

## Методика ускоренного определения морозостойкости

Ловков И.И., Фетисова Е.С.

Научный руководитель – Бондарович А.И.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Условия эксплуатации элементов благоустройства наших поселений (тротуаров, площадей, переходов и т.п.), устроенных преимущественно из бетонных изделий, изготовленных способом вибропрессования, характеризуются агрессивным воздействием эксплуатационной среды. При этом для Республики Беларусь характерно широкое использование в зимний период антиобледенителей в виде солей хлора. Кроме этого, физико-химическое воздействие эксплуатационной среды дополняется механическими нагрузками: истиранием, ударным воздействием, нагрузками от массы при перемещении технических средств, в том числе при уборке тротуаров и площадей, и пр., что не учитывается при стандартизированной оценке морозостойкости бетона.

Для разработки методики оценки фактического состояния бетона эксплуатируемых покрытий из элементов мощения были проведены опыты, которые установили закономерности изменений прочности, массы образцов, скорости распространения в них ультразвука, истираемости мелкозернистого бетона и бетона со щебнем в зависимости от продолжительности циклических испытаний и дополнительного воздействия статической и динамической (ударной) нагрузкой на бетон.

Методика распространяется на элементы, изготовленные из жестких цементно-песчаных смесей (мелкозернистый бетон средней плотностью 2250...2350 кг/м<sup>3</sup>, прочностью на сжатие не менее 35 МПа) и цементно-песчано-щебеночных смесей (бетон с крупным заполнителем средней плотностью 2350...2450 кг/м<sup>3</sup>, прочностью на сжатие не менее 40 МПа) с наибольшим размером зерен заполнителя  $D_{наиб.} = 10...12$  мм и содержанием крупного заполнителя до 800 кг в 1 м<sup>3</sup> бетона. Методика может быть применена для контроля, оценки и прогнозирования состояния

бетона элементов, отличающихся составом или технологией их получения, с учетом поправочных коэффициентов, установленных для конкретных отличий в составах бетона и влияния их, а также отличий технологии изготовления изделий на свойства бетона.

Методика включает этапы подготовки образцов (изделий) бетона, определение влажности бетона, определение скорости ультразвука, оценку показателя морозостойкости бетона (рисунок 1.(а;б;в;г); рисунок 2.(а;б;в;г)). Образцы отбирают из контролируемых участков покрытия сериями не менее 5 шт. После изъятия из покрытия образцы следует хранить в условиях, предотвращающих испарение влаги, при рекомендуемой температуре воздуха 0...+5 °С (но в любом случае при минимально-возможной положительной). Рекомендуется немедленно после изъятия помещать их в индивидуальные влагоизолирующие пакеты, например, из полиэтиленовой пленки, плотно укрывая поверхность от потерь влаги на период от момента изъятия до начала испытаний.

Контроль состояния бетона образцов рекомендуется осуществлять с минимальным разрывом во времени между их отбором и определением влажности бетона и скорости ультразвука. При изъятии образцов в сухую погоду их (перед определением влажности бетона и скорости ультразвука) водонасыщают по ГОСТ 12730.2-78.

Подготовка образцов (изделий) включает:

- установление вида бетона (мелкозернистый или с крупным заполнителем) осуществляют визуальной оценкой поверхности элементов на наличие характерных для бетона со щебнем «выходов» последнего наружу в поверхностном слое, либо вскрытием (при необходимости) структуры бетона, образцов подвергаемых испытаниям по грани, противоположной их рабочей поверхности, после съема данных о влажности и скорости ультразвука;

- насыщение бетона в 5%-ом растворе NaCl(или в воде) по ГОСТ 10060.0-95.

