

*В. Н. Зиновьев, А. А. Лизогуб, Н. Г. Ляхова
Г. Г. Ляхов, А. М. Цыганкова*

РАЗРУШЕНИЕ БЕТОНА

Описывается опыт определения реакционноспособного кремнезема в критическом количественном объеме в составе бетонной смеси. Индикаторный экспресс-метод опробован на конкретном примере. Наличие обнаруженного с помощью кобальтнитрита натрия $Na_3[Co(NO_2)_6]$ реакционноспособного кремнезема, который взаимодействует со щелочами калия (K) и натрия (Na), а также приводит к разрушениям в бетоне подтвердилось с помощью энергодисперсионного микроанализа на электронном микроскопе JEOL Jsm-6390 LV.

81

The interaction of concrete aggregates and cement alkalis can lead to serious, even catastrophic, destruction of concrete structures. We offer the results of our chemical analysis using a color test, which uses sodium cobalt nitrite $Na_3[Co(NO_2)_6]$.

Ключевые слова: разрушение бетона, бетонная смесь, реакционноспособный кремнезем, энергодисперсионный анализ.

Keywords: concrete destruction, concrete mix, reactive silica, energy-dispersive analysis.

К серьезным, даже катастрофическим разрушениям бетонных сооружений может приводить взаимодействие заполнителей бетона и щелочей цемента. Некоторые виды заполнителей, такие как реакционноспособный кремнезем, взаимодействуют с двумя щелочами калия (K) и натрия (Na) или солями этих металлов, которые привлекаются извне в форме хлорида натрия (NaCl) (противообледенительные реагенты, морская вода, морской туман) [1]. В результате реакции образуется «гель», который приобретает объем за счет присутствия влаги и создает силы, разламывающие бетон вокруг данных соединений.

Взаимодействие щелочей цемента и заполнителей бетона представляет собой вялотекущий гетерогенный процесс, поскольку он связан с составом заполнителей, которые содержат аморфный кремнезем (SiO_2). Вследствие протекающих реакций в подобных условиях образуются силикат натрия (Na_2SiO_3) и гидратированный калий (KOH), отличительной чертой которых является увеличение объема [1].

Результаты взаимодействия щелочей цемента и заполнителей бетона чаще всего проявляются в защитном слое бетона.



Внешние признаки

При внешнем осмотре на поверхности появляются микро- и макротрещины, начинается подрыв в виде «воронки», встречается вспучивание небольших (до 3–5 см в диаметре) участков бетона над областями, где имеется реакционноспособный кремнезем (рис. 1).

82

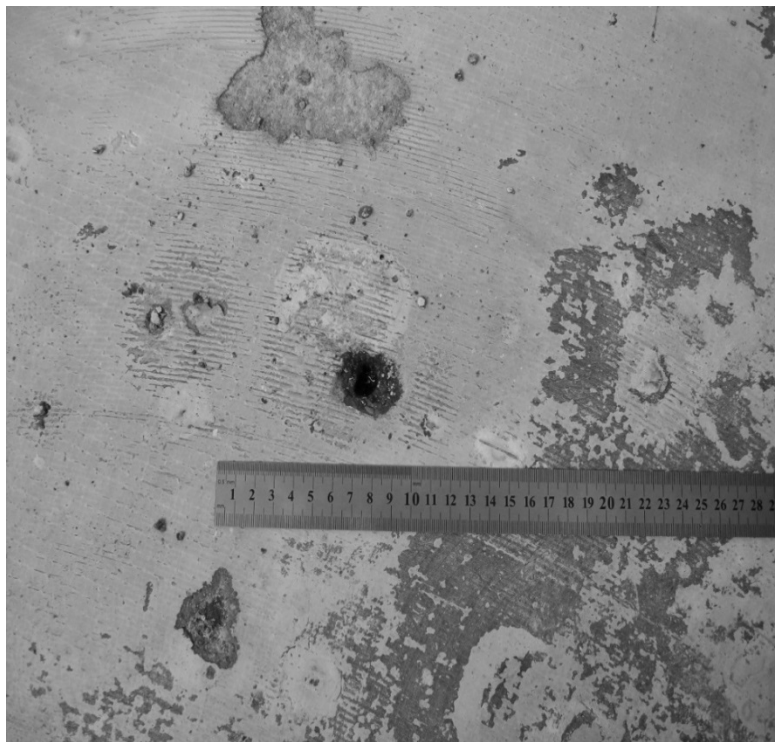


Рис. 1. Разрушение защитного слоя

Это часто встречающийся пример разрушения, вызванного взаимодействием заполнителей бетона и щелочей цемента. Скорость внутренней коррозии и вызываемых ею изменений структуры бетона зависит от различных временных условий, а также [3]:

