

6. A fast and accurate method for the determination of precious / M. Corsi [et. al.] // Appl. Spectrosc. – 2000. – P. 41 – 47.
7. Quantitative analysis of alloys and glasses by a calibration-free method using laser-induced breakdown spectroscopy / V.S. Burakov, S.N. Raikov // Spectrochimica Acta. – 2007. – part. B. – P. 217 – 223.

УДК 666.972.69

**Бондарович А.И.; Батяновский Э.И., д-р техн. наук, проф.**  
(БНТУ, г. Минск)

### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ «ОСТАТОЧНОЙ» МОРОЗОСТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА ЭЛЕМЕНТОВ БЛАГОУСТРОЙСТВА**

**Состояние проблемы.** Для оценки морозостойкости бетона (кроме стандартных и ускоренных методов ее определения) существуют немногочисленные предложения в виде математических зависимостей для теоретического расчета ее значений. Методики определения состояния бетона в эксплуатируемых покрытиях (например, тротуаров) отсутствуют. Вместе с тем, оценка фактического состояния бетона, определение его «остаточной» морозостойкости и долговечности покрытий позволяет системно планировать их эксплуатацию и ремонт.

Обобщая разнообразные гипотезы [1 – 9], включая основы теории миграции влаги в пористых телах [6, 7], констатируем, что механизм нарушения структуры бетона, подвергаемого попеременному замораживанию и оттаиванию в насыщенном водой состоянии, чрезвычайно сложен. Он представляет собой сочетание разнообразных деструктивных факторов, разрушающее действие которых в реальных условиях эксплуатации «твердых» покрытий дополняются механическими нагрузками на бетон: сжатие, изгиб, ударные воздействия, истирание и пр. Поэтому оценка и прогнозирование морозостойкости бетона (в частности, элементов благоустройства) представляет собой чрезвычайно сложную задачу. Для ее решения в научно-технической литературе представлены немногочисленные предложения, наиболее значимыми из которых являются методика Г.И. Горчакова [1]; более сложное по математическим зависимостям и методике предложение, составившее основу структурно-механического метода ускоренного ГОСТ 10060.4-95 определения морозостойкости бетона (проверка этого метода, выполненная в БНТУ, в сравнительных испытаниях с ГОСТ 10060.0...2-95 показала серьезный уровень расхождения данных, соста-

вивший в некоторых случаях величину до 50 %); в РУП БелНИИС разрабатывается метод, сочетающий аналитический расчет (включает более 20 формул) и измерение деформаций предварительно замороженного образца бетона в период его оттаивания (по существу этот метод (с рядом изменений) основывается на результатах работ Горчакова Г.И., выполненных в 50 – 60 -х годах прошлого века, на базе которых в ГОСТ 10060.3-95 зафиксирована методика дилатометрического метода ускоренного определения морозостойкости при однократном замораживании образцов бетона и фиксации их деформаций по ходу процесса); методика и математическая зависимость, отражающая взаимосвязь морозостойкости с составом бетона, качеством цемента, степенью его гидратации (в зависимости от условий твердения) и с рядом других факторов, для оценки морозостойкости бетона на стадии изготовления изделий (конструкций), обоснованная в работах В.В. Бабицкого [10].

Как следует из изложенного, все эти предложения позволяют ориентироваться в оценке вероятной морозостойкости бетона, как исходного материала, но не обеспечивают возможности контроля морозостойкости и долговечности эксплуатируемых изделий.

**Методика оценки и прогнозирования долговечности бетона элементов благоустройства, основные положения** которой изложены в настоящем материале, разработана кафедрой технологии бетона и строительных материалов и ее научно-исследовательской и испытательной лабораторией бетонов и строительных материалов. Она предназначена для контроля состояния бетона эксплуатируемых тротуарных покрытий, оценки и прогноза их «остаточной» долговечности и включает следующие основные положения и выполняемые операции.

**Оценивают фактическое состояние бетона** элементов благоустройства (покрытий) включая: а) установление вида бетона (мелкозернистый или с крупным заполнителем); б) выделение контролируемых участков покрытия; в) определение влажности бетона элементов благоустройства контролируемых участков (диэлектрический метод или высушивание); г) определение скорости ультразвука в бетоне элементов благоустройства контролируемых участков; д) визуальную оценку состояния рабочей поверхности элементов благоустройства контролируемых участков и фиксацию данных о состоянии бетона элементов благоустройства.

