

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МОСТОВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕТОНОВ, УСТОЙЧИВЫХ К КАРБОНИЗАЦИИ

Д-р техн. наук, профессор **В.К. Козлова**,
канд. техн. наук **А.В. Вольф**
(Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова),
инженер **В.О. Мотуз**,
инженер **Е.В. Строганов**,
инженер **А.В. Кастюрин**
(КГКУ «Алтайавтодор»)
Контакт. информация: volf.anna@mail.ru

В статье приведены результаты исследования методами дифференциально-термического и термогравиметрического анализов. Полученные данные свидетельствуют о значительных масштабах углекислотной коррозии цементного камня в процессе службы бетонных конструкций. Показано, что процесс карбонизации цементного камня и бетонов сопровождается усадочными деформациями. Величина карбонизационной усадки цементного камня составляет 2,5 мм/м. Введение в состав портландцемента минеральных и химических добавок приводит к значительному снижению карбонизационной усадки цементного камня – до 0,5 мм/м и уменьшению общих усадочных деформаций до 0,65 мм/м. Введение в состав бетонной смеси комплексных карбонат-содержащих добавок в количестве 50-80 кг/м³ вместо части песка способствует снижению усадочных деформаций бетонов: влажностная усадка составляет 0,15 мм/м, карбонизационная усадка – 0,32 мм/м.

Ключевые слова: мостовые конструкции, бетон, бетонная смесь, портландцемент, долговечность, углекислотная коррозия.

ВВЕДЕНИЕ

В результате проведенных авторами исследований [1] показано, что в настоящее время скорость разрушения бетонных сооружений значительно выше, чем в прошлом. Причем скорость разрушения железобетонных мостов на 50 % превышает скорость разрушения других железобетонных сооружений. По их мнению, причиной преждевременного

разрушения и выхода из строя строительных конструкций из железобетона до соответствующего срока их службы является несовершенство существующих требований, направленных на обеспечение долговечности при проектировании, строительстве и эксплуатации, а также недостаточная изученность проблемы долговечности бетонов.

Для прогнозирования остаточного ресурса мостовых конструкций необходимо оценивать степень деградации материалов под воздействием окружающей среды. При оценке влияния окружающей среды на мостовые железобетонные конструкции основными видами коррозионного воздействия считаются коррозия вымывания и смена отрицательных и положительных температур (*замораживание-оттаивание*). Однако не принимается во внимание активно протекающая углекислотная коррозия. Подход к оценке степени агрессивности воздействия среды на бетон эксплуатируемых мостовых конструкций следует пересмотреть, так как практика показывает достаточно интенсивное протекание процессов коррозионного разрушения бетонов, эксплуатирующихся в неагрессивных, согласно современным требованиям, условиях. В работе [2] приводятся сведения, что еще в 30-е годы прошлого века ученые обратили внимание на то, что в некоторых районах США бетон многих сооружений (цементобетонные покрытия дорог, опоры мостов, гидротехнические сооружения) через несколько лет после их постройки начал разрушаться при отсутствии агрессивных факторов во внешней среде, кроме дождевой воды. На поверхности конструкций появились трещины, из которых выделялось белое вещество. Оказалось, что разрушение происходило во всех случаях, когда при приготовлении бетона использовались добавки, содержащие аморфный кремнезем. Необходимо отметить, что в дождевой воде содержится угольная кислота в диссоциированном состоянии, в ее присутствии активно протекает углекислотная коррозия цементного камня в составе бетона.

Долговременная прочность бетонов зависит от их состава, технологии изготовления конструкций, условий их хранения и службы. Среди компонентов бетонной смеси наибольшее влияние на физико-механические показатели бетонов оказывает состав и свойства используемых портландцементов. При проектировании состава бетонов и технологии их изготовления необходимо учитывать возможность изменения свойств железобетонных конструкций под действием различных видов физической и химической коррозии. Сохранение необходимых эксплуатационных свойств мостовых железобетонных конструкций на весь период службы является чрезвычайно важной задачей. Одним из определяющих факторов для основных свойств бетона, таких как прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, стойкость против раз-

личных видов коррозии, является его пористость. Даже незначительное по объему повышение пористости бетона приводит к значительному снижению показателей, характеризующих его основные свойства.