Поверхность элементов перед выполнением определений влажности и скорости ультразвука должна быть очищена, вклю-

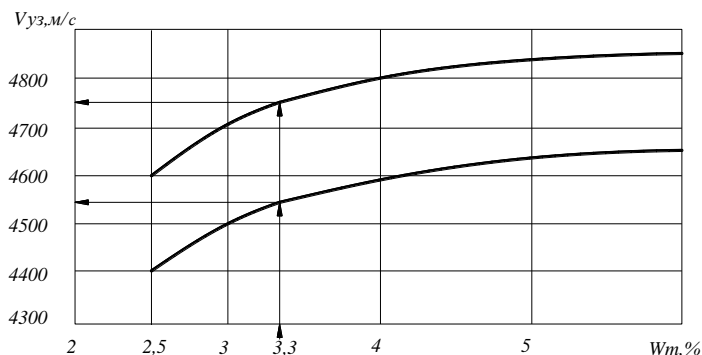
чая возможные остатки продуктов разрушения цементного камня поверхностного слоя бетона и воды. Поверхность бетона может быть влажной, но не должна быть покрыта жидкостью.

Для определения влажности бетона датчик прибора устанавливается на гладкую поверхность элемента, примерно по его геометрическому центру (по продольной оси «вытянутых» элементов). Измерение осуществляют с помощью влагомеров с планарными датчиками для контроля влажности с поверхности (прилегающего к ней слоя бетона), базирующихся на диэлектрическом методе ее измерения (ГОСТ 21718-84); как среднее значение не менее, чем 4-х замеров по граням в центральной части образцов.

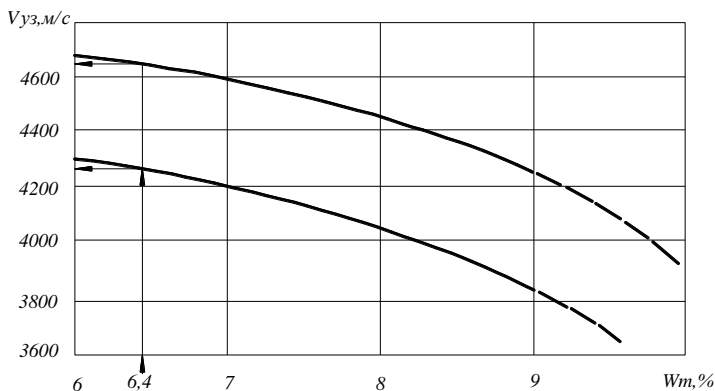
Скорость ультразвука в бетоне определяют с помощью тестеров ультразвуковых, оснащенных датчиками «точечного» приложения с базой (межосевым расстоянием) в 150 мм и измеряющего скорость распространения продольных ультразвуковых волн в слое бетона, прилегающем к поверхности элемента. Возможно использование иных приборов-аналогов, оттарированных в соответствии с паспортной документацией на прибор и положениями ГОСТ 17624-87; как среднее значение не менее, чем 4-х замеров по граням в центральной части образцов. Допускается определять влажность бетона элементов высушиванием по ГОСТ 12730.2-78, но только после определения скорости ультразвука.

Число результативных замеров для определения средней влажности бетона и скорости ультразвука в нем по каждому контролируемому участку должно быть не менее пяти. Под результативными замерами следует понимать такие их значения, которые не отклоняются в большую или меньшую сторону более чем на 5 % при определении влажности бетона и более чем на 10 % при определении скорости ультразвука от среднеарифметических значений этих характеристик, установленных по остальным, но не менее чем по 5 замерам. Эти значения влажности бетона и скорости ультразвука в бетоне являются средними для контролируемого участка и используются в последующих расчетах.