**Используя установленные величины** средних значений влажности бетона ( $W_{mi}$ , %) и скорости ультразвука ( $V_{yul}$ ), полученные по результатам обследования контролируемых участков покрытия, и данные рисунков 1 и 2 (приведены для мелкозернистого бетона; разработаны и для бетона со щебнем), для каждого контролируемого участка определяют область веро-

ятных значений скорости ультразвука и стадию, на которой находится бетон по состоянию его структуры.

Прогнозирование ожидаемой долговечности бетона осуществляют с учетом его «остаточной» морозостойкости ( $F_{ост}$ ) и среднестатистических данных о ежегодном количестве циклов попеременного замораживания-оттаивания бетона элементов благоустройства при их эксплуатации.

Для этого по изложенной методике оценивают состояние бетона контролируемого участка (участков) покрытия и определяют величину  $N_{фактi}$ . По величине  $N_{фактi}$  каждого контролируемого участка покрытия определяют стандартизированную «остаточную» морозостойкость бетона  $F_{остi}$ , как разницу между нормируемым ее значением для бетона плит тротуаров или камней бортовых, принимаемым по данной методике F250, или фактическим (документально должным образом подтвержденным) данным по морозостойкости.

Оценивают стандартизированную остаточную морозостойкость бетона  $i$ -го контролируемого участка по зависимости:  $F_{остi} = 250 - N_{фактi}$ .

Ожидаемая долговечность бетона ( $D_i$ ), оцениваемая стандартными циклами испытаний бетона дорожных покрытий по базовому методу ГОСТ 10060.2-95, будет соответствовать величине остаточного количества циклов, т.е.  $F_{остi}$ . Для оценки вероятной ожидаемой долговечности ( $D_i^*$ ) эксплуатации покрытий целесообразно исходить не из стандартных 250 циклов испытаний, а из 400 циклов (после которых бетон мелкозернистый ( $W_m^{нов} < 5\%$ ) согласно полученным в настоящих исследованиях данным сохраняет прочность на сжатие на уровне  $\geq 30$  МПа, а бетон ( $W_m^{нов} < 4,5\%$ ) со щебнем  $\geq 35$  МПа при потерях массы не более 5 %) и расчет остаточной морозостойкости бетона ведут по зависимости:  $F_{остi}^* = 400 - N_{фактi}$ .

Для дальнейших расчетов по данной методике вводим понятие «приведенных циклов» ( $N_{пр}$ ), определяя их среднегодовое количество для климатической зоны Беларуси, равным:  $N_{пр}^{год} = 12,5 \dots 25$ , циклам испытаний по базовому для бетонов дорожных покрытий методу по ГОСТ 10060.2-95.

В расчетах для бетона на стадии I (упрочения и стабильности структуры) принимают:  $N_{пр}^{год} = 12,5$  циклов, для покрытий пешеходных тротуаров, эксплуатируемых без транспортных и иных механических нагрузок;  $N_{пр}^{год} = 25$  циклам, для бетона на стадии II (разуплотнения структуры), в также для покрытий, например, с регулярным движением транспорта, при регулярной уборке снега и льда скалыванием (ударные нагрузки); допускается устанавливать промежуточные значения в зависимости от фактической интенсивности механических воздействий, включая движение транспортных средств.

