

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ
ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 27-28.05.2014)

УДК 691.32:620.1

**ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ
БЕТОНА ВИБРОПРЕССОВАННЫХ МЕЛКОШТУЧНЫХ
ИЗДЕЛИЙ**

БОНДАРОВИЧ А.И., БАТЯНОВСКИЙ Э.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. Методика стандартизированных испытаний при определении прочности бетона на сжатие и изгиб применительно к мелкоштучным вибропрессованным изделиям (тротуарным плитам, бортовому камню) предложена в 1999 году и введена в действие по СТБ 1152-99 [1]. Прошедшие годы пользования стандартом показали, что, с одной стороны, появилось однообразие в оценке прочности бетона вибропрессованных изделий на основе единой для всех методики, а с другой – выявилось ее несовершенство в части определения переходного коэффициента от испытаний специально изготовленных образцов-кубов (по ГОСТ 10180 или ГОСТ 28570) или базовых образцов и «небазовых» образцов в виде изделий или их фрагментов (для бортового камня, например). Настоящие исследования преследовали цель уточнения границ применимости действующего метода испытаний и, при необходимости, предложить соответствующие коррективы в СТБ 1152-99.

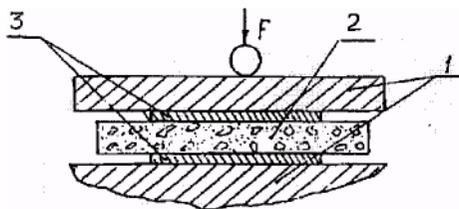
Следует отметить, что отраженная в СТБ 1152-99 возможность определения не только прочности на сжатие бетона, но и его проч-

ности на растяжение при изгибе фактически не применяется на практике. Оценку прочности на соответствие классу бетона осуществляют по СТБ 1544-2005, согласно которому нормируется только прочность бетона на сжатие. Поэтому исследования, результаты которых приведены в настоящей статье, были ориентированы на контроль прочности бетона на сжатие.

Изготовление и порядок отбора образцов. Контрольными образцами для испытаний могут быть изделия из вибропрессованного бетона, стандартные образцы, выпиленные (выбуренные) из этих изделий по ГОСТ 28570, а также образцы по ГОСТ 10180, изготовленные из бетонной смеси, состав которой, жесткость и технология изготовления образцов соответствуют фактическим параметрам бетонной смеси, используемой для изготовления изделий.

Необходимо обратить внимание на то, что допускаемое по ГОСТ 10180 и СТБ 1152-99 отклонение средней плотности бетона на величину до 50 кг/м^3 для вибропрессованных изделий чрезмерно велико. По отношению к структуре тяжелого бетона с примерной средней плотностью в 2400 кг/м^3 это соответствует $\sim 2 \%$ -му изменению водопоглощения, а для мелкозернистого вибропрессованного бетона (с примерной средней плотностью 2250 кг/м^3) составит: $50 : 2250 \times 100 \sim 2,22 \%$, что (при снижении средней плотности) будет сопровождаться недопустимым снижением морозостойкости бетона. Поэтому на основании результатов настоящих исследований, частично представленных в данной статье, внесено изменение указанного положения стандарта с допускаемым отклонением средней плотности бетона изготавливаемых образцов $\pm 25 \text{ кг/м}^3$ от средней плотности бетона в изделиях, что соответственно понижает допускаемое отклонение водопоглощения до $\sim 1 \%$. Одновременно существенно снижается влияние измененной структуры бетона на его прочность, проницаемость и морозостойкость.

Подготовка образцов к испытаниям и условия их проведения соответствовали ГОСТ 10180 и ГОСТ 26433.1, а проведение испытаний при определении прочности бетона соответствовали ГОСТ 10180. На рисунке 1 приведена схема испытания образцов бетона на сжатие с использованием стальных пластин по СТБ 1152-99 (размеры в плане: 70×70 ; 100×100 и 150×150 мм).