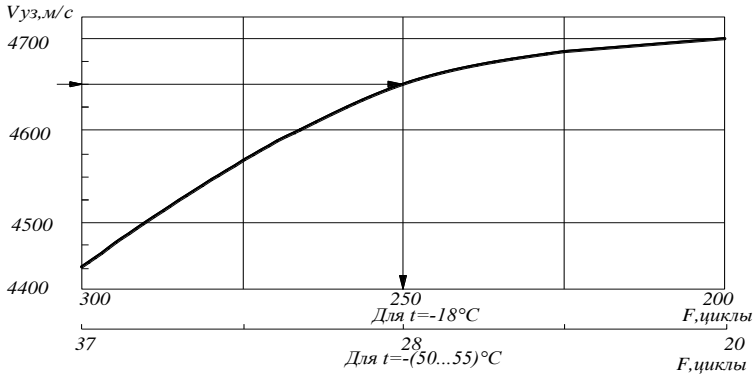
Оценку показателя морозостойкости бетона выполняют, используя установленные величины средних значений влажности бетона ( $W_{mi}$ , %) и скорости ультразвука, полученные по результатам замеров на требуемом по ГОСТ 10060.0-95 количестве образцов, и данные рисунка 1. (а; б; в; г) - для мелкозернистого бетона, и рисунка 2. (а; б; в; г) – для бетона с крупным заполнителем. По ним определяют область установленных значений скорости ультразвука и стадию, к которой относится испытываемый бетон по состоянию его структуры.



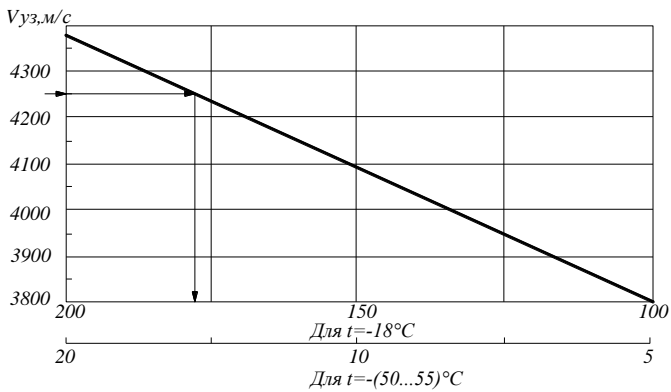
а) Область установленных значений скорости ультразвука ( $V_{уз}$  м/с) мелкозернистого бетона в зависимости от влажности ( $W_m$ , %) на стадии I .



б) Область установленных значений скорости ультразвука ( $V_{уз}$  м/с) мелкозернистого бетона в зависимости от влажности ( $W_m$ , %) на стадии II

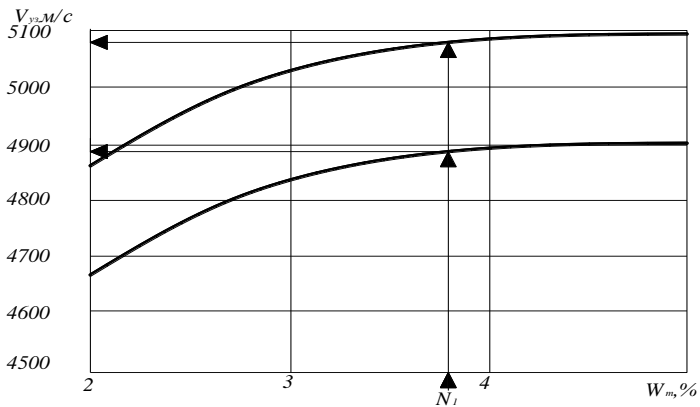


в) Зависимость «скорость ультразвука - морозостойкость» (циклы) для мелкозернистого бетона на стадии I

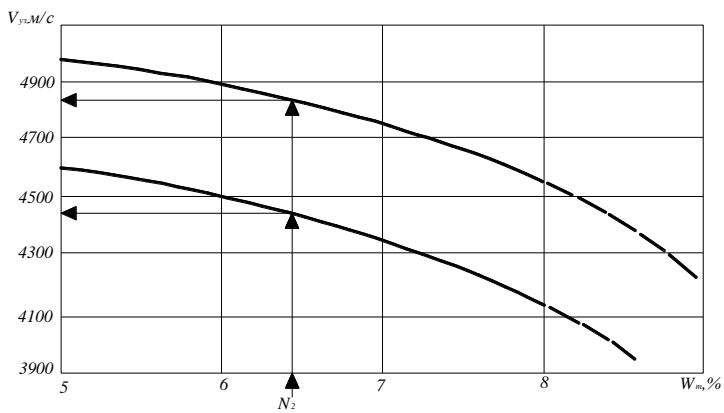


г) Зависимость «скорость ультразвука - морозостойкость» (циклы) для мелкозернистого бетона на стадии II.

