

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Строительный факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы 74– й студенческой
научно-технической конференции

21 – 23 мая 2018 г.

Минск
БНТУ
2018

УДК 691.32; 691.32; 666.973

ББК 38.3

А 43

Редакционная коллегия:

Э. И. Батяновский – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология бетона и строительные материалы»;

М. Г. Бортницкая – старший преподаватель кафедры «Технология бетона и строительные материалы»

Рецензенты:

Г. Т. Широкий – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология бетона и строительные материалы»;

Сборник содержит материалы 74-й студенческой научно-технической конференции «Актуальные проблемы технологии бетона и строительных материалов». В издании освещены материалы пленарного заседания, исследующего проблемы технологии производства и особенности эксплуатации бетона и других строительных материалов.

Издание предназначено для научно-педагогических работников, студентов, магистрантов и аспирантов.

ISBN

© БНТУ 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Белоус М. Б., Кургун Н. О. Инновационная методика ускоренной оценки (прогноза) морозостойкости вибропрессованного бетона.....4

Ковальчук К.А., Мохорт Ю. А. Теоретические основы эффективности углеродных наноматериалов в цементном конструкционном бетоне.....9

Крупатин Н.С. Получение коррозионоостойкого бетона..... 15

Шешко И.В., Героцкая М.А. Основы теории и практики повышения качества бетона путем нормализации гранулометрии заполнителей.....20

**Инновационная методика ускоренной оценки (прогноза)
морозостойкости вибропрессованного бетона**

Белоус М. Б., Кургун Н. О.

Научный руководитель – Бондарович А.И., кандидат
технических наук
Белорусский национальный технический университет

Механизм нарушения структуры бетона, подвергаемого попеременному замораживанию и оттаиванию в насыщенном водой состоянии, чрезвычайно сложен. Он представляет собой сочетание деструктивных факторов, включая давление льда при кристаллизации свободной воды; гидродинамику ее перемещения (миграции) под давлением градиента тепла и влагосодержания (термовлагопроводности); гидравлическое давление защемленной в тупиковых порах и дефектах структуры жидкости; напряжения, возникающие от разницы температурных деформаций составляющих бетона и цементного камня (на макро- и микроуровне в контактных зонах); усталостные (постепенно накапливающиеся и увеличивающиеся) дефекты структуры от многократно повторяющихся знакопеременных деформаций; понижение со временем концентрации растворенных в поровой жидкости продуктов гидролиза цемента, как за счет образования нерастворимых гидрокристаллов (отражение продолжающейся реакции цемента с водой), так и из-за «подсоса» воды развивающимися дефектами структуры в период оттаивания

образцов. что увеличивает содержание свободной воды в объеме бетона, и др.

В случае использования хлористых солей-антиобледенителей или испытательных солевых растворов действие означенных факторов на бетон дополняется следующим. Во-первых, «кристаллизационным» давлением накопившейся соли, образовавшейся после пересыщения ее раствора в малых по объемам дефектах структуры цементного камня, в зонах контакта последнего с зернами заполнителей и трещинах (порах) зерен заполнителей. При этом механизм образования и увеличения дефектов структуры может проявиться как за счет роста кристаллов соли, так и за счет «обжатия» их, например, прослойкой (оболочкой) цементного камня при отрицательных деформациях в период охлаждения бетона и возникающих при этом растягивающих усилиях в цементном камне, вызывающих появление в нем трещин. Во-вторых, усилением процесса миграции воды и ростом влагоемкости бетона, в объеме пор которого накапливается соль. Соответственно возрастает, в сравнении с водой, эффект расклинивающего действия в устье трещин (дефектов) тонких пленок жидкости-раствора, содержащей ионы вещества соли. В-третьих, возникает напряженное состояние на уровне микроструктуры цементного камня из-за локальных микроэффектов градиента температур, сопровождающих процесс «очагового» растворения – кристаллизации соли. Кроме отмеченного, понижение эвтектической точки раствора соли способствует глубокому проникновению жидкой фазы в дефекты структуры все меньшего сечения, углубляет развитие процесса массопереноса соли и усиливает эффект деструкции бетона в целом.

Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации элементов, благоустройства отрицательное (разрушающее) воздействие солей-антиобледенителей не прекращается и при положительной температуре окружающей среды. Попеременное увлажнение-высушивание, изменение температуры (даже в пределах суток) вызывают соответствующие деформации бетона, побуждают проявление процессов растворения – кристаллизации попавшей в его поры соли, а также

эндокринного эффекта, то есть, сопровождается постоянным деструктивным воздействием на бетон.