При строительстве мостов на автомобильных дорогах часть железобетонных конструкций возводится в монолитном варианте, и бетон твердеет в условиях, близких к нормальным. Но значительная часть конструкций изготавливается в заводских условиях с применением тепловлажностной обработки для ускорения набора прочности (пропаривание). Известно, что структура бетонного камня, подвергнувшегося тепловлажностной обработке характеризуется значительно большей дефектностью по сравнению со структурой бетона, твердевшего в нормальных условиях. Миграция воды при нагревании от поверхности вглубь бетонного изделия, а при охлаждении в обратном направлении, создает большое количество направленных капиллярных пор. При температуре тепловлажностной обработки более 45-50 °С значительная часть воды находится в состоянии пара, передвижение которого в объеме бетонного изделия может привести к значительно большей степени разрушения сложившейся структуры, чем передвижение воды. При выборе режима тепловлажностной обработки следует исходить не только из необходимости ускорения процесса набора прочности, но и учитывать его влияние на формирование структуры бетона. Величина общей пористости бетона, а также, форма и диаметр капилляров в значительной степени зависят от условий твердения.

Пористость и распределение пор по размерам имеют определяющее значение практически для всех свойств строительных материалов на основе цемента. Снижение пористости играет особую роль в повышении долговечности бетонов, так как все агрессивные вещества проникают в строительный материал через поровую структуру. В работе [3] приведены результаты сравнения пористости бетонов одинакового состава, но твердевших в различных условиях. Показано, что общая пористость бетона, твердевшего в условиях тепловлажностной обработки при температуре 80 °С, существенно выше пористости бетона, твердевшего в нормальных условиях. Количество открытых пор при пропаривании возрастает на 2,5-3,0%, что является довольно существенным, при этом содержание открытых пор в 1 м³ бетона увеличивается на 25-30 л. Именно через открытые поры идет диффузия агрессивных компонентов в бетоне. Такое повышение открытой пористости бетона приводит к снижению его стойкости ко всем видам физической и химической коррозии. Для железобетонных конструкций автомобильных мостов необходимо выбирать режимы твердения, позволяющие обеспечить изделиям высокую коррозионную стойкость. При использовании тепловлаж-

ностной обработки это может быть достигнуто за счет снижения температуры пропаривания до 50 °С [4].

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Для изготовления мостовых железобетонных конструкций рекомендуется использование портландцемента для транспортного строительства (ГОСТ Р 55224-2012 [5]). Химический и фазовый состав рекомендуемого портландцемента практически совпадает с составом общестроительного портландцемента. Содержание щелочных оксидов (в расчете на Na_2O) должно быть менее 0,8 %, а содержание трехкальциевого алюмината C_3A менее 7,0 %. Содержание щелочных оксидов в портландцементе для транспортного строительства ограничивается с целью предупреждения щелочесиликатных взаимодействий, а содержание трехкальциевого алюмината ограничивается в связи с возможностью взаимодействия его продуктов гидратации с растворимыми сульфатами в составе грунтовых вод с образованием этрингитовой фазы.

При выполнении исследований был использован портландцемент для транспортного строительства ЦЕМ I 42,5 Н, изготовленный на заводе ОАО «Искитимцемент». Для цементного камня, полученного в процессе твердения в нормальных условиях, была выполнена ускоренная карбонизация при избыточном давлении углекислого газа 0,4 МПа в специальной установке [6]. Схема установки для принудительной карбонизации показана на **рис. 1**.