1 – нагруженная плита испытательной машины; 2 – испытуемая плита;
3 – стальные пластины

Рис. 1. Схема испытания плит

Результаты определения показателя прочности бетона на сжатие в зависимости от разных факторов

Общая методика и образцы бетона для испытаний. В настоящих исследованиях использовали как изготовленные образцы, так и изделия из цементно-песчаного бетона ($\rho = 500 \text{ кг/м}^3$) и бетона со щебнем ($\rho = 450 \text{ кг/м}^3$) гранитным при водоцементном отношении В/Ц $\sim 0,33 \dots 0,36$ и $0,36 \dots 0,40$, соответственно, при показателе жесткости $J \sim 15 \dots 25 \text{ с}$, что соответствует производственным составам предприятий-производителей элементов благоустройства. Образцы бетона уплотняли на виброплощадке со стандартными параметрами ($A = 0,5 \text{ мм}$; $f \approx 50 \text{ Гц}$) в течение времени и под пригрузом, обеспечивающим получение расчетного качества или степени его уплотнения. Последнюю оценивали по средней плотности свежесформованного бетона, принятую не ниже для цементно-песчаного бетона – 2250 кг/м^3 , а для бетона со щебнем – 2350 кг/м^3 .

Целью настоящих исследований было выявление закономерностей влияния типоразмеров и конфигурации образцов (изделий), размеров испытательных пластин и места приложения передаваемой через них нагрузки на значение прочности на сжатие и выработка рекомендаций для осуществления таких испытаний.

В соответствии с этой целью подвергли испытаниям на сжатие серии образцов, специально изготовленных с различной высотой слоя формируемого бетона (30...150 мм), а также натуральные серийно изготавливаемые предприятиями (на базе ОАО Минскжелезобетон и завода железобетонных изделий УДМСиб Мингорисполкома) тротуарные плиты и бортовой камень различных типоразмеров и конфигурации.

Влияние высоты образцов на прочность бетона. Известно, что с уменьшением сечения и высоты образца относительное значение сил трения-сцепления с плитами пресса возрастает и проявляется в росте ограничения поперечных деформаций бетона образца при нагружении. В результате для одинаковых нагрузок при меньших типоразмерах образцов их деформации в поперечном направлении ниже, чем в больших по размерам. Для равных деформаций требуется увеличение нагрузки. Это положение, относящееся к масштабному коэффициенту и масштабному фактору при испытании бетона в целом, не вызывает сомнений и полностью соответствует ситуации, когда образцы для испытаний подготовлены по стандартным размерам. Однако в практике вибропрессованного бетона не всегда возможно изготовить образцы в полном соответствии с условиями формования изделий. Кроме того, зачастую (особенно в спорных вопросах) необходимо определять прочность бетона в изделиях. Причем эти изделия могут характеризоваться нестандартной конфигурацией и типоразмерами (в плане и по высоте). Учитывая эти обстоятельства, а также недостаточность конкретной информации о влиянии масштабного фактора при нестандартных ситуациях испытаний бетона на прочность была выполнена серия экспериментов, с изменением высоты испытуемых образцов (изготовленных и в виде изделий) в диапазоне: 30, 50, 60, 80, 100, 150 мм, испытанных при прочих равных условиях (размер пластин – 100×100 мм).

Из полученных данных по специально изготовленным образцам следует однозначно выраженная зависимость прочности бетона на сжатие от их высоты при равенстве во всех случаях площади поперечного сечения, равной в анализируемых сериях образцов: $F = 100 \text{ см}^2$.

Так, если принять за 100 % относительную прочность образцов высотой базового стандартного размера, равно 15 см, то относительная прочность бетона при иной высоте образца составила: для $h = 10 \text{ см} \sim 102,5 \%$; для $h = 8 \text{ см} \sim 114 \%$; для $h = 6 \text{ см} \sim 119 \%$; для $h = 5 \text{ см} \sim 138 \%$ и для $h = 3 \text{ см} \sim 173 \%$.

Общая тенденция зависимости показателя прочности бетона от высоты образца соблюдается и при испытании образцов в виде изделий. Испытания осуществлены на фрагментах бортовых камней (Бр 100.30.15, высота слоя бетона при испытании – 15 см;

БРТ 100.20.8, высота – 8 см) и тротуарных плитах: П20.10.8МА (высота – 8 см) и П20.10.6МА (высота – 6 см). Установлено соответствие общей тенденции, заключающейся в росте значений прочности, определенной во всех случаях при сжатии по равной площади (пластины размерами 100×100 мм), с уменьшением высоты слоя «сжимаемого» бетона. Отметим, что при испытании изделий пластины располагали по углу образца (заподлецо кромок пластин и граней образцов, образующих прямой угол).