Стандартные базовые и ускоренный методы определения морозостойкости (ГОСТ 10060.0...3-95) бетона в целом отражают взаимосвязь его долговечности с параметром морозостойкости. Но это только общая взаимосвязимость означенных характеристик бетона, ее тенденция. В процессе эксплуатации элементов мощения и благоустройства они подвергаются интенсивному механическому воздействию: истирающим, сжимающим, изгибающим, ударным нагрузкам различной интенсивности и значений, которые многократно повторяются во времени.

Этот аспект деструктивного воздействия на бетон стандартные методы не учитывают, как по причине непредсказуемости вероятных условий эксплуатации строительных изделий и конструкций, изготовленных из проверяемого бетона, так и из-за неопределенности критериев оценки их влияния, особенно при совместном влиянии факторов, оказывающих комплексное физико-механическое и химико-физическое воздействие на бетон.

Можно предположить, что механические нагрузки разного вида, величин, частоты воздействия по разному, но неизбежно будут оказывать влияние на изменение структуры бетона, его пористости и проницаемости во времени. Складываясь с одновременным воздействием деструктивных факторов морозного разрушения бетона (особенно в присутствии солей, используемых в качестве антиобледенителей в зимний период эксплуатации покрытий) они будут усиливать, и ускорять этот процесс, тем самым снижая эксплуатационную надежность и долговечность бетона.

Существующие методы, приемы оценки и методики прогнозирования морозостойкости бетона не учитывают указанного фактора, а он, на наш взгляд, может быть очень существенным, особенно при значительном уровне механических нагрузок, способном вызвать трещинообразование в объеме бетона. Для установления такой вероятной взаимосвязи между способностью бетона

противостоять попеременному замораживанию-оттаиванию и ее зависимостью от дополнительного воздействия механических нагрузок, неизбежно воздействующих на бетон эксплуатируемых элементов благоустройства (мощения), необходимо было выполнить экспериментальные исследования.

Обобщение накопленных экспериментальных данных, позволило разработать и предложить методику ускоренной оценки морозостойкости вибропрессованного бетона изготовленных изделий до эксплуатации (основные положения опубликованы в авторских работах 15-А и 16-А) и методику оценки фактического состояния вибропрессованного бетона элементов благоустройства в процессе эксплуатации покрытий, выраженную в форме «накопленной» морозостойкости. То есть, установленное по разработанной методике количество циклов «замораживания-оттаивания», которые «прошел» (накопил) бетон к моменту оценки в привязке к циклическим стандартизированным испытаниям на морозостойкость (авторские публикации 6-А и 8-А).

В обоих вариантах методик оценка осуществляется по фактической величине влажности и скорости ультразвука в испытуемом бетоне. Последняя сопоставляется с экспериментально установленным в настоящем диссертационном исследовании диапазоном ее значений, выявленным в процессе стандартных испытаний на морозостойкость образцов мелкозернистого (цементно-песчаного), либо бетона с крупным заполнителем и отражающим структурные (прочностные) изменения в бетоне на разных стадиях: упрочнения структуры (характеризуется ростом прочности и скорости ультразвука), стабильности (примерное постоянство прочности и скорости ультразвука) и разуплотнения структуры (деструкции), что отражается в снижении скорости ультразвука и прочности бетона. Для бетона свежизготовленных изделий (до эксплуатации) по полученным данным устанавливается показатель ожидаемой морозостойкости.

Для бетона изделий в эксплуатируемых покрытиях на этом основании устанавливается оценочное количество

«стандартизированных» циклов замораживания-оттаивания, которое «накопил» бетон в процессе эксплуатации, исходя из требуемых по действующим нормативам для элементов благоустройства – 250 циклов испытаний в солевой среде.

По разнице величин требуемой по нормативам и «накопленной» морозостойкости определяется «остаточная» морозостойкость бетона, т.е. предполагаемое количество циклов стандартизированных испытаний «замораживание-оттаивание», которое он способен выдержать при дальнейшей эксплуатации.

Используя полученное значение «остаточной» морозостойкости оценивают ожидаемую долговечность бетона покрытий. Практическое применение изложенных далее в настоящей главе методик по согласованию с предприятиями-изготовителями элементов благоустройства подтвердило правомерность сделанных при разработке допущений и соответствие полученных с их помощью оценочных данных как фактического состояния эксплуатируемых покрытий и их ожидаемой долговечности, так и результатов ускоренной оценки морозостойкости бетона не эксплуатировавшихся (свежеизготовленных) изделий.

Литература

1. Горчаков, Г. И., Капкин, М. М., Скрамтаев, Б. Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.
2. Основы технологии и методов контроля качества морозостойкости бетонов. / Н. П. Блещик, О. В. Лазаренко // Архитектура и строительство. – 2001. - № 6. – С.38-41.
3. Оценка эксплуатационной долговечности тяжелого бетона по критерию «остаточной» морозостойкости. / Э. И. Батяновский, А. И. Бондарович // Автомобильные дороги и мосты. - 2010. - №2(6). – С.49-59.

