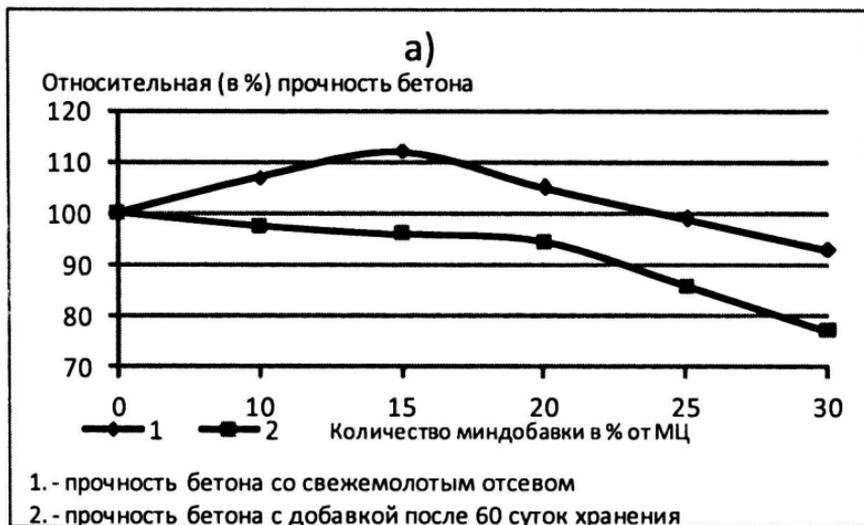


Рис 4. Тенденция изменения прочности бетона на сжатие

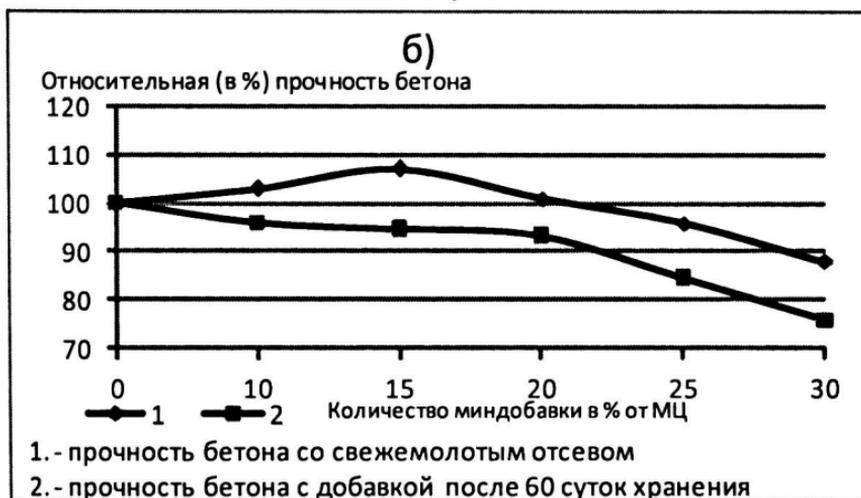


Рис. 5. Тенденция изменения прочности бетона на осевое растяжение (раскалыванием)

Выявленные закономерности влияния минеральной добавки из молотого гранитного отсева на образцах пропаренного бетона полностью подтвердились при их проверке испытанием образцов бетона нормально-влажностного твердения. При этом установлено, что относительный прирост прочности бетона за счет применения свежемолотой добавки значительно больше для пропаренных образцов и несколько ниже для бетона, твердевшего в нормально-влажностных условиях. То есть, активационное воздействие высокодисперсных частиц молотого отсева в большей степени реализуется при повышенной температуре твердения цементного камня и бетона.

**Водопоглощение бетона.** Результаты испытаний (сравнение с бетоном на ПЦ М500-Д0) свидетельствуют о следующем. При введении в бетон свежемолотого отсева до 20 % от массы смешанного вяжущего водопоглощение бетона возросло на 2 - 5 %. Повышение дозировки миндобавки до 30 % от массы смешанного вяжущего (до ~ 43 % от массы цемента) сопровождается резким ростом водопоглощения бетона 12 %. При этом менее активная миндобавка (хранившаяся  $\geq 90$  сут. в открытом виде) способствует увеличению водопоглощения бетона, в сравнении со свежемолотым отсевом.

Введение в бетон пластификатора I – ой группы, способствовавшего снижению водосодержания бетона и соответствующего уменьшения объема капиллярной пористости, обеспечило сохранение практически на исходном уровне водопоглощения бетона по массе с «лежалой» миндобавкой и некоторое снижение для бетона со свежемолотым отсевом.

