

**ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС**

УДК 691.32 : 620.193/.199

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ (ПОКАЗАТЕЛЯ pH) ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОЙ ФРАКЦИИ БЕТОНА**

Обоснована необходимость определения и оценки показателя pH водной вытяжки цементного камня бетона. По результатам многолетних исследований карбонизации бетона, как сразу после изготовления, так и эксплуатируемых различные сроки в разных атмосферных условиях железобетонных элементов предложен экспресс-метод определения показателя pH водной вытяжки цементного камня цементно-песчаной фракции бетона. Приведены основные определения и общие положения экспресс-метода, подготовка к испытаниям и методика проведения испытаний.

**Введение.** Карбонизация бетона, вызывая его структурные изменения, приводит к деградации бетона и снижению его защитных свойств по отношению к стальной арматуре, способствует возникновению (в определенных условиях) стальной арматуры различной степени интенсивности. Развитие во времени коррозионных процессов в итоге приводит к потере несущей способности железобетонными элементами (ЖБЭ) и конструкциями (ЖБК), создавая аварийные ситуации [1].

При карбонизации бетона происходит образование карбонатов, количественно оцениваемое показателем КС (карбонатной составляющей). Их накопление вызывает изменение показателя pH (показателя водной вытяжки цементного камня), который, в свою очередь, является главной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты или другие продукты химического взаимодействия под воздействием агрессивности среды и основным показателем, определяющим состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре [2].

**Постановка задачи.** Исследование влияния карбонизации на состояние бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре необходимо выполнять на основе определения показателя pH, поскольку именно он является универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре.

**Основная часть.** В НИЛ «Диагностика, испытание и исследование строительных материалов и конструкций» им. проф. И. А. Кудрявцева Белорусского государственного университета транспорта на основании многолетних исследований карбонизации бетона как в зоне расположения стальной арматуры, так и по сечению эксплуатируемых ЖБЭ [2–9] для объективной оценки параметров карбонизации (показателя водной вытяжки цементного камня) разработан экспресс-метод определения показателя pH цементно-песчаной фракции бетона, представленный ниже.

**1 Общие положения.****1.1 Термины и определения.**

В экспресс-методе определения показателя водной вытяжки цементного камня в цементно-песчаной фракции бетона применены следующие термины с соответствующими определениями: единичная проба – проба бетона из обследуемого бетонного (железобетонного) элемента, конструкции, отбираемая в определенное время в одном месте, достаточная для проведения испыта-

ний; лабораторная проба – часть смешанной пробы, подготовленная посредством гомогенизации и уменьшения и предназначенная для приготовления средней аналитической пробы; смешанная проба – гомогенная смесь измельченной единичной пробы бетона, отобранной в определенное время в одном месте из одной железобетонной конструкции; средняя аналитическая проба – проба бетона, приготовленная из лабораторной пробы и предназначенная непосредственно для испытаний; титрованный раствор – раствор, приготовленный из стандарт-титра.

Остальные термины и определения приняты в соответствии с действующими нормативными документами.

**Методика определения.**

Показатель водной вытяжки цементного камня (показатель pH) характеризует щелочность поровой жидкости бетона.

Определение показателя pH водной вытяжки цементного камня (в дальнейшем показателя pH) в соответствии с настоящим методом основано на получении суспензии из средней аналитической пробы бетона и измерении показателя ее щелочности.

При проведении анализа пробы бетона массу навески в граммах определяют с точностью до 0,001 г, объемы, измеряемые бюреткой, – в сантиметрах кубических с точностью до 0,05 см<sup>3</sup>.

Концентрацию растворов выражают:

- массовой долей в процентах, численно равной массе вещества в граммах на 100 г раствора;
- молярной концентрацией вещества – эквивалента в молях на кубический дециметр раствора (Н);
- соотношением объемных частей, где первое число обозначает объемную часть концентрированной кислоты, второе – объемную часть воды.

**2 Средства измерений, испытательное оборудование, реактивы и материалы.****2.1 Средства измерений.**

Весы аналитические с ценой деления 0,0001 г, пределом взвешивания 200 г по ГОСТ 24104.

Весы лабораторные с ценой деления 0,01 и 1,0 г по ГОСТ 24104.