- от содержания щелочей в цементе;
- вида реакционноспособных составляющих в заполнителях;
- качества (состава) бетона;
- толщины конструкций;
- температурно-влажностных условий;
- эксплуатации.

На сегодняшний день признаки взаимодействия заполнителей бетона и щелочей цемента можно выявить только методом визуального осмотра, не разрушая изделие. При этом глубина лунок, образовавшихся в результате растворения крупного заполнителя-гравия, местами может составлять до 15,4 мм (рис. 2).



Рис. 2. Глубина лунки, образовавшейся в результате химической коррозии бетона

Также визуально определяются многочисленные повсеместные локальные повреждения поверхности монолитной бетонной плиты в виде точечных дефектов и растрескивания бетона:

- набухания и отслоения с трещинами овальной формы;
- выколы, имеющие конусообразную форму, в вершине которой обнаруживаются зерна материала не только твердой, но и рыхлой, желеобразной (жидкой) консистенции различного цвета (от белого до темно-серого, переходящего в черный);
- влажность поверхности бетонного основания, ощущаемая при тактильном исследовании (однако поверхность бетонного ростверка остается сухой).

Внутренние (обязательные) признаки

Если произвести отбор кернов из тела представленной для опытов плиты, мы опять же визуально обнаружим:

- повреждения бетона (образовавшиеся от воздействия внутренних растягивающих напряжений, вызванных расширяющимся «гелем»), отмеченные на боковых поверхностях выбуренных из плиты кернов в виде поперечных и продольных трещин, разломов (в верхней, нижней и средней частях кернов);



- локальные вспучивания бетона;
- раковины, на порядок превосходящие по размеру поры, либо заполненные наполовину растворившимся крупным заполнителем-гравием, либо уже без него;
- следы черного цвета, оставленные «гелем» на боковых поверхностях бетонных кернов;
- нерастворенные зерна заполнителя в окружении темного (от серого до черного) «геля» (рис. 3, 4).

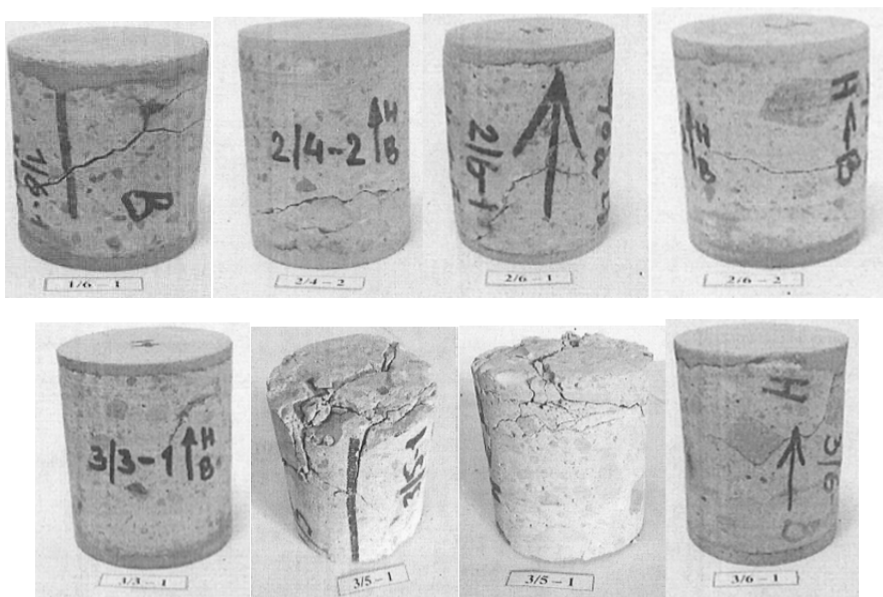


Рис. 3. Трещины на боковых поверхностях образцов-цилиндров и выпиленных кернов, подготовленных к испытаниям