Теоретические основы эффективности углеродных наноматериалов в цементном конструкционном бетоне

Ковальчук К.А., Мохорт Ю. А.

Научный руководитель – Рябчиков П.В., кандидат
технических наук

Белорусский национальный технический университет

По уровню технических и экономических показателей бетон и железобетон по-прежнему остаются основными конструкционными материалами, занимая приоритетные места в общей структуре мирового производства строительной продукции. Использование данных материалов позволило сделать революцию в области технологии строительства, возводить долговечные, грандиозные и уникальные объекты и сооружения. Но, несмотря на все очевидные достоинства, железобетонные конструкции имеют ряд существенных недостатков (большая масса конструкций, возможность коррозии бетона, его недостаточная прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и т.д.). Но учитывая тот факт, что за полуторавековую историю существования бетон прошел серьезную эволюцию и перестал быть просто смесью цемента, воды и заполнителей, а превратился в сложный композиционный материал, который готовится по высоким технологиям, большинство из вышеперечисленных недостатков стали исправимы.

В современных условиях все большую значимость приобретает способность целенаправленно воздействовать на

формирование микроструктуры твердеющего цементного камня. Такое воздействие позволяет получить цементный бетон с более высокими характеристиками прочности и плотности, что позволит добиться лучшей несущей способности, долговечности и эксплуатационной надежности строительных конструкций. До недавнего времени методы воздействия на микроструктуру бетона сводились к следующим: механоактивация цемента (эффект кавитации), омагничивание воды затворения, введение микродисперсной двуокиси кремния (микрокремнезем, зола-унос и т.д.) в аморфной форме, применение иных микрокристаллических затравок. Благодаря развитию науки и современных технологий к этому списку можно добавить еще один инструмент, который позволяет воздействовать на формирование структуры цементного камня, а именно, применение в качестве добавок для цемента углеродных наноматериалов (далее УНМ).

Начало истории УНМ положили Харольд Крото и Ричард Смолли, которые в 1985 г. открыли фуллерены – форма, состоящая из 60 атомов углерода [1]. В 1991 г. Сумио Иидзима обнаружил новую форму углерода – продолговатые трубчатые углеродные образования, названные «нанотрубками». Разработка Кретчмером и Хаффманом технологии их получения в макроскопических количествах положила начало систематическим исследованиям поверхностных структур углерода [2].

Основным элементом таких структур является графитовый слой – поверхность, выложенная правильными пяти- шести- и семиугольниками с атомами углерода, которые располагаются в вершинах. В случае фуллеренов такая поверхность имеет замкнутую сферическую или сфероидальную форму (рис. 1), каждый атом связан с тремя соседями связью sp^2 .

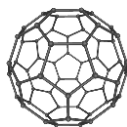


Рис. 1 Молекула фуллерена

Нанотрубки формируются путем присоединения пояса из 10 атомов углерода к исходной молекуле (рис. 2). Продолжая этот процесс теоретически можно получить трубку любой длины.

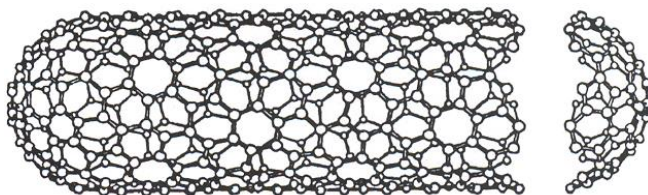


Рис. 2. Формирование нанотрубки

Многослойные нанотрубки отличаются от однослойных значительно более широким разнообразием форм и конфигураций. Разнообразие структур проявляется как в продольном, так и в поперечном направлении. Возможные разновидности поперечной структуры многослойных нанотрубок представлены на рис. 3. Реализация той или иной структуры в конкретной экспериментальной ситуации зависит от условий синтеза нанотрубок.



Рис. 3 Многослойные нанотрубки

С позиций эффективного воздействия УНМ на процессы структурообразования, твердения и на прочность цемента (соответственно, – цементного бетона, как базового строительного материала) особую значимость имеют высочайшая потенциальная энергия ультрадисперсных УНМ и их свойство в определенных условиях получения формировать тончайшие волокна значительной (до десятков микрон) длины.