Влияние типоразмера (площади) испытательных пластин. Анализ полученных данных по группам изделий равной толщины (в частности, для разнообразных плит номинальной толщины слоя (высотой) бетона 8 см и 6 см) показывает следующее.

Для плит тротуарных высотой в 8 см среднее значение прочности составило для пластин 7×7 (49 см²) – 33,2 МПа и для пластин 10×10 (100 см²) – 34,8 МПа.

Для плит тротуарных высотой в 6 см среднее значение прочности составило для пластин 7×7 (49 см²) – 39,9 МПа и для 10×10 (100 см²) – 44,8 МПа.

Для бетона бортового камня тротуарного (высота слоя испытываемого бетона – 8 см) при пластинах 7×7 (49 см²) – среднее значение прочности равнялось 39,4 МПа и для пластин 10×10 (100 см²) – 41,6 МПа.

Необходимо отметить общую тенденцию некоторого снижения показателя прочности бетона для пластин меньшего типоразмера в сравнении с данными по пластинам 10×10 см, которые в этом случае (высота испытываемого слоя бетона > 71 мм) следовало применять по СТБ 1052-99.

Очевидно, это косвенно связано с изменением соотношения между площадью приложения нагрузки и высотой слоя испытываемого бетона. Так, с уменьшением площади пластины со 100 см² (10×10 см) до 49 см² (7×7 см) при равной высоте испытываемого изделия относительное соотношение: высота образца / размер (площадь) поперечного сечения зоны сжатия, возрастает. То есть, проявляется фактор роста высоты образца. Кроме этого, с уменьшением площади приложения нагрузки при уменьшении типоразмера пластин одновременно уменьшается длина их периметра. В результате снижается объем бетона, вовлеченного в совместную «работу» с пластинами по их кромке и подверженный «сжатию-срезу», что

также отражается в снижении показателя прочности бетона при сжатии через пластины меньшего типоразмера.

Таким образом, на основании изложенного следует признать целесообразной градацию размеров испытательных пластин в зависимости от типоразмеров и, особенно, высоты испытываемых изделий. В данном отношении подход, отраженный в СТБ 1152-99 имеет физическое обоснование и целесообразен с позиций достоверного определения прочности бетона на сжатие в изделиях или по их фрагментам.

Влияние размеров образцов в плане (ширина, длина, конфигурация) на показатель прочности бетона. При оценке прочности бетона в образцах-изделиях вынужденно приходится иметь дело с образцами разнообразной конфигурации. При этом форма образцов-изделий может быть как близкой к стандартизированным типоразмерам, так и существенно отличаться от них.

В настоящих исследованиях были выполнены испытания образцов-изделий основных типов конфигурации в плане, выпускаемых предприятиями г. Минска, с определением прочности бетона на сжатие в соответствии с СТБ 1152-99 при 3-х типоразмерах испытательных пластин 7×7 см (49 см²), 10×10 см (100 см²) и 15×15 см (225 см²). Различные типоразмеры пластин использовали с целью максимального пополнения данных об их влиянии на прочность бетона на сжатие в дополнение к ранее приведенным.

Конфигурация образцов-плит в плане соответствовала прямоугольной, квадратной, треугольной, волнообразной; образцы бортового камня представлены фрагментами с размерами в плане ~ 20×100 см (при h = 8 см) и 50×30 см (при h = 15 см). Все образцы-изделия были испытаны в проектном (или превышающем проектный) возрасте.

Анализ результатов испытаний свидетельствует о том, что явно выраженной зависимости показателя прочности бетона на сжатие (определенной с помощью испытательных пластин) от изменения как конфигурации образцов, так и их типоразмеров в плане не выявлено.

Разброс значений прочности при ее определении с помощью пластин разной площади (типоразмера) на одинаковых образцах-изделиях подтверждает ранее установленную и приведенную в предыдущем разделе закономерность: при меньшем типоразмере

пластин и равенстве других условий (включая высоту слоя испытываемого бетона) показатель прочности ниже, чем при испытании с помощью пластин большего типоразмера.