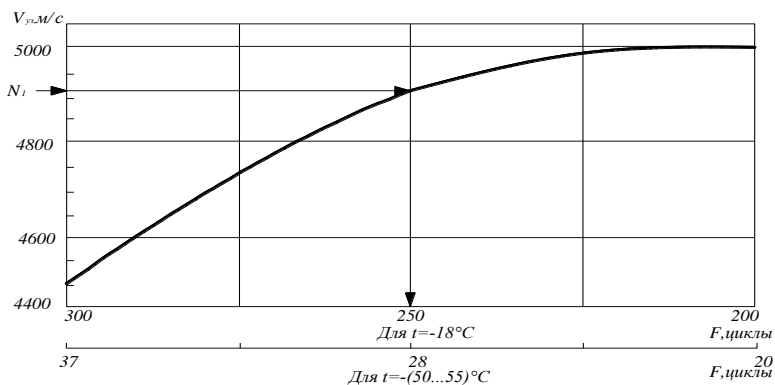
Рисунок 1 – Графические зависимости для оценки морозостойкости вибропрессованного мелкозернистого бетона



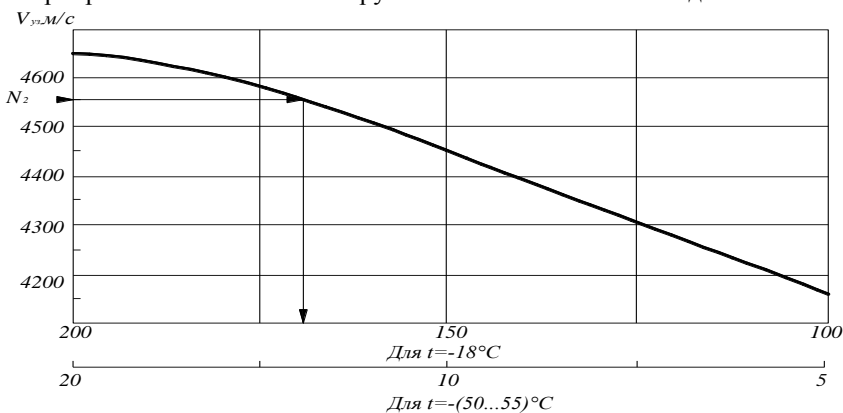
а) Область установленных значений скорости ультразвука ( $V_{yз}$  м/с) вибропрессованного бетона с крупным заполнителем в зависимости от влажности ( $W_m$ , %) на стадии I.



б) Область установленных значений скорости ультразвука ( $V_{yз}$  м/с) вибропрессованного бетона с КЗ в зависимости от влажности ( $W_m$ , %) на стадии II.



в) Зависимость «скорость ультразвука - морозостойкость» (циклы) для вибропрессованного бетона с крупным заполнителем на стадии I.



г) Зависимость «скорость ультразвука - морозостойкость» (циклы) для вибропрессованного бетона с КЗ на стадии II.

Рисунок 2 - Графические зависимости для оценки морозостойкости вибропрессованного бетона с крупным заполнителем

В настоящей методике стадия I характеризует бетон требуемой плотности, удовлетворяющей требованиям действующих

нормативов по водопоглощению бетона. То есть, объем капиллярной (открытой, сообщающейся) пористости определяемый по водопоглощению по массе бетона мелкозернистого менее 6%, а для бетона с крупным заполнителем - менее 5%. Стадия II характеризует бетон, водопоглощение по массе которого превышает указанные значения.

Для этого вначале возводят перпендикуляр от полученного значения водопоглощения бетона на горизонтальной оси  $W_{mi}$  до пересечения с нижней и верхней границей области установленных, соответственно, наименьшего и наибольшего значений (обозначенных на рисунке 1.а (2.а) и 1.б (2.б) сплошными графическими линиями) скорости ультразвука и определяют эти значения  $V_{уз}$ , проецируя точки пересечения на вертикальную ось.