В первом варианте эффективность введения вещества УНМ в цемент и цементные композиции в целом основывается на понижении энергетического порога начала образования кристаллогидратов из водного раствора, насыщенного ионами клинкерных минералов цемента, как результата его взаимодействия с водой затворения. То есть, в этом случае используется высокий уровень энергии поверхности частиц УНМ, которые могут служить центрами кристаллизации, ускоряя процесс образования кристаллогидратов и обеспечивая повышение темпа роста прочности цементного камня. По классификации Ратинова-Розенберга такие вещества относят к добавкам третьего класса (кристаллические затравки) [3]. Их эффективность известна (добавки-кренты) с 60-ых годов XX века [4] и в наибольшей мере реализуется в современных условиях при использовании микрокремнезема. Однако при этом дозировка или расход данной добавки составляет примерно 10 % от массы цемента и, для обеспечения максимальных результатов, достигает 30 % от массы цемента.

Особенность и уникальность применения вещества УНМ, характеризующегося огромным потенциалом поверхности ультрадисперсных частиц, заключается в достижении положительного результата, выраженного ростом прочности цементного камня, при дозировках в сотых и даже тысячных долях процента от массы цемента.

В несколько ином аспекте проявляется эффективность волокнуобразных трубчатых УНМ. Их особенностью является значительная длина (в литературе приведены примеры формирования трубок длиной до 30 мкм) при малых размерах поперечного сечения, которое может быть в диаметре менее 1 нм. Такой волокнуобразный материал, характеризующийся значительной прочностью на растяжение, может оказать огромное влияние на прочностные характеристики цементного камня и бетона. Присутствие таких тончайших волокон в твердеющем цементном камне создает условия для эффекта «наноармирования» структуры новообразований в виде спонтанно формирующейся системы кристаллов клинкерных минералов $(n_1CaO \cdot m_1SiO_2 \cdot p_1H_2O; \quad n_2CaO \cdot m_2Al_2O_3 \cdot p_2H_2O;$

$n_3\text{CaO}\cdot m_3\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot p_3\text{H}_2\text{O}$ и др.). Малые поперечные размеры нановолокон при длине, значительно превышающей размеры собственно гидрокристаллов силикатов, алюминатов и ферритов кальция, соответствующих примерно 8,0-15,0 нм, обеспечивают необходимые предпосылки для «защемления» волокон в межплоскостных пространствах соседствующих поверхностей множества гидрокристаллов, что и обеспечивает эффект армирования нано- и микроструктуры объема новообразований затвердевшего цементного камня. Следствием этого является рост его прочности на растяжение и сжатие.

Можно предположить, что использование волокнообразных УНМ позволит решить проблему повышения ударной вязкости (хрупкости) и деформативности высокопрочных бетонов, увеличить прочность на растяжение (осевое и при изгибе) традиционных конструкционных бетонов и обеспечить одновременно рост их способности сопротивляться сжимающим нагрузкам, а также возникающим при сложноподвиженном состоянии. Кроме этого означенный эффект может обеспечить существенное повышение прочности поризованных конструкционно-теплоизоляционных и теплоизоляционных бетонов, благодаря чему возможен рост их теплоизолирующей функции, что является одной из сложнейших в решении проблем строительного материаловедения. Основанием для такого утверждения является общепризнанный постулат теории разрушения хрупких материалов (включая бетон) от усилий, превышающих предел их прочности на растяжение и возникающих в поперечной плоскости к направлению приложения сжимающей нагрузки. Аналогией означенного эффекта на макроуровне является прием армирования бетона металлической фиброй, а также щелочестойким стекловолокном и другими волокнистыми материалами.

Литература

1. Kroto H.W., Nature, 1990, vol. 318, p. 162.
2. Kraetschmer W., Nature, 1990, vol. 347, p. 354.
3. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.

4. 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.

5. Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы / С. А. Жданок [и др.] // Вестник Белорусского национального технического университета : научно-технический журнал. - 2009. - № 3. - С. 5-22.

Получение коррозионоостойкого бетона

Крупатин Н.С.

Научный руководитель – Чистова Т.А., кандидат
технических наук, доцент

Белорусский национальный технический университет

В условиях интенсивного развития строительной индустрии и внедрения сложных архитектурных решений остро встает вопрос обеспечения надежности и долговечности железобетонных и бетонных конструкций. Особенно важным параметром, от которого будут зависеть прочность, надежность и долговечность бетона, является его способность сопротивляться коррозионным процессам при взаимодействии с агрессивной средой.

Коррозия бетона – это разрушение цельной структуры конгломерата, потеря его плотности, прочности, а соответственно и утрата эксплуатационных качеств под воздействием окружающей среды [1].

Из всех компонентов бетона разрушению наиболее подвержен цементный камень в связи с его низкой стойкостью к агрессивным средам.

Коррозионные процессы происходят под влиянием совокупности различных факторов и одновременно может протекать несколько видов разрушений.

Различают 3 вида основных видов коррозии по механизму влияния агрессивной среды [2]:

1 вид - разрушение цементного камня в результате выщелачивания гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), который легче всего растворяется и вымывается из структуры бетона, вызывая его разрушение.