Таким образом сочетание качественной добавки пластификатора и миндобавки из гранитного отсева позволяет получать бетон, состояние структуры которого по объему и размерам (сечению) капилляров открытой пористости соответствует бетону, приготовленному на бездобавочном портландцементе.

**Водо- и солестойкость.** Водо- и солестойкость бетона с минеральной добавкой (срок хранения – 90 сут и свежемолотый отсев) исследовали по изменению прочности бетона в процессе испытаний. Режим одного цикла (один раз в сутки) составлял высушивание образцов при температуре в сушильном шкафу  $t \sim 70^{\circ}\text{C}$  в течение 7-8 ч и последующим насыщением в воде или в

5-% растворе NaCl при  $t \sim 15^{\circ}\text{C}$  (в ванне с погружением образцов не менее, чем на 50 мм под уровнем раствора) в течение 16-17 ч.

Прочность бетона определяли в насыщенном жидкостью состоянии через каждые 5 циклов испытаний.

Обобщая экспериментальные данные можно сделать следующие выводы о влиянии миндобавки из молотого гранитного отсева на водо- и солестойкость бетона.

В условиях эксплуатации в воде или грунтах (подводные и подземные части зданий и сооружений) введение в бетон миндобавки из молотого гранитного отсева в количестве до 20-25 % от массы смешанного вяжущего допустимо, т.к. при этом обеспечивается стабильный рост прочности бетона.

Одинаковые тенденции в процессе сорбции воды твердеющим цементным камнем (бетоном в целом) без и в присутствии минеральной добавки, установленные по изменению массы образцов, свидетельствуют о стабильности структуры и идентичности закономерностей ее формирования при условиях твердения в неагрессивной (благоприятной) среде.

В условиях испытаний и эксплуатации при попеременном увлажнении (в воде и растворе соли) – высушивании введение в бетон минеральной добавки снижает его устойчивость, что проявляется в более высоком темпе снижения прочности бетона с миндобавкой, особенно с повышением ее дозировки  $\geq 20$  % от массы смешанного вяжущего ( в экспериментах до 30 % от массы цемента).

В процессе циклического увлажнения-высушивания растет количество поглощаемой бетоном жидкости, как отражение роста открытой (сообщающейся) макрокапиллярной пористости, особенно при дозировке миндобавки  $\geq 20$  % от массы «СВ», что может сопровождаться снижением долговечности бетона с добавкой молотого гранитного отсева.

Особенностью эксплуатации строительных конструкций в солевой среде является значительный период уплотнения структуры и упрочения бетона, в том числе и бетона с миндобавкой. Этот положительный фактор обеспечивает возможность применения миндобавки из молотого гранитного отсева в бетоне конструкций, постоянно эксплуатирующихся во влажной (включая агрессивные)

среде. Однако, это не может распространяться на условия эксплуатации, когда конструкции подвергаются переменному увлажнению-высушиванию и, особенно, если к бетону предъявляют повышенные (более 200 циклов) требования по морозостойкости.

**Морозостойкость бетона с миндобавкой.** Морозостойкость бетона определили ускоренным методом по ГОСТ 10060-95 или 3-им методом: с насыщением, замораживанием (при  $t = -55$  (-60) °C) и оттаиванием в 5 % растворе NaCl ( $t \sim 18$ °C).

Из данных об изменениях прочности бетона в процессе испытаний на морозостойкость следует, что бетон с 20 % миндобавки и 1% пластификатора выдержал 12 циклов ускоренных испытаний или до 300-400 циклов испытаний по базовому методу для бетона общестроительного назначения. Бетон с минеральной добавкой в 10 % от массы «СВ» выдержал до 300 циклов, с 20 % от «СВ» - до 250-300 циклов и при 30 % - до 150-200 циклов.

Очевидно, что введение миндобавки из молотого гранитного отсева снижает морозостойкость бетона, в сравнении с приготовленным на бездобавочном портландцементе.

Вместе с тем, абсолютные значения морозостойкости бетона, соответствующие при 20 % дозировке миндобавки марке «F200» обеспечивают возможность ее применения для бетона большинства строительных конструкций, включая наружные ограждающие.

**Коррозионная стойкость стальной арматуры.** На основании анализа поляризационных кривых одноциклических электрохимических испытаний, выполненных по СТБ 1168-99 можно сделать однозначный вывод о том, что минеральная добавка в бетон в виде порошкообразных (молотых) гранитных отсевов не оказывает активирующего воздействия на стальную арматуру в бетоне и не вызывает изменений ее коррозионного состояния в сравнении 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. Этот вывод подтверждают результаты *циклических испытаний* коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне, содержанием до 25 % от массы цемента минеральной добавки из молотого гранитного отсева (рис. 6).