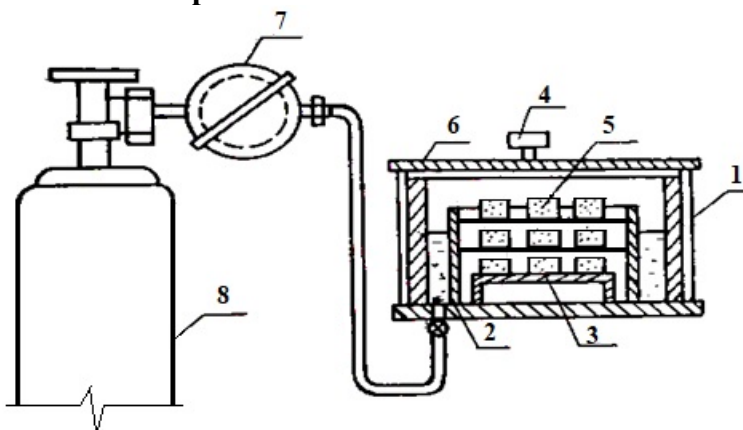


Рис. 1. Установка для ускоренной карбонизации:
1 – стальной бак; 2 – внутренний сосуд; 3 – подставка;
4 – манометр; 5 – образцы; 6 – крышка бака; 7 – редуктор;
8 – сосуд с углекислым газом

Выполненные дифференциально-термический и термогравиметрический анализы проб гидратированного портландцемента и карбонизированного цементного камня (рис. 2) позволяют подтвердить, что в процессе карбонизации продуктами гидратации портландцемента связывается значительное количество углекислого газа, что приводит к изменению их фазового состава и перестройке кристаллической структуры. Анализ осуществлялся с применением дериватографа системы Паулик Ф., Паулик М., Эрдеи Л. в неокислительной среде, создаваемой закрытым тиглем, параметры съемки: верхний температурный предел – 1000°C, скорость нагрева 10 град./мин.

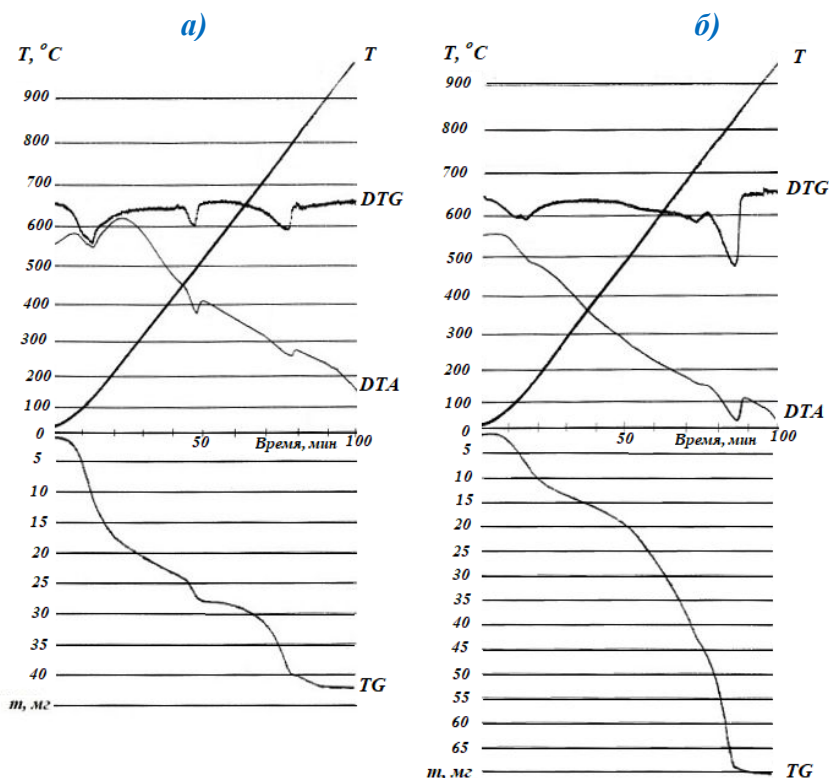


Рис. 2. Результаты дифференциально-термического и термогравиметрического анализ:

- а) продуктов гидратации портландцемента (масса навески 190 мг);
 б) карбонизированных продуктов гидратации портландцемента (масса навески 235 мг);
 T – температурная кривая; TG – термогравиметрическая кривая;
 DTG – дифференциальная термогравиметрическая кривая;
 DTA – кривая дифференциально-термического анализа

Сравнивая потери массы гидратированного цемента до и после карбонизации можно определить, какое количество CO_2 прореагировало с продуктами гидратации цемента в процессе карбонизации (**рис. 2**). До карбонизации общие потери массы составляли 42 мг из 190 мг (284 мг/г цемента). После карбонизации потери массы при нагревании составили 70 мг из 235 мг (425 мг/г цемента). Таким образом, в процессе карбонизации связано 141 мг CO_2 на 1 г цемента. Степень карбонизации продуктов гидратации составила 45,8 %.