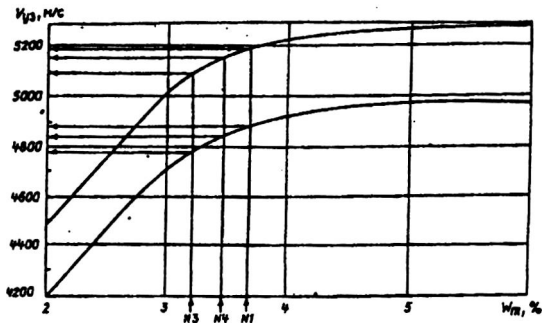


Рис. 1. Область вероятных значений скорости ультразвука ( $V_m$  м/с) – стадия 1

53

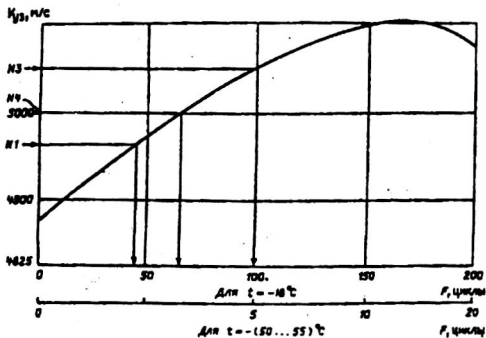


Рис. 3. Зависимость «скорость ультразвука морозостойкость» (циклы) – стадия 1

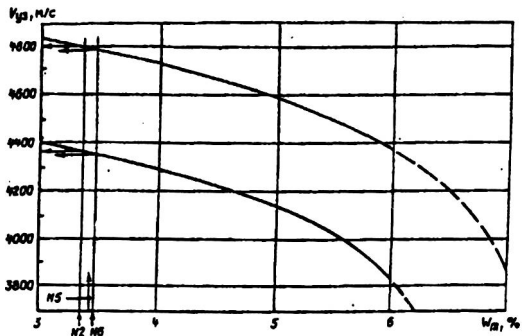


Рис. 2. Область вероятных значений скорости ультразвука ( $V_m$  м/с) – стадия 2

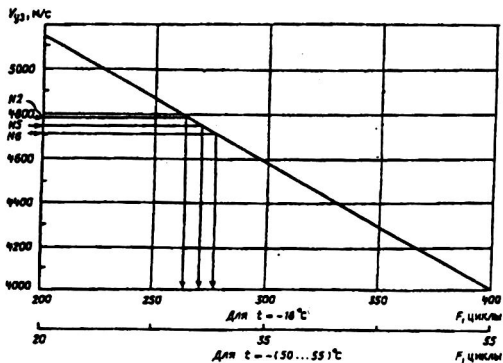


Рис. 4. Зависимость «скорость ультразвука – морозостойкость» (циклы) – стадия 2

Ожидаемую долговечность бетона ( $D_i$ , год), оценивают по приведенным циклам и рассчитывают по зависимостям

$$D_i \sim F_{ост} / N_{пр}^{зод}, \quad (1)$$

$$\text{или } D_i^* \sim F_{ост}^* / N_{пр}^{зод}. \quad (2)$$

*Анализ полученных результатов обследования покрытия* выполняется после обработки данных замеров по отдельным контролируемым участкам, осуществления оценки фактического состояния бетона и расчета (при необходимости) вероятной долговечности бетона элементов благоустройства обследуемого покрытия или его участков с учетом конкретных эксплуатационных условий, включая наличие или отсутствие механических нагрузок. Дается оценка состояния покрытия в целом или его отдельных участков. При необходимости планируются мероприятия и сроки по ремонту покрытия и объемам ремонта

### Литература

1. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г.И. Горчаков, М.М. Капкин, Б.Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965.
2. Попов, Н.Д. К вопросу об усталости бетона при многократных циклах чередующихся воздействий окружающей среды / Н.Д. Попов, В.А. Невский // Тр. МИСИ им. В.В. Куйбышева. – М., 1957. – № 15.
3. Москвин, В.М. Морозостойкость бетона в напряженном состоянии / В.М. Москвин, А.М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 1960. – № 2.
4. Шестоперов, С.В. Цементный бетон в дорожном строительстве / С.В. Шестоперов [и др.]. – М.: Дориздат, 1950.
5. Стольников, В.В. Исследования по гидротехническому бетону / В.В. Стольников. – М.: – Л.: Госэнергоиздат, 1953.
6. Цыгович, Н.А. Основания механики мерзлых грунтов / Н.А. Цыгович, М.И. Сумгин. – М.: Изд. АН СССР, 1937.
7. Лыков, А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки / А.В. Лыков. – М.: – Л.: Госэнергоиздат, 1956.
8. Collins, A. The destruction of concrete by frost, Institute of Civil Engineers / A. Collins. – 1944.
9. Powers, T. A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete // J. Am. Coner. Inst. – 1945. – № 4.
10. Бабицкий, В.В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона: дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Бабицкий; БНТУ. – Минск, 2005.