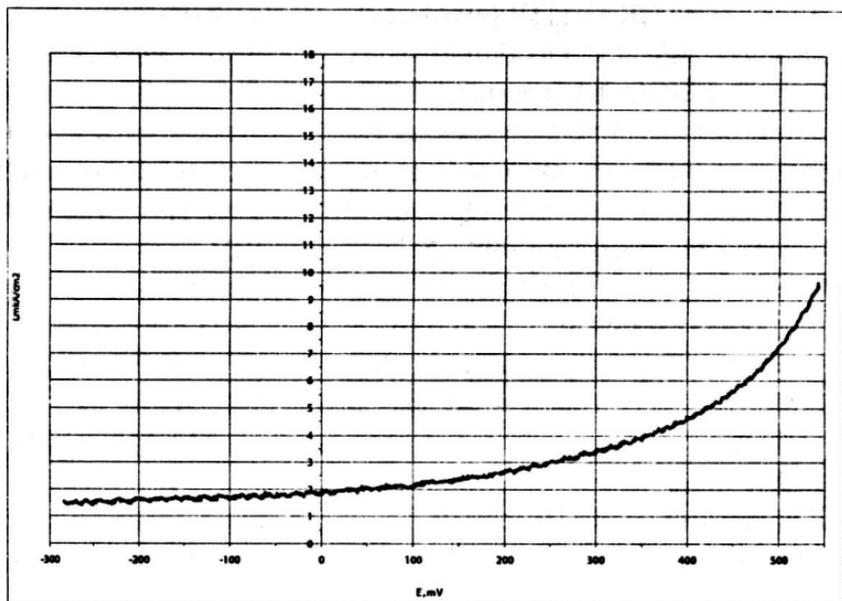


Рис. 6. Поляризационная кривая образцов бетона (Ц= 280 кг; Д = 70 кг) при циклических испытаниях в растворе NaCl

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).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты комплексных исследований влияния минеральной добавки из молотого гранитного отсева на свойства цемента и бетона свидетельствуют о возможности ее применения в бетоне и железобетоне с целью снижения расхода клинкерной части вяжущего с сопутствующей экономической эффективностью. Наиболее целесообразно введение мелких фракций гранитного отсева при помолу клинкера в качестве соответствующей минеральной добавки в процессе производства вяжущего.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Батяновский, Э.И. Особоплотный бетон сухого формования. – Минск: НПООО «Стринко», 2002. – 224 с.
2. Батяновский, Э.И. Свойства цемента и цементного камня с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева/ Э.И. Батяновский; 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/ Э.И. Батяновский; А.А. Дрозд, А.В. Смоляков // Строительная наука и техника. – 2009. -№1. – С.73-79.
4. Тейлор, Х. Химия цемента/ пер с англ. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
5. Юхневский, П.И., Широкий, Г.Т. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 476 с.
6. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях: монография: под ред. В.Д. Глуховского. – Киев: Вища школа, 1981. – 224 с.
7. Баженов, Ю.М. Технология бетона/Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во Ассоциации высших учебных заведений, 2002.– 500 с.
8. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны/В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
9. Демьянова, В.С. Рациональное использование отходов камнедробильного производства в технологии смешанных вяжущих/ В.С. Демьянова, Н.М. Дубошина, Г.Д. Фадеева// Промышленное и гражданское строительство.- 1999. – № 10. – С. 33-35.
10. Калашников, В. И. Реакционная активность измельченных горных пород в цементных композициях/ В.И. Калашников, В.С. Демьянова, С.В. Калашников, Ю. С. Кузнецов// Изв. Тульского гос. ун-та. – 2004.- № 7. – С. 26-33.
11. Bornemann, R. Ultrahochfester Beton-Entwicklung und Verhalten/ R. Bornemann, E. Fenling// Leipziger Massivbauseminar. – 2000. – Bd. 10. – S. 1-15.
12. Schmidt, M. Ultrahochfester Beton: Perspective fur die Betonfertigteile Industrie/M. Schmidt, E. Fenling, T. Teichmann, K.

Bunjek, R. Bornemann//Betonwerk+Fertigteil Technik.- 2003. – Н. 3. – S. 16-29.

13. Ратинов, В.Б., Розенберг, Т.И. Добавки в бетон. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.
14. Демьянова, В.С. Калашников, В.И., Казина, Г.Н. Дисперсно-наполненные клинкерные цементы на основе отходов камнедробления// Известия вузов. Строительство.- 2006.- № 5. – С. 30-36.