Процесс карбонизации цементного камня сопровождается усадочными деформациями. Величина карбонизационной усадки, определенная на образцах цементного камня в виде балочек размером 10x10x70 мм составила 2,5 мм/м [7].

Введение в состав портландцемента минеральных и химических добавок приводит к значительному снижению карбонизационной усадки цементного камня до 0,5 мм/м и уменьшению общих усадочных деформаций до 0,65 мм/м [7]. Это может способствовать снижению уровня возникающих в цементном камне бетона локальных напряжений, являющихся начальной причиной трещинообразования.

Анализ характера разрушений ряда мостовых конструкций в Алтайском крае показывает [8], что для них характерно активное протекание процессов коррозии железобетона, нарушение защитного слоя бетона с оголением и коррозией арматуры.

Отбор проб бетона был выполнен на мосту через р. Медведка на автомобильной дороге Алтайского края Юдиха – Тюменцево – Баево – Александровка – Верх-Суетка – Славгород (**рис. 3**).



Рис. 3. Общий вид моста через р. Медведка на автомобильной дороге Юдиха – Тюменцево – Баево – Александровка – Верх-Суетка – Славгород

Ремонтируемый автомобильный мост эксплуатировался в течение 50 лет. На момент отбора проб производилась полная замена пролетных строений. Для анализа были отобраны пробы бетона с ограждения моста, с насадок и свай промежуточных и береговых опор, с сборных железобетонных балок пролетных строений, в том числе в местах дефектов конструкций.

На многих участках отбора проб на поверхности железобетонных сборных и монолитных конструкций наблюдались значительные дефекты, такие как шелушение, образование белого налета, трещинообразование, оголение и коррозия арматуры, недостаточная толщина или отсутствие защитного слоя бетона (дефекты изготовления конструкций) (рис. 4 и 5). Места контакта крупного заполнителя с растворной частью бетона конструкций во всех отобранных пробах покрыты слоем белого налета (рис. 6).



Рис. 4. Шелушение и образование белого налета (А), трещинообразование, оголение и коррозия арматуры (Б, В) на демонтированных пролетных строениях моста (балках)

В ходе визуального осмотра выявлено неудовлетворительное состояние гидроизоляции проезжей части, что привело к протечкам дождевых и талых вод вдоль швов омоноличивания плит проезжей части балок и интенсификации процессов выщелачивания и коррозии бетона на внутренней поверхности плит проезжей части с оголением и коррозией арматуры (рис. 4).

На балках пролетных строений также наблюдались многочисленные сколы, в том числе с оголением и коррозией арматуры, в нижней поверхности ребер опорной части балок.

Шкафная и заборная стенки береговой опоры № 4 имели значительные по площади разрушения защитного слоя бетона с оголением и коррозией арматуры.

Сваи промежуточных опор в уровне малых вод и береговых опор также имели многочисленные разрушения защитного слоя бетона с оголением и коррозией рабочей арматуры (рис. 5, А).



Рис. 5. Оголение и коррозия арматуры на сборной железобетонной свае (А) и консоли монолитной железобетонной насадки (Б) береговой опоры моста № 4



Рис. 6. Место контакта крупного заполнителя и растворной части бетона

Часть проб бетона удавалось отделить вручную без применения инструмента. Образцы бетона, отобранные с монолитной железобетонной насадки береговой опоры № 4, практически не имели остаточной прочности, рассыпались (**рис. 6**).

Бетонное ограждение моста практически полностью разрушено, арматурный каркас оголен (**рис. 7**).