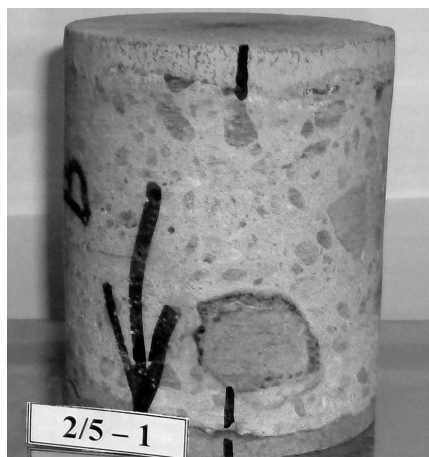


Рис. 4. Раковины в боковой поверхности образца-цилиндра (кern 2/5–1) с заполнителем, процесс растворения которого был остановлен в начальной стадии (темная маслянистая субстанция «гель» была вымыта при высверливании кернов)



Один из образцов-цилиндров (3/5–2), вырезанный из средней части керна 3/5, во время хранения в лабораторных условиях (в течение 6 суток) треснул и от его поверхности откололся кусок бетона вместе с цементно-песчаной торцевой пластинкой-постелью, обнажив раковину с частично растворившимся крупным заполнителем (левая часть рис. 5). Цвет частично растворившейся массы был буро-коричневым.

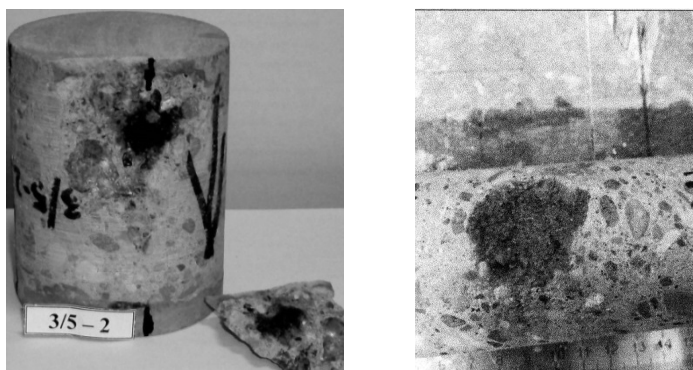


Рис. 5. Повреждения внутренней структуры бетона образца-цилиндра до испытаний (слева) и на боковой поверхности керна в виде раковины, заполненной не полностью растворившимся заполнителем, который частично был вымыт водой при высверливании керна (справа)

Инструментальное исследование

Для подтверждения наличия / отсутствия в пробе (керне) химических элементов K , Na , Ca , Si , входящих в состав щелоче-силикатного «геля», состоящего из силикатов щелочных металлов калия (K) и натрия (Na), а также кальция (Ca), входящего в состав силиката кальция ($K_2SiO_3 \cdot nH_2O$, $Na_2SiO_3 \cdot nH_2O$, $CaSiO_3 \cdot pH_2O$), проведен энергодисперсионный микроанализ на электронном микроскопе JEOL Jsm-6390 LV (рис. 6).



Рис. 6. Результаты энергодисперсионного микроанализа по каждому образцу автоматически фиксировались на дисплеях мониторов электронного микроскопа JEOL Jsm-6390 LV



Результат исследования показал наличие данной группы химических элементов (рис. 7).