Одновременно полученные данные подтверждают закономерное снижение показателя прочности бетона, определенной при прочих равных условиях, с ростом высоты испытываемых образцов-изделий (или высоты слоя испытываемого (сжимаемого) бетона).

Таким образом, основной вывод по данным экспериментов может быть сформулирован следующим образом: показатель прочности бетона определяется не конфигурацией или типоразмером изделия в плане, а толщиной испытываемого слоя бетона (высотой изделия) и типоразмером испытательных пластин при прочих равных условиях.

Прямые испытание изделий на сжатие. В таблице приведены данные, полученные в результате прямого определения прочности бетона на сжатие «образцов-изделий», из которых следует, что показатель прочности бетона образцов-плит и плитообразных образцов бортового камня (испытаны «плашмя», при $h = 8$ см) прямо зависит (при прочих равных условиях) от площади поперечного сечения и возрастает при снижении высоты слоя испытываемого бетона.

Разброс значений прочности бетона по образцам-плитам, изготовленным из бетона сопоставимых составов и номинальной прочности, для изделий «предприятия № 1» достиг: $(64,6 - 35,7)/35,7 \times 100 \sim 80 \%$, и для таких же изделий «предприятия № 2», примерно: $(64,4 - 41,3)/41,3 \times 100 \sim 55 \%$.

Показатель прочности бетона бортового камня, определенной сжатием фрагментов размерами $19,9 \times 12$ см в плане при высоте 8 см, составил 71,2 МПа, что на: $(71,2 - 39) : 39 \times 100 \sim 83 \%$, превышает номинальную контролируруемую прочность класса $C^{25}/_{30}$.

Таким образом, очевидно, что прямое определение прочности бетона путем испытания образцов-изделий (даже правильной геометрической формы, соответствующей прямоугольному параллелепипеду) практически невозможно, т.к. не обеспечивает достоверной оценки фактической прочности бетона в изделии.

Таблица 1

Результаты испытаний изделий на прочность бетона (среднее значение по 3-м образцам)

№ п/п	Вид образцов (конфигурация)	Размеры образцов $a \times b \times h$, см	Площадь поперечного сечения, см ²	Разрушающая нагрузка, кгс (кН)	Прочность бетона, МПа %
Предприятие № 1					
1	П20.10.8 МА	9,8*19,6*7,9	192	950	50,0
2	К10.10.8 МА	9,8*10,0*8,1	98	350	35,7
3	П16.11.8 МА	11,7*15,7*8,2	184	800	43,5
4	К15.8 МА	15,6*15,6*8,1	243	1250	51,4
5	К20.8 без 1/4	19,7*19,8*7,5	390	2350	60,2
6	Ф24.22.8	21,5*23,4*8,2	503	3250	64,6
7	П20.10.6 МЦкр А	9,8*19,8*6,1	194	1250	64,4
Предприятие № 2					
8	Ф20.16.8 МА	19,9*16,4/7,9	326	1550	47,5
9	П20.10.6 МА	19,8*9,8*6,0	194	1250	64,4
10	Треуг. с прямоуг. основ.	23,8/9,9*	476	3050	64,1
11	К20.8 МА	19,8*19,8*8,0	392	1620	41,3
12	БРТ100.20.8	19,9*12,0*8,0	239	1700	71,2

В этой связи подход определения прочности бетона на сжатие в изделия посредством использования испытательных пластин, через которые нагрузка передается на определенный участок бетона конструкции по некоторой установленной площади, является оправданным с позиций получения более достоверной информации о прочностных характеристиках бетона.

Следует отметить логичность градации типоразмеров испытательных пластин в привязке к стандартным типоразмерам образцов-кубов по ГОСТ 10180 для определения прочности бетона на сжатие по контрольным образцам, что делает «привычными» для пользователя проведение испытаний.

Вместе с этими положительными факторами следует отметить, что точность определения прочности бетона на сжатие посредством пластин в изделиях непосредственно зависит от соотношения: размер пластины - высота испытываемого изделия (слоя бетона).