Рис. 7. Разрушение бетонного ограждения моста

На **рис. 8** приведены результаты дифференциально-калориметрического и термогравиметрического методов анализа, выде-

ленной растворной части одной из отобранных проб бетона (балка №4, пролет №2) железобетонных конструкций данного автомобильного моста в р.п. Тюменцево. Анализ выполнен на синхронном термогравиметрическом анализаторе STA 449 C Jupiter фирмы NETZSCH. Данный прибор сочетает методы дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ) в одном измерении. Исследование образцов проводили в корундовых тиглях без крышки в воздушной атмосфере. Скорость подачи воздуха в камеру образца составила 30мл/мин. В весовой блок подавали инертный газ (гелий) со скоростью 20 мл/мин. Образец нагревали со скоростью 2 °С/мин. от комнатной температуры до 50 °С и выдерживали при данной температуре 30 мин. Далее проводили программируемый температурный нагрев со скоростью 10 °С/мин. до 1000 °С.

Содержание оксида кальция в растворной части бетона предварительно определяли трилонометрическим методом химического анализа после селективного растворения вяжущего [9].

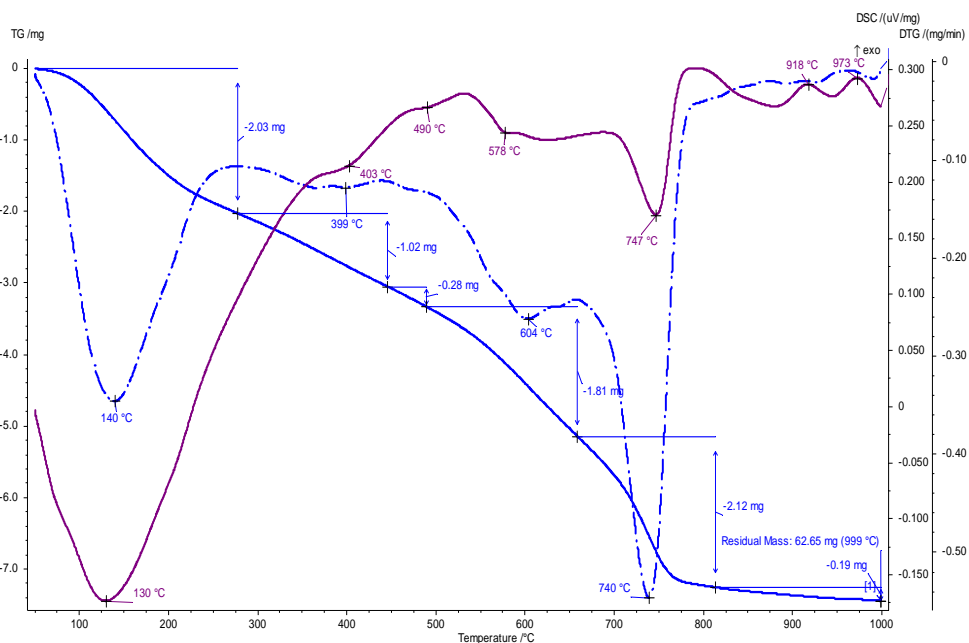


Рис. 8. Результаты дифференциально-сканирующей калориметрии и термогравиметрии растворной части защитного слоя бетона мостовой конструкции (масса навески 70,10 мг)

Наличие на кривой DSC эндотермического эффекта при температуре 747 °С с большой потерей массы свидетельствует о значительной степени карбонизации цементной составляющей в составе бетона. Расчеты показывают, что 80-85 % оксида кальция в составе старого цементного камня находится в карбонатсодержащих фазах. Приведенные данные свидетельствуют об очень значительных масштабах углекислотной коррозии цементного камня в процессе службы бетонных конструкций.

Действие всех видов химической коррозии связано с взаимодействием агрессивной среды с продуктами гидратации цементов. Наиболее надежным способом защиты бетонов от коррозии является изменение состава и качества портландцементов, используемых в транспортном строительстве.

Карбонизационная усадка цементного камня, сопровождающая гидратацию и твердение портландцементов, значительно превышает величину общей усадки при твердении в нормальных условиях в течение 28 суток. Процесс карбонизации продолжается много лет с одновременно увеличивающейся карбонизационной усадкой. Кроме того, углекислотная коррозия сопутствует всем другим видам физической и химической коррозий. На основании этого можно предполагать, что карбонизационная усадка для бетонов более опасна, чем влажностная.