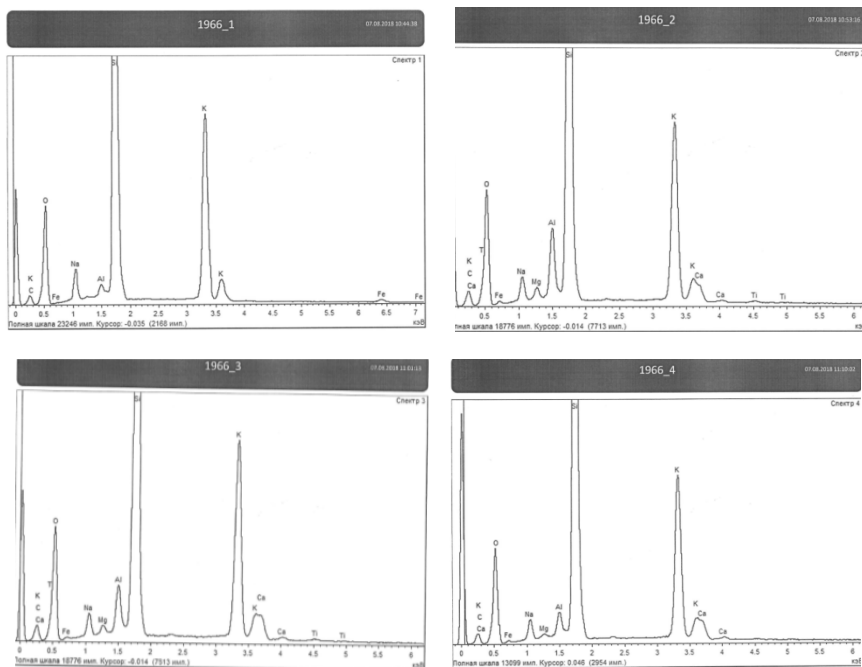


Рис. 7. Результаты энергодисперсионного микроанализа по каждому образцу: спектральный отчет

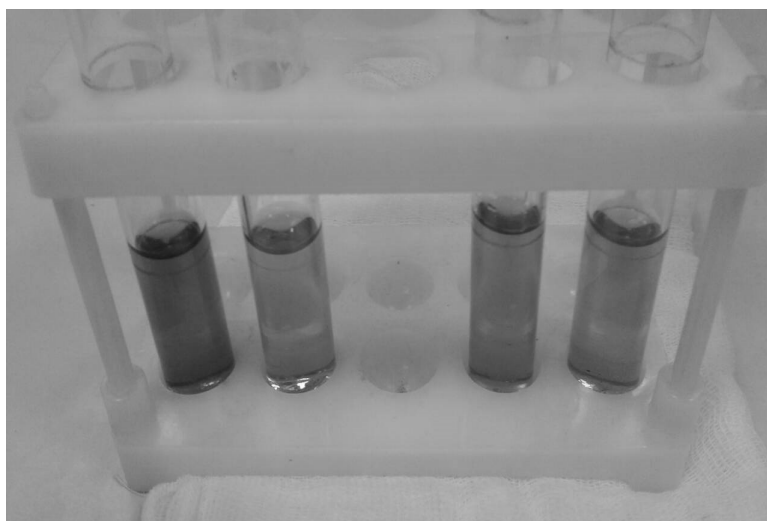
Однако визуальный контроль является интуитивным, а инструментальный — дорогостоящим. Мы предлагаем результаты химического анализа, проведенного нами при помощи цветного теста, в котором задействован кобальтнитрит натрия $Na_3[Co(NO_2)_6]$. Данный анализ является в большей степени индикаторным, но имеет преимущество в стоимости и времени исследования, а также не требует готового изделия. Он проводится на этапе подготовки бетонной смеси и может указать на наличие / отсутствие щелочных оксидов цемента ($Na_2O + K_2O$) и некоторых видов заполнителя, содержащего реакционноспособный растворимый кремнезем.

Кобальтнитрит натрия реагирует с калием, входящим в состав геля, в результате чего образуется осадок, окрашенный в желтый цвет, если имела место реакция.

Представим итоговый отчет о проделанной работе, исключив подготовку проб.

Опыт

С 29 по 30 июня 2018 г. был проведен опыт с образцами так называемого бетона с посторонними включениями и чистого образца. Для начала взяли 4 пробирки, в которых в 5 мл воды растворили небольшое количество реактива (натрий гексанитрокобальтат (III)) (рис. 8).



87

Рис. 8. Качество реакции со щелочью и солью калия

В пробирку №1 поместили небольшой кусочек бетона с «включениями» (по виду «смолы»), а в №5 — небольшой кусочек «чистого» бетона. В пробирках №2 и №4 выпал осадок.

На следующий день мы наблюдаем образовавшиеся осадки в пробирках без образца (№2 и №4) и с образцом (№1 и №5) (рис. 9).