Наибольшая точность и соответствие стандартному определению прочности на сжатие по образцам-кубам достигаются при равенстве размера стороны пластины и высоты слоя бетона (изделия). Во всех остальных случаях имеют место отклонения в определении прочности, с завышением ее величины при снижении высоты сжатого слоя бетона (изделия) относительно размера пластины и наоборот. Именно в этой связи, например, чешский стандарт-аналог (ČSN 736131-1) содержит требование «увеличения-снижения» размеров испытательных пластин (в плане) «в привязке» к изменению высоты слоя испытываемого бетона (изделия) на каждые 10 мм.

Обобщение результатов испытаний. Основываясь на результатах исследований можно сформулировать следующие общие выводы.

Прямые испытания вибропрессованных изделий или их фрагментов, включая такие, которые характеризуются правильной геометрической формой (прямоугольные параллелепипеды различных типоразмеров), дают искаженные результаты по прочности бетона на сжатие. В этой связи обоснован подход СТБ 1152-99 с определением прочности бетона на сжатие с помощью специальных испытательных пластин.

Установлено, что показатель прочности бетона при испытаниях на сжатие с помощью пластин непосредственно зависит от их типоразмера и, при прочих равных условиях, величина определяемой прочности будет возрастать с увеличением размера пластин.

Выявлено, что для одного и того же типоразмера пластин показатель прочности бетона на сжатие непосредственно зависит от высоты сжимаемого слоя бетона (изделия), снижаясь с ее ростом и наоборот, возрастая с уменьшением высоты слоя бетона (изделия). Установить четкое корреляционное отражение этой закономерности в рамках данной работы не представляется возможным - необходимы соответствующие исследования.

Определено, что величина прочности, определяемой путем сжатия с помощью пластин некоторых объемов бетона образцов-изделий, мало зависит от конфигурации последних в плане. Эта за-

висимость проявляется в связи с расположением пластин на поверхности изделий и показатель прочности может различаться, если пластины располагают, например, в углах образца-изделия (фрагмента) или по его центру. В последнем случае показатель прочности возрастает, т.к. играет роль «работа» кромки пластины: по ее периметру бетон сминается, фактически сопротивляясь в этих микроробъемах срезу, дополняя сопротивление сжатию.

Определяющим фактором зависимости показателя прочности бетона на сжатие от конфигурации и типоразмера образцов-изделий является их высота или высота сжимаемого слоя бетона.

В этой связи, чтобы полностью исключить влияние конфигурации изделий в плане на показатель прочности бетона, определяемой с помощью пластин, следует однозначно устанавливать место их расположения (всегда одно и то же) при определении поправочного коэффициента по СТБ 1152-99.

Обобщение экспериментальных данных показывает, что точность определения прочности бетона на сжатие в изделиях с помощью испытательных пластин наиболее высока при совпадении типоразмера пластин и высоты слоя испытываемого бетона (изделия), то есть для высоты ~ 7; 10 и 15 см. При отклонениях от этих типоразмеров по высоте слоя бетона проявляются эффекты «снижения-роста» показателя прочности, связанные как с высотой сжимаемого слоя бетона (изделия), так и с влиянием типоразмера пластин, о чем изложено ранее в данном пункте.

Выходом из этого положения (если не изменять СТБ 1152-99 и не вводить дополнительные типоразмеры испытательных пластин) является скрупулезное определение переходного коэффициента по диапазону выпускаемых предприятием изделий, отличающихся классом бетона, высотой (толщиной) изделий и их конфигурацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 1071-97* Плиты бетонные и железобетонные для тротуаров и дорог. Общие технические требования.
2. СТБ 1097-98 Камни бортовые бетонные и железобетонные. Технические условия.
3. СТБ 1152-99 Плиты тротуарные и камни бортовые бетонные вибропрессованные. Методы определения прочности и морозостойкости.

4. СТБ 1544-2005 Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.
5. СТБ ЕН 1339-2007 Плиты бетонные. Требования и методы испытаний.
6. СТБ ЕН 1340-2007 Камни бордюрные бетонные. Требования и методы испытаний.
7. СТБ ЕН 1339-2007 Плиты бетонные. Требования и методы испытаний.
8. СТБ ЕН 1340-2007 Камни бортовые бетонные. Требования и методы испытаний.
9. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
10. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.