2 вид – разрушение цементного камня при воздействии кислот. Этот вид называют химической коррозией. В этом случае происходит вымывание легкорастворимых известковых компонентов. Под воздействием агрессивных вод в структуре бетона образуются осадки, не обладающие вяжущими свойствами. В результате бетонное изделие теряет прочность и нарушается целостность конструкции.

3 вид – процесс разрушения, который совмещает в себе процессы образования кристаллических труднорастворимых соединений, под действием которых происходит расширение пористой структуры. Такой процесс приводит к появлению трещин и нарушению целостности сооружения.

Основными характеристиками, определяющими коррозионную стойкость бетона, являются его проницаемость и способность составляющих бетона вступать во взаимодействие с компонентами агрессивных сред [3].

Проницаемость зависит от количества, размеров и структуры капилляров и пор в бетоне. Чем больше и крупнее капилляры и поры, тем быстрее будет протекать коррозия любого из трех видов, поэтому важно обеспечить высокую водонепроницаемость бетона.

Защитить бетон от коррозии можно 2 методами:

- Первичная защита - комплекс мер, направленных на конструктивные улучшения эксплуатационных свойств изделий, применение добавок, влияющих на характеристики бетонов.

- Вторичная защита предусматривает исключение контактов агрессивных сред с поверхностью бетона в период эксплуатации сооружений: устройство изоляции; обработка поверхностей специальными пропитками [4].

Защитные покрытия можно разделить на следующие типы:

- лакокрасочные - применяются для защиты от атмосферных воздействий и агрессивных газов;

- обмазки, штукатурки, облицовки - применяются при высоко агрессивной атмосфере, жидкой агрессивной среде;
- рулонные материалы (полиэтилен, полиизобутилен, резина);
- футеровки - тяжелые покрытия, включающие в себя грунтовку, шпатлевку, изоляцию и слой из прочных штучных материалов (керамических плиток, кирпича и т.д.).

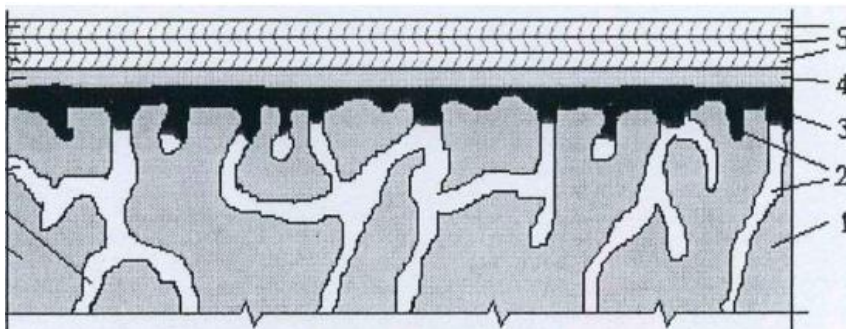


Рис 1. Схема защиты лакокрасочными материалами поверхности бетона: 1 - защищаемая поверхность; 2 - капилляры и поры в бетоне; 3 - пропитка; 4 - шпатлевка; 5 - основные покрывные слои покрытия

Для лабораторных исследований были приготовлены цементобетонные кубики 70,7x70,7x70,7 мм. Кубики обработали пропиткой отечественного производства ЗАО «Парад» и зарубежного производства «Pavix CCC100». Расход пропитки составил 200 г/м².

В ходе лабораторных испытаний с целью выявления воздействий пропиток на бетон, был исследован такой параметр как водопоглощение бетона по ГОСТ 12730.3-78, который в наибольшей степени определяет проницаемость бетона. Водопоглощение бетона численно характеризуется количеством воды (% по массе), которую поглощает бетон за определенное время при контакте с водой. После водопоглощения бетонные кубики подвергались истиранию по ГОСТ 13087-81. Общий путь истирания составил 600 м. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Технологические свойства цементобетонных кубиков

Образец	Истираемость, г/см ²	Высота истирания, мм
Исходный цементобетонный кубик	0,70	2,72
Цементобетонный кубик, обработанный пропиткой Г-66 «Парад»	0,65	2,63
Цементобетонный кубик, обработанный пропиткой «Pavix CCC100»	0,31	1,98

После истирания бетонные кубики опять водонасыщали. Данное исследование позволило судить о глубине пропитки.

Результаты лабораторных испытаний приведены на диаграмме, где наглядно проведено сравнение водопоглощений трех образцов до истирания и после.