**2.2 Испытательное оборудование.**

Сушильный шкаф, обеспечивающий автоматическое регулирование температуры в диапазоне (105 ± 5) °С.

Сито с сеткой № 008 по ГОСТ 6613.

Колбы мерные с притертыми пробками вместимостью 100 см<sup>3</sup>, колбы круглодонные вместимостью

50 см<sup>3</sup> и стеклянные воронки диаметром 9–10 см по ГОСТ 25336.

Цилиндры вместимостью 10 и 25 см<sup>3</sup> по ГОСТ 1770.

Стеклянные стаканы для взвешивания с притертой крышкой.

Термометр ртутный с пределами измерения от 0 до 55 °С, ценой деления 0,5 °С.

Прибор для определения показателя водной вытяжки цементного камня (рисунок 1).



Рисунок 1 – Исследование образца цементно-песчаной фракции анализатором жидкости «ЭКСПЕРТ-001-1»

### 2.3 Реактивы и материалы.

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Стандарт-титры для приготовления образцовых буферных растворов 2-го разряда ГОСТ 8 135–2004 (типы 3, 4, 5).

## 3 Испытания.

### 3.1 Условия испытаний.

При проведении испытаний внешние воздействующие факторы не должны превышать значений:

- температура воздуха –  $(20 \pm 10)$  °С;
- относительная влажность воздуха –  $(75 \pm 10)$  %;
- точность поддержания в течение не менее 3 мин перед снятием отсчета –  $\pm 0,2$  °С;
- напряжение питающей сети –  $(220 \pm 22)$  В;
- частота питающей сети –  $(50 \pm 0,5)$  Гц.

### 3.2 Требования безопасности при проведении испытаний.

Лабораторные помещения, в которых выполняются испытания бетона, должны быть оборудованы вентиляционными системами по ГОСТ 12.4.021. При эксплуатации электроприборов, используемых в процессе анализа, должны выполняться требования электробезопасности согласно ГОСТ 12.1.019.

При применении в качестве реактивов токсичных (вредных) веществ следует руководствоваться требованиями безопасности, изложенными в нормативных документах на эти реактивы. Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны должна соответствовать гигиеническим регламентам, установленным ГОСТ 12.1.005 и СанПиН № 11-19.

Периодичность контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны устанавливается в зависимости от их класса опасности в соответствии с п. 3.2.6 СанПиН № 11-19.

Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны выполняют по методикам, входящим в Перечень методик, утвержденный Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь и согласованный Госстандартом Республики Беларусь 10 сентября 2002 г.

При работе с вредными веществами должны быть соблюдены правила безопасности, действующие в химических лабораториях. При этом следует применять индивидуальные средства защиты (респираторы) по ГОСТ 12.4.011 или ГОСТ 12.4.028, резиновые перчатки по ГОСТ 12.4.103, одежду по ГОСТ 27652, ГОСТ 27654, ГОСТ 29057 и ГОСТ 29058.

### 3.3 Подготовка к испытаниям.

#### 3.3.1 Приготовление реактивов.

Буферные растворы приготавливаются из реактивов квалификации для рН-метрии.

Для приготовления буферных растворов применяется дистиллированная вода, прокипяченная в течение 30–40 мин для удаления растворенной углекислоты.

Буферный раствор готовят из стандарт-титра в следующем порядке:

- в стандарт-титре, выполненном в виде запаянной стеклянной колбочки и содержащем требуемое количество соответствующего буфера (0,01–0,1 моль/кг), пробивается отверстие с помощью специального ударника;
- содержимое выливается в мерную колбу на 1000 мл и доводится до метки дистиллированной водой.

Тип буфера и его количество выбирается в зависимости от требуемого для настройки прибора значения рН и температуры по ГОСТ 8.134–98.

#### 3.3.2 Подготовка электродов к работе.

Подготовка электродов к работе производится в соответствии с рекомендациями, изложенными в паспортах на соответствующие электроды.

Во избежание образования кристаллов КСl в полости (вспомогательных) электродов при работе и хранении необходимо следить, чтобы электролитический ключ находился в растворе и уровень раствора КСl в полости электрода был выше уровня контрольного раствора.