Используя установленную область значений скорости ультразвука, ограниченную величинами наименьшей ( $V_{уз}^{min}$ ) и наибольшей ( $V_{уз}^{max}$ ) его скорости, соотносят фактическое значение скорости ультразвука с этим диапазоном и оценивают, к какой стадии по состоянию структуры относится испытуемый бетон контролируемого участка, а именно: к стадии I по рисунку 1.а (2.а) или к стадии II по рисунку 1.б (2.б).

Для этого сравнивают величины водопоглощения бетона и среднего значения скорости ультразвука, установленного (фактического, среднеарифметического значения) для оцениваемого количества образцов ( $V_{узи}$ , м/с), с областью ее значений в пределах:

$V_{уз}^{min} \dots V_{уз}^{max}$ , м/с, относящихся к стадиям: I или II.

$$V_{уз.i}^{cp} = 0,5 (V_{уз}^{min} + V_{уз}^{max}), \text{ м/с}, \quad (1)$$

Затем, используя графики и данные рисунка 1.в (2.в) или 1.г (2.г) (в зависимости от установленной стадии, к которой относится бетон по состоянию структуры), и величину среднего фактического значения скорости ультразвука в бетоне образцов  $V_{узи}$ , м/с, определенную по данным замеров, оценивают показатель морозостойкости бетона для испытательной среды



5% водного раствора NaCl при температуре минус 18° С (базовый метод) или (-50...-55) °С (ускоренный метод).

Для этого проецируют точку с вертикальной оси (рис. 1. в или рис. 1. г), соответствующую величине средней скорости ультразвука в бетоне ( $V_{уз}$ ) до пересечения с графической зависимостью. Последующая проекция полученной точки пересечения на горизонтальную ось дает значение примерного количества циклов стандартных испытаний ( $N_{факт}$ ), после которых состояние структуры бетона соответствует тому, которое характеризует структуру бетона элементов.

В случае, если среднее фактическое значение скорости ультразвука, определенное на образцах бетона, выходит за пределы диапазона «минимального – максимального» значений, то для дальнейшей оценки его морозостойкости используют величину минимального или максимального значения  $V_{уз}$ , в зависимости от «зоны» выхода фактического значения  $V_{уз}^{cp}$  из данного диапазона.

На основании результата оценки морозостойкости бетона испытываемых изделий и сопоставления этих данных с предъявляемым к нему уровнем требований по морозостойкости (марке) делают заключение о соответствии.

В случае, если установленный показатель морозостойкости бетона ниже требуемого, анализируют причины данной ситуации. Оценивают качество использованных материалов (характеристики вяжущего и заполнителя(ей)), рациональность состава бетона (расход материалов, водоцементное отношение, консистенцию (жесткость) бетонной смеси), степень (качество) уплотнения (интенсивность и продолжительность вибровоздействия, давление пригруза и состояние формовочного оборудования в целом), условия и режим твердения бетона (температура, влажность среды, время твердения и др.). На основании результатов анализа выявляют причины, вызвавшие несоответствие морозостойкости бетона требуемому уровню и устраняют их, корректируя параметры технологического процесса изготовления изделий.

Предложенная методика ускоренного контроля (оценки) морозостойкости тяжелого (мелкозернистого и содержащего круп-

ный заполнитель) бетона позволяет за 5 суток определить эту характеристику бетона. Принятый для оценки характеристик испытываемого бетона (изделий) инструментарий неразрушающего контроля для определения влажности бетона и скорости ультразвука стандартизирован и доступен, что обеспечивает возможность ее широкого применения.

Данная методика также опробирована и подтвердила свою эффективность при оценке фактического состояния бетона в процессе эксплуатации покрытий (внедрено на СП «Техинмаш» ООО г. Минска) и ускоренной оценке морозостойкости бетона свежеизготовленных вибропрессованных изделий (внедрено на ОАО «Завод СЖБ-Борисов» г. Борисова, Минской области и ОАО «Минскжелезобетон» г. Минска).