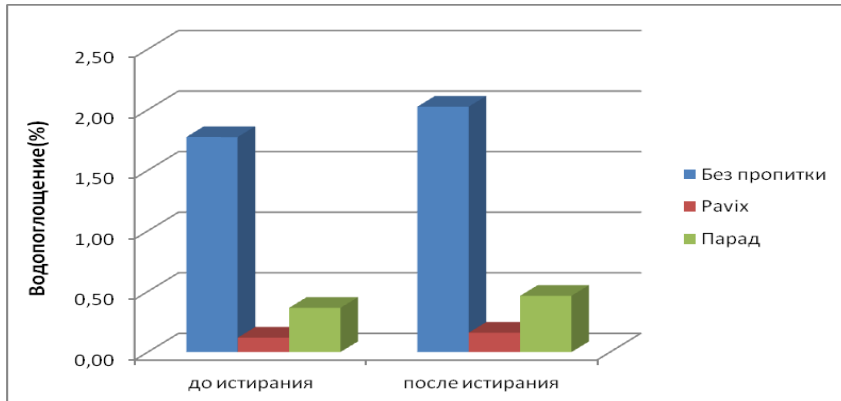


Рисунок 2 – Гидрофизические свойства образцов

ВЫВОДЫ:

Пропитки Г-66 и “Pavix CCC100” показали свою эффективность, как гидрофобизирующие составы. Пропитка

“Pavix CCC100” уменьшила водопоглощение в 12-14 раз, в то время как Г-66 ЗАО «Парад» в 4-5 раз.

В результате истирания образцов обе пропитки сохранили свои гидроизолирующие свойства, при этом водопоглощение практически не изменилось. Следует отметить, что образцы обработанные “Pavix CCC100” подвержены истиранию в 2 раза меньше по сравнению с исходными образцами и пропитанными составом Г-66.

Высокую эффективность пропитки “Pavix” можно объяснить тем, что сначала она вступает в реакцию с воздухом для образования гидрофобизатора и одновременно проникает в бетон, образуя кристаллы в порах и пустотах бетона, эффективно герметизируя структуру бетона.

Литература

1. Бетоны высоко коррозионной стойкости и нормирование их характеристик [Электронный ресурс] – 2018. Режим доступа: [https:// stroymat21.ru/](https://stroymat21.ru/) - Дата доступа: 21.10.2018

2. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А., Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М.Москвин. - Москва.,1980. – 5-6, 89-91,112-114,148-150,214, 485-503 с.

3. Строительные минеральные вяжущие материалы /Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. // Учебное пособие, М. – 2011., 544 с.

4. Степанова В.Ф., Новые эффективные материалы для вторичной защиты железобетонных конструкций / В. Ф. Степанова. - Москва: Дипак, 2005. - 509-511 с.

Основы теории и практики повышения качества бетона путем нормализации гранулометрии заполнителей

Шешко И.В., Героцкая М.А.,

Научный руководитель – Федорович П.Л.
Белорусский национальный технический университет

Заполнители занимают в бетоне до 80% объёма и оказывают определённое влияние на свойства бетона, его долговечность и стоимость. Применение заполнителей позволяет резко сократить расход вяжущего, являющегося наиболее дорогим компонентом бетона. Кроме того, заполнители улучшают технические свойства бетона. Жёсткий скелет из высокопрочного заполнителя несколько увеличивает прочность и модуль упругости бетона – уменьшает деформации конструкций под нагрузкой, а также ползучесть бетона – необратимые деформации, возникающие при длительном действии нагрузки.

В бетоне применяют крупный и мелкий заполнитель. Крупный заполнитель, зёрна которого более 5 мм, подразделяют на гравий и щебень. Мелким заполнителем в бетоне является природный или искусственный песок.

Добыча песка и гравия производится в естественных отложениях механическим или гидравлическим способом, а щебня из естественного камня путем дробления взорванных скальных пород. Добываемые каменные материалы перерабатываются на камнедробильных и промывочно-сортировочных заводах, а затем в виде готового продукта стандартного качества доставляются потребителю [1].

Качество заполнителей, применяемых при изготовлении железобетонных изделий, имеет весьма большое значение.

Очевидно, что щебень, используемый при приготовлении бетонной смеси, должен иметь высокую и при этом достаточно однородную прочность. Между тем минеральное сырье, используемое при изготовлении щебня, в большинстве своем состоит как из прочных, так и из мягких и слабых пород, а также загрязняющих примесей (глины, мергелей и т.п.). Таким образом, в целях получения однородного и достаточно прочного щебня необходимо удалить из исходного сырья мягкие и слабые породы, а также все примеси.

Известно, что степень измельчения прочных и слабых пород неодинакова. В процессе измельчения слабые породы, а также загрязняющие примеси разрушаются значительно интенсивнее, чем прочные. При этом слабые породы и примеси получают в виде мелких фракций. Если последующим грохочением удалить из полученного после дробления продукта мелкие (слабые) зерна, то мы получим однородные по прочности крупные фракции материала. Последующее дробление выделенных таким образом крупных прочных фракций позволяет получить в результате мелкий прочный щебень[2].