#### 3.3.3 Настройка рН-метров по буферным растворам.

Настройку рН-метра для работы в растворах с постоянной температурой производится по буферным растворам ГОСТ 8.134–98, имеющим эту же температуру.

Рекомендуется следующий порядок настройки рН-метра по двум буферным растворам с температурой, близкой к температуре анализируемой среды:

- 1) выбирается род температурной компенсации:
  - при ручной термокомпенсации устанавливается значение температуры буферного раствора; измеренной стеклянным термометром с ценой деления не более 0,5 °С,
  - при автоматической термокомпенсации температура раствора должна измеряться с точностью до 1 °С,
- 2) электроды погружаются в первый буферный раствор с температурой  $t$  (величина рН этого буферного раствора при 20 °С равна 4,001 рН ГОСТ 4.134–98) и вращая ручку резистора «БУФЕР» устанавливается на индикаторе значение, равное значению рН при температуре  $t$ ,

– электрод промывается дистиллированной водой, осушивается фильтровальной бумагой и погружается во второй буферный раствор с температурой  $t$  (величина рН этого буферного раствора при 20 °С должна быть близка к началу (концу) диапазона измерения анализируемых растворов);

– при вращении ручки резистора  $S$  устанавливается на индикаторе значение, равное значению рН буферного раствора при данной температуре  $t$ .

#### 3.3.4 Отбор образцов бетона и подготовка пробы.

Для определения показателя рН водной вытяжки цементного камня бетона используют среднюю аналити-

ческую пробу бетона, приготовленную из образцов-кернов, отобранных по ГОСТ 28570 из эксплуатируемых бетонных и железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) образцов-сколов, образующихся при определении прочности бетона на сжатие конструкций по ГОСТ 22690, а также образцов, отобранных другими способами.

Для анализа отбирают пробы защитного слоя бетона в зоне расположения арматуры, а также порошки, получаемые выбуриванием по сечению ЖБЭ и ЖБК до глубины 100 мм и кубов сеч. 100×100×100 мм до глубины 50 мм. Отбор образцов производят при проведении обследований ЖБЭ и ЖБК. Предварительно бетонная поверхность должна быть тщательно очищена от всякого рода загрязнений, штукатурного слоя, краски и, при наличии, слоя ремонтного материала.

В отобранных образцах отделяют слой бетона толщиной ≈10 мм. Отделенные фрагменты защитного слоя объединяют в единичную пробу. Количество отбираемых единичных проб определяют в зависимости от вида и эксплуатационного состояния элементов и конструкций.

Перед проведением испытания единичную пробу бетона измельчают в фарфоровой ступке ударами, не растирая, и отделяют крупный наполнитель. Из измельченной единичной пробы бетона формируют смешанную пробу, которую квартованием сокращают до лабораторной пробы массой (10±2) г.

Лабораторную пробу высушивают при температуре (105±5) °С до влажности (1,5±0,5) %, дополнительно измельчают в фарфоровой или агатовой ступке для отделения цементного камня от наполнителя и формируют из нее для анализа среднюю аналитическую пробу массой 0,5±0,005 г путем просеивания через сито с сеткой № 01 по ГОСТ 6613.

Подготовленную среднюю аналитическую пробу хранят в стеклянном стакане для взвешивания с притертой крышкой – для защиты от воздействия окружающей среды.

### 3.4 Проведение испытаний.

Перед отбором навески подготовленную среднюю аналитическую пробу бетона, помещенную в стеклянный стакан для взвешивания, гомогенизируют и высушивают в сушильном шкафу при температуре (105±5) °С до постоянной массы, после чего охлаждают в эксикаторе над хлоридом кальция.

Постоянство массы считается достигнутым, если разница между двумя последовательными взвешиваниями не превышает 0,0004 г. Если при повторном взвешивании масса навески увеличивается, то для расчета применяют массу, предшествующую ее увеличению. При этом первое взвешивание осуществляют через 1,5–2 ч.