В работе [10] показано, что композиционные портландцементы, с карбонатсодержащими минеральными добавками отличаются повышенной стойкостью против углекислотной коррозии и характеризуются сниженными усадочными деформациями. В настоящее время разработке составов и производству таких портландцементов не уделяется должного внимания. Поэтому эффективным способом повышения коррозионной стойкости бетонов мостовых железобетонных конструкций может быть введение соответствующих минеральных и химических добавок при изготовлении бетонных смесей.

Подбор составов цементобетонных смесей для возведения монолитных конструкций на строительной площадке объектов транспортного строительства Алтайского края выполнялся по ГОСТ 27006-86, ГОСТ 26633-2015 [11, 12] в соответствии со следующими показателями качества: проектный класс бетона – В30; марка по удобоукладываемости – П3; наибольшая крупность заполнителя – 20 мм; марка по морозостойкости – F₁ 300; марка по водонепроницаемости – W8.

Расход материалов в кг на 1 м³ бетонной смеси составил:

- портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н – 430;
- щебень фракции 5-20 мм – 1000;
- песок – 780;

- вода – 175;
- гиперпласт 120 – 3,4.

Усадочные деформации бетонов определялись на образцах-призмах размером 70х70х280 мм в соответствии с ГОСТ 24544-81 [13]. Карбонизация 28-суточных бетонных образцов нормального твердения осуществлялась при избыточном давлении углекислого газа 0,4 МПа в установке, показанной на **рис. 1**.

Средняя плотность бетона составила 2390 кг/м³.

Средняя прочность в возрасте 28 суток нормального твердения – 43,5 МПа, марка по морозостойкости – F₁ 300, марка по водонепроницаемости – W8, влажностная усадка – 0,32 мм/м, карбонизационная усадка – 1,73 мм/м.

При введении в состав бетонной смеси комплексных карбонатсодержащих добавок в количестве 50-80 кг/м³ вместо части песка у бетонных образцов сохраняются показатели по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, но снижаются усадочные деформации. Влажностная усадка составляет 0,15 мм/м, карбонизационная усадка – 0,32 мм/м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью повышения долговечности мостовых железобетонных конструкций при их изготовлении необходимо использовать портландцементы, отличающиеся высокой стойкостью против углекислотной коррозии. В ГОСТ Р 55224-2012 на цемент для транспортного строительства желательно ввести испытания на стойкость против углекислотной коррозии с определением величины карбонизационной усадки.

Введение в состав бетонных смесей карбонатсодержащих добавок способствует повышению стойкости бетона против углекислотной коррозии.

Углекислотная коррозия снижает величину показателя рН поровой жидкости в бетоне, что приводит к увеличению степени коррозии стальной арматуры [14]. За счет карбонизационной усадки бетона, нарушается контактная зона между арматурой и бетоном, при этом облегчается путь кислорода и углекислоты из воздуха к поверхности арматуры.

Намечающееся разрушение бетона под действием вибрационных и изгибающих нагрузок также приводит к более интенсивной диффузии к арматуре агрессивных компонентов окружающей среды. Коррозия стали в этих условиях вызывает дальнейшее разрушение бетона продуктами коррозии. Следовательно, необходимо рекомендовать различные

способы защиты стальной арматуры от коррозии (хромирование, цинкование и др.).

Определение усадочных деформаций бетонов под действием углекислотной коррозии и разработка способов минимизации карбонизационной усадки представляют научный и практический интерес. Основное внимание следует уделить изучению усадочных деформаций цементного камня и возможных способов их снижения. Усадка тяжелого бетона с крупным заполнителем всегда меньше усадки содержащегося в нем цементного камня [15]. Несмотря на нелинейную зависимость усадки бетона от усадки цементного камня, применение цементов, характеризующихся пониженными усадочными деформациями, приведет к уменьшению усадочных деформаций бетона.