При изучении свойств заполнителей для их последующего использования в бетоне, особое внимание уделяется возможности изготовления из них смеси с наименьшим объемом пустот.

Пустотность – очень важная характеристика заполнителя. В плотном конструкционном бетоне все пустоты должны быть заполнены цементным тестом. Поэтому чем меньше пустотность заполнителя, тем меньше расход цемента при получении бетона. В крупнопористом бетоне, наоборот, желательна повышенная пустотность заполнителя. Пустотность зависит от формы зерен заполнителя и зернового (гранулометрического) состава[1].

Гранулометрический (зерновой) состав заполнителей – содержание зерен разной крупности. Он определяется просеиванием средней пробы заполнителя через стандартные

сита. Набор стандартных сит включает сита с размерами отверстий 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 70 мм и др.

Существуют два основных направления в подборе зернового состава смеси. В одном случае смесь подбирается из частиц, имеющих различные размеры: от наименьшего до наибольшего, это так называемые смеси с непрерывной гранулометрией. В другом случае смесь составляется из набора частиц, в котором отсутствуют частицы в пределах определенных размеров; это так называемые смеси с прерывистой гранулометрией.

Наибольшая крупность заполнителя может быть различной, однако любой заполнитель содержит зерна неодинакового размера; распределение зерен по фракциям называют зерновым составом заполнителя. Свойства заполнителей полностью зависят от свойств исходной горной породы.

Некоторые свойства заполнителей не определяются характеристиками исходной горной породы, а присущи только зернам заполнителя, такие как форма и размер зерен, текстура поверхности, абсорбционная способность (водопоглощение). Все эти свойства могут оказывать большое влияние на качество как свежееуложенной бетонной смеси, так и затвердевшего бетона.

Считают, что основными факторами, определяющими зерновой состав заполнителя, являются: удельная поверхность заполнителя, которая определяет количество воды, расходуемое на увлажнение поверхности зерен; относительный объем заполнителя, занимаемый его зернами; удобоукладываемость бетонной смеси и склонность к расслоению[3].

Именно поэтому важными являются внешние данные заполнителя, в частности форма и текстура поверхности зерен. Окатанность, или округленность, зерен характеризует их относительную острогранность или угловатость. Степень окатанности зерен определяется в основном прочностью и истираемостью исходной горной породы, а также износом, которому уже подвергались сами зерна. Форма зерен дробленого заполнителя зависит от типа исходной горной породы, типа используемой камнедробилки и степени измельчения материала[3].

Другим показателем формы зерна крупного заполнителя является степень его сферичности, которая может быть выражена отношением поверхности зерна к его объему. Зерна, которые характеризуются высоким значением отношения поверхности зерна к его объему, способствуют снижению удобоукладываемости бетонной смеси. К зернам этого типа относят зерна пластинчатой и игольчатой формы, которые отрицательно влияют на долговечность бетона, так как склонны располагаться ориентированно в одной плоскости с образованием при этом под ними пустот, заполненных водой или воздухом.

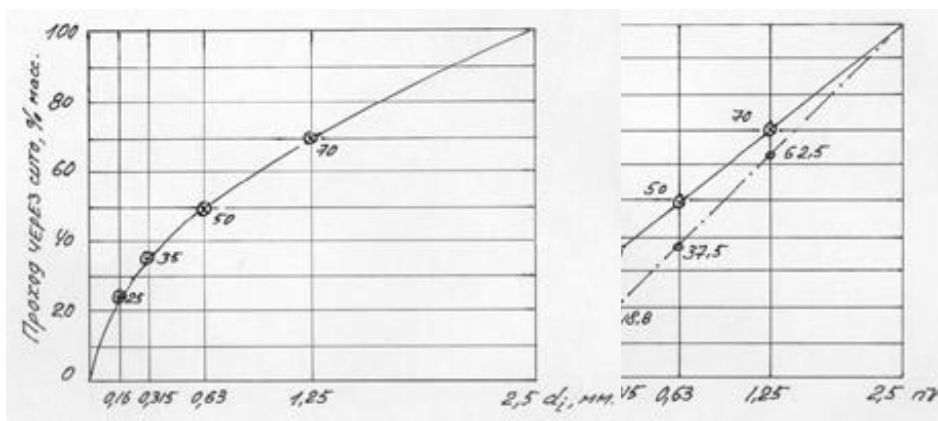
Очень важным является использование заполнителя с таким зерновым составом, который бы обеспечивал удовлетворительную удобоукладываемость и достаточную связность бетонной смеси. Последнее требование весьма важно, так как удобоукладываемая бетонная смесь, позволяющая получить прочный и экономичный бетон, в случае ее расслоения приведет к образованию раковистого непрочного недолговечного и неоднородного материала[4].