Допускается проводить анализ из воздушно-сухой навески с последующим пересчетом на навеску, высушенную до постоянной массы (сухую). Массу сухой навески  $m$ , г, вычисляют по формуле

$$m = m_0(100 - W) / 100, \quad (1)$$

где  $m_0$  – масса навески в воздушно-сухом состоянии, г;  $W$  – массовая доля влаги в навеске, определенная по ГОСТ 5382.

Из высушенной до постоянной массы (воздушно-сухой) средней аналитической пробы бетона отбирают навеску массой 0,5±0,005 г.

Собирают прибор для определения показателя рН цементно-песчаной фракции (см. рисунок 1).

В мерную колбу вместимостью 50 см<sup>3</sup> засыпается навеска исследуемого порошка массой 2,5 г и заливается дистиллированной водой до метки.

Полученная суспензия выстаивается в течение 1 ч при постоянном перемешивании через 10–15 мин.

В стеклянный стакан вместимостью 50 см<sup>3</sup> заливается 30 см<sup>3</sup> исследуемого раствора водной вытяжки.

В контролируемый раствор погружаются электроды. Перед погружением электроды промываются дистиллированной водой, остатки воды с электрода удаляются фильтровальной бумагой.

Значения показателя рН фиксируются после 3 мин выдержки индикаторного электрода в растворе.

Замеры производятся на неотфильтрованных растворах.

За результат анализа принимают среднее арифметическое значение двух определений, выраженное в процентах с точностью до ±1 %.

Допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 2 %. При большем расхождении проводят повторное определение.

Настоящая методика определения показателя рН водной вытяжки цементного камня обеспечивает получение результатов испытаний с точностью ±1 %, что является достаточным, так как при отборе для анализа образцов в порошкообразном состоянии ошибка может достигать 3 % за счет вероятностного характера распределения карбонизированного цементного камня в смеси с песком.

Преимущество методики – в скорости проведения анализа при достаточной для практических целей точности.

Граничные критерии полученных результатов и использование экспресс-метода приведены в [4].

**Заключение.** Экспресс-метод определения показателя рН водной вытяжки цементного камня цементно-песчаной фракции бетона позволяет исследовать карбонизацию, практически не разрушая бетон ЖБЭ и ЖБК. Преимущество предлагаемого метода – быстрота проведения анализа при достаточной для практических целей точности.

На основании предлагаемого экспресс-метода определения показателя рН водной вытяжки цементного камня цементно-песчаной фракции бетона, а также экспресс-метода определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона [10] необходимо создавать нормативный документ либо вводить экспресс-методы в существующие нормативные документы, связанные с обследованием ЖБЭ (ЖБК) и диагностикой их технического состояния.

### Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Техническое обследование строительных объектов (с электронным приложением) : учеб. / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 429 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-R).
- 2 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 3 Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.

4 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

5 Неразрушающие методы оценки и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах : практ. пособие / Т. М. Пецольд [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 146 с.

6 **Васильев, А. А.** Совершенствование методов оценки технического состояния железобетонных элементов, эксплуатирующихся в условиях атмосферной агрессии / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2012. – № 2 (41). – С. 21–28.

7 **Васильев, А. А.** Физический анализ бетона (рН-метрия) – основа оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре / А. А. Васильев, Л. В. Пликус //

Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, 2014. – № 1 (28). – С. 73–76.

8 **Васильев, А. А.** К вопросу объективности современной оценки и прогнозирования карбонизации бетона на основе индикаторного метода / А. А. Васильев // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2020. – № 1. – С. 77–80.

9 **Васильев, А. А.** Исследование различными методами распределения физико-химических показателей бетона по сечению железобетонных элементов / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, 2020. – № 1 (40). – С. 51–53.

10 **Васильев, А. А.** Экспресс-метод определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, 2021. – № 1 (42). – С. 94–97.

Получено 23.09.2021

**A. A. Vasilyev.** Express method of determination of cement stone water drawing index (pH index) of cement-sand fraction of concrete.

The necessity of determining and estimating the pH of concrete cement stone water drawing is justified. Based on the results of long-term studies of concrete carbonation, both immediately after manufacture and in operation, various terms in atmospheric conditions of reinforced concrete elements, an express method was proposed to determine the pH of water drawing of cement stone of cement and sand fraction of concrete. The main definitions and general provisions of the express method, preparation for tests and the test procedure are given.