К регламентируемым свойствам бетона для мостовых железобетонных конструкций следует отнести величину усадочных деформаций, в том числе допустимую величину карбонизационной усадки за счет углекислотной коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Раппопорт П.Б. Проблемы долговечности цементных бетонов / П.Б. Раппопорт и др. // *Строительные материалы*. – 2011. – № 5. – С. 38-41.
2. Федосов С.В. Сульфатная коррозия бетона / С.В. Федосов, С.М. Базанов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2003. – 168 с.
3. Козлова В.К. О выборе режимов твердения для железобетонных конструкций автомобильных мостов / В.К. Козлова и др. // *Качество, технологии, инновации: материалы международной научно-практической конференции*. – Новосибирск, 2020. – С. 382-388.
4. Андреев Е.И. Особенности изготовления бетонных дорожных элементов / Е.И. Андреев // *Современные строительные материалы: сб. статей*. – Новосибирск, 2000. – С. 65-69.
5. ГОСТ Р 55224-2012. Цементы для транспортного строительства. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 7 с.
6. Козлова В.К. Использование зол тепловых электростанций в производстве строительных материалов / В.К. Козлова. – Барнаул: Алт.кн. изд-во. – 1975. – 144 с.
7. Саркисов Ю.С. Влияние карбонатных добавок на усадочные деформации цементного камня / Ю.С. Саркисов, В.К. Козлова,

- Е.В. Божок, Е.Ю. Малова, А.М. Маноха // Техника и технология силикатов. – 2018. – Т. 25. – № 1. – С. 7-11.*
8. *Вольф А.В. Анализ результатов обследований мостовых конструкций Алтайского края / А.В. Вольф, В.К. Козлова, К.А. Махов // Ползуновский альманах. – 2017. – № 2. – С. 88-91.*
 9. *Методические рекомендации по определению вещественного состава бетона. – М.: ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве». – 2017. – 92 с.*
 10. *Козлова В.К. Влияние карбонатсодержащих добавок на свойства композиционных цементов / В.К. Козлова, А.М. Маноха, А.А. Лихошерстов, Е.В. Мануйлов, Е.Ю. Малова // Цемент и его применение. – 2012. – №3. – С. 53-57.*
 11. *ГОСТ 27006-2019 Бетоны. Правила подбора состава. – Взамен ГОСТ 27006-86. – Электрон. данные. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200165762> (дата обращения: 27.11.2020).*
 12. *ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2016. – 11 с.*
 13. *ГОСТ 24544-81. Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 26 с. – Электрон. данные. – URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/30214/> (дата обращения: 27.11.2020).*
 14. *Kuzel H.J. Hydratation of C_3A in the presence of $Ca(OH)_2$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ and $CaCO_3$ / H.J. Kuzel, H. Poellmann // Cement and Concrete Reserch. – 1991. – Vol. 21. – P. 885-895.*
 15. *Невиль А.М. Свойства бетонов / А.М. Невиль. – М.: Стройиздат, 1972. – 362 с.*

L I T E R A T U R A

1. *Rappoport P.B. Problemy dolgovechnosti cementnyh betonov / P.B. Rappoport i dr. // Stroitel'nye materialy. – 2011. – № 5. – S. 38-41.*
2. *Fedosov S.V. Sul'fatnaya korroziya betona / S.V. Fedosov, S.M. Bazanov. – М.: Izd-vo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2003. – 168 s.*
3. *Kozlova V.K. O vybore rezhimov tverdeniya dlya zhelezobetonnyh konstrukcij avtomobil'nyh mostov / V.K. Kozlova i dr. // Kachestvo, tekhnologii, innovacii: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Novosibirsk, 2020. – S. 382-388.*
4. *Andreev E.I. Osobennosti izgotovleniya betonnyh dorozhnyh elementov / E.I. Andreev // Sovremennye stroitel'nye materialy: sb.*