Для выбора оптимального гранулометрического состава заполнителя предлагаются различные "идеальные" кривые просеивания. Примером подобных кривых могут служить:

- 1) кривые просеивания, предложенные Фуллером (рис. 1(а))
- 2) «идеальная» кривая по Ротфуксу (рис. 1(б))

В Республике Беларусь есть проблема мелких (речных) песков, которые используются как мелкий заполнитель при производстве бетонов и строительных растворов. Использование в строительстве такого мелкозернистого заполнителя является вынужденной мерой, которая сопровождается повышенным расходом цемента (из-за повышенной удельной поверхности и пустотности, а также низкого качества сцепления с цементным камнем), для обеспечения качественных характеристик бетона (раствора). Решением данной проблемы может послужить введение в состав бетонной (растворной) смеси гранитного отсева. Этот метод актуален для Беларуси, так как на территории РУПП «Гранит» Брестской области много отходов

при производстве крупного заполнителя и мелких песков для бетона.



а)

б)

Рис. 1. "Идеальная" кривая гранулометрического состава заполнителя с предельным размером зерна 2,5 мм:
а) по Фуллеру б) по Ротфуксу

Результаты исследований, выполненных в БНТУ, показали возможность 100%-го использования отходов камнедробления, образующихся на РУПП «Гранит». Известно, что «прямое» применение гранитного отсева вместо песка в качестве мелкого заполнителя бетона (раствора) практически невозможно, т.к. сопровождается резким ухудшением физико-механических и эксплуатационных свойств этих материалов. Данное явление связано с повышенным содержанием в отсеве тонкодисперсных фракций (менее 0,16 мм), достигающем 30...40% от его веса, массовым наличием микротрещин и повышенной удельной поверхностью их, явно выраженной лещадностью зерен этих фракций. В совокупности эти факторы обуславливают невозможность прямого эффективного использования гранитного отсева в качестве мелкого заполнителя для цементных бетонов и растворов.

Вместе с тем, после переработки гранитного отсева [6-9], в частности отсева его на две фракции (по граничному размеру зерна $\sim 0,5$ мм) и помола мелкой фракции, получают качественные продукты в виде минеральной добавки в бетон или в цемент (при совместном помоле с клинкером) и отсеянных крупных фракций ($\sim 0,5 - 5,0$ 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 физико-технических характеристик и снижение на 5 – 15% расхода цемента.

В таблице 1 приведены данные об изменении прочности бетона за период в 28 сут. водного твердения.

Таблица 1 - Прочность бетона при твердении в воде

№ состава	Характеристики песка:		Прочность бетона, МПа, в возрасте, сут.:					
	M _к , д.ед.	Содержание, кг		1	3	7	14	28
		песка	отсева					
1	1,0	700	-	6,3	17,2	23,7	27,6	34,5
2	2,0	492	208	9,8	24,7	34,7	39,6	46,6
3	2,5	389	311	10,2	25,5	35,6	41,0	48,2
4	3,0	288	412	10,9	26,2	36,6	43,3	49,5

Анализ изменений прочности бетона образцов водного твердения, т. е. наиболее благоприятных условий для цементного бетона, однозначно свидетельствует (и подтверждает ранее полученные данные) от эффективности

приема обогащения песка переработанным гранитным отсевом в части роста прочности бетона.

Литература

1. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с: ил.
2. Ицкович С. М., Чумаков Л. Д., Баженов Ю. М. Технология заполнителей бетона. М.: Высшая школа, 1991. – 272 с.: ил.
3. Баженов Ю. М. Технология бетона: учеб. для студентов ВУЗов строит. спец//Ю. М. Баженов. – 3-е изд., - М.: Изд-во АСВ, 2003. – 500с: ил.
4. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Основы бетоноведения. – Санкт-Петербург: «Строй Бетон», 2006. – 696 с.
5. Виноградов Б. Н. // Влияние заполнителей на свойства бетонов. М.: Стройиздат, 1979. – 223 с.: ил.
6. 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
7. 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
8. Долговечность железобетона с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева / Э. И. Батяновский; А. А. Дрозд, А. В. Смоляков, В. И. Мацкевич // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч.ст. / ГрГУ им. Я.Купалы (Гродно, 2010). – Гродно, 2010 – С.288-291
9. Использование гранитного отсева в цементе и конструкционном бетоне / П. И. Федорович; Э. И. Батяновский // Проблемы современного бетона и железобетона: Материалы III Межд. симп. (Минск, 9-11.11.2011). В 2 т. Т2 «Технология бетона». – Минск, Минсктиппроект, 2011. – С. 438-451.