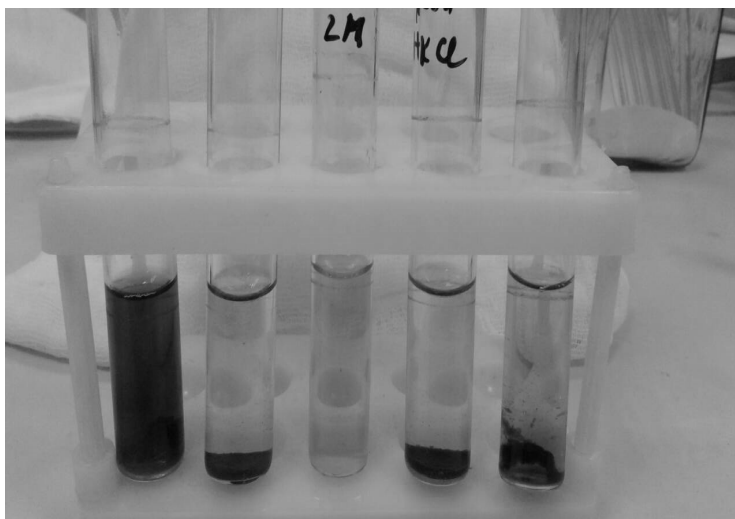


Рис. 9. В пробирках с образцами выпадает осадок

В результате проделанного опыта и зафиксированной качественной реакции в пробирках делаем следующие выводы:

— при добавлении в раствор воды с натрием гексанитрокобальтатом (III) раствора щелочи (KOH) выпадает осадок (пробирка №2);



– при добавлении в раствор воды с натрием гексанитрокобальтатом (III) раствора ($KOH +$ раствор соли калия KCl) выпадает осадок (пробирка №4);

– при помещении в пробирки с растворенным в воде натрием гексанитрокобальтатом (III) образцов выпадает осадок (пробирки №1 и №5).

С большой долей вероятности можно предположить, что в образцах присутствует элемент калий, так как произошла реакция раствора воды с натрием гексанитрокобальтатом (III) и образца бетона, в результате которой образовался осадок желтого цвета. Раствор натрия гексанитрокобальтата (III) прореагировал со щелочами цемента, содержащими калий.

Вывод

Необходимо строго контролировать содержание щелочей в цементах, а также наличие и объем реакционноспособных составляющих в заполнителях. Эти данные должны быть указаны в паспортах качества материалов.

Мы предлагаем рассмотреть результат нашего исследования как элемент неразрушающего контроля, позволяющего в будущем избежать дополнительных затрат по подготовке бетонных смесей и минимизировать упущенную выгоду от невозможности эксплуатации объекта, где применялась данная бетонная смесь, несмотря на соблюдение правил эксплуатации бетонной конструкции.

Список литературы

1. Рамачандан В., Фельдман Р., Бюодуэн Дж. Наука о бетоне. М., 1986.
2. Жуков Ю.А. Влияние гидроокиси кальция на развитие деструктивных процессов в бетоне при щелочной коррозии : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1972.
3. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона. Киев, 2004.

Об авторах

Владимир Николаевич Зиновьев – заместитель технического директора ОАО «Калининградпромпроект», Россия.
E-mail: GLyakhov@kantiana.ru

Анастасия Андреевна Лизогуб – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.
E-mail: AAERemenko@kantiana.ru

Наталья Германовна Ляхова – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.
E-mail: GLyakhov@kantiana.ru

Герман Геннадьевич Ляхов – ст. преп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.
E-mail: GLyakhov@kantiana.ru



Анна Михайловна Цыганкова – инженер-химик I категории, филиал АО «Интер РАО – электрогенерация» «Калининградская ТЭЦ-2».

E-mail: GLyakhov@kantiana.ru

The authors

Vladimir N. Zinoviev, Deputy Technical Director, Kaliningradpromproject OJSC, Russia.

E-mail: GLyakhov@kantiana.ru

Anastasia A. Lizogub, PhD Student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: AAEmenko@kantiana.ru

Natalya G. Lyahova, PhD Student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: GLyakhov@kantiana.ru

German G. Lyahov, Assistant Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: GLyakhov@kantiana.ru

Anna M. Tsygankova, Chemical, Central Chemical Laboratory, CHP-2, Russia.

E-mail: GLyakhov@kantiana.ru