- statej. – Novosibirsk, 2000. – S. 65-69.
5. GOST R 55224-2012. *Cementy dlya transportnogo stroitel'stva. Tekhnicheskie usloviya.* – M.: Standartinform, 2013. – 7 s.
 6. Kozlova V.K. *Ispol'zovanie zol teplykh elektrostancij v proizvodstve stroitel'nykh materialov* / V.K. Kozlova. – Barnaul: Alt.kn. izd-vo. – 1975. – 144 s.
 7. Sarkisov YU.S. *Vliyanie karbonatnykh dobavok na usadochnye deformacii cementnogo kamnya* / YU.S. Sarkisov, V.K. Kozlova, E.V. Bozhok, E.YU. Malova, A.M. Manoha // *Tekhnika i tekhnologiya silikatov.* – 2018. – T. 25. – № 1. – S. 7-11.
 8. Vol'f A.V. *Analiz rezul'tatov obsledovanij mostovykh konstrukcij Altajskogo kraja* / A.V. Vol'f, V.K. Kozlova, K.A. Mahov // *Polzunovskij al'manah.* – 2017. – № 2. – S. 88-91.
 9. *Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu veshchestvennogo sostava betona.* – M.: FAU «Federal'nyj centr normirovaniya, standartizacii i ocenki sootvetstviya v stroitel'stve». – 2017. – 92 s.
 10. Kozlova V.K. *Vliyanie karbonatsoderzha-shchih dobavok na svojstva kompozicionnykh cementov* / V.K.Kozlova, A.M.Manoha, A.A. Lihosherstov, E.V. Manujlov, E.YU. Malova // *Cement i ego primenenie.* – 2012. – №3. – S. 53-57.
 11. GOST 27006-2019 *Betony. Pravila podbora sostava.* – Vzamen GOST 27006-86. – Elektron. dannye. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200165762> (data obrashcheniya: 27.11.2020).
 12. GOST 26633-2015. *Betony tyazhelye i melkozernistyje. Tekhnicheskie usloviya.* – M.: Standartinform, 2016. – 11 s.
 13. GOST 24544-81. *Betony. Metody opredeleniya deformacii usadki i polzuchesti.* – M.: Izdatel'stvo standartov, 1987. – 26 s. – Elektron. dannye. – URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/30214/> (data obrashcheniya: 27.11.2020).
 14. Kuzel H.J. *Hydratation of C3A in the presence of Ca(OH)₂, CaSO₄•2H₂O and CaCO₃* / H.J. Kuzel, H. Poellmann // *Cement and Concrete Reserch.* – 1991. – Vol. 21. – P. 885-895.
 15. Nevil' A.M. *Svojstva betonov* / A.M. Nevil'. – M.: Strojizdat, 1972. – 362 s.

.....
**METHOD FOR INCREASING THE DURABILITY OF BRIDGE
REINFORCED CONCRETE STRUCTURES DUE TO THE USE OF
CONCRETES RESISTANT TO CARBONIZATION**

*Doctor of Engineering, Professor V.K. Kozlova,
Ph. D. (Tech.) A.V. Wolf
(Polzunov Altai State Technical University),
Engineer V.O. Motuz,
Engineer E.V. Stroganov,
Engineer A.V. Kastyurin
(KGKU «Altayavtodor»)
Contact information: volf.anna@mail.ru*

The article deals with the results of the research by differential thermal and thermogravimetric analysis methods. The data obtained indicate the considerable proportions of carbon dioxide corrosion of cement stone during the service of concrete structures. It is shown that the process of carbonization of cement stone and concrete is accompanied by shrinkage deformations. The carbonization shrinkage of cement stone is 2.5 mm/m. The introduction of mineral and chemical additives into Portland cement composition results in a significant decrease in the carbonization shrinkage of cement stone to 0.5 mm/m and a reduction in the total shrinkage deformation to 0.65 mm/m. The introduction of complex carbonate-containing additives in the amount of 50-80 kg/m³ instead of part of the sand helps to reduce the shrinkage deformation of concrete: moisture shrinkage is 0.15 mm/m, carbonization shrinkage is 0.32 mm/m.

Key words: *bridge structures, concrete, concrete mix, Portland cement, durability, carbon dioxide corrosion.*

Рецензенты: канд. техн. наук М.И. Шейнцвит;
канд. техн. наук В.А. Селиверстов (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 27.03.2020 г.