



**В. В. КОВАЛЕНКО,**  
канд. техн. наук  
(Национальный горный университет)



**В. С. ГАРКУША,**  
аспирантка  
(Национальный горный университет)

В практике эксплуатации бетонов существует несколько методов испытания их на прочность, основными из которых являются методы стандартных образцов, неразрушающего контроля и испытание выбуренных из конструкции кернов. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, ряд ограничений, которые накладывает на них специфика выполнения работ по определению прочности. Рассмотрим два метода: определение прочности бетона молотком Шмидта и последующее испытание на одноосное сжатие на гидравлическом прессе в целях уточнения полученных значений.

Наибольшее распространение получил метод стандартных образцов, который заключается в установке образца в пресс с последующим непрерывным и равномерным нагружением

УДК 624.012.46

## Сравнительный анализ использования неразрушающего и разрушающего методов контроля бетонных образцов

Представлены результаты лабораторных испытаний бетонных образцов с применением молотка Шмидта (склерометр) и испытаний образцов на одноосное сжатие на лабораторном прессе. Получена кривая перевода значений прочности бетонных образцов при использовании неразрушающего метода контроля к значениям прочности бетона, определенных с помощью лабораторного пресса, применение которой позволит получать параметры прочности конструкций, используя склерометр. На примере оборудования компании Tescnotest разработан алгоритм, который даст возможность расширить область использования неразрушающих методов контроля для определения прочности бетонных конструкций.

**Ключевые слова:** молоток Шмидта, лабораторный пресс, бетонные образцы, испытание, прочность.

**Контактная информация:** [kovalenko\\_vlad@mail.ru](mailto:kovalenko_vlad@mail.ru)

до разрушения. На считывающем устройстве пресса фиксируется разрушающая нагрузка, по которой рассчитывают прочность бетона. Однако этот способ относится к разрушающим методам и дорогостоящий.

Неразрушающий метод контроля более универсален, позволяет неоднократно измерять прочностные параметры конструкции. Испытание бетона с помощью молотка Шмидта – один из наиболее часто используемых методов неразрушающего контроля качества бетонных конструкций. Основное отличие данного метода от испытания на прессе состоит в том, что непосредственно измеряемой величиной является не прочность, а такой физический показатель, как ударная твердость, связанная с измеряемым значением корреляционной зависимостью.

Для установления корреляционной зависимости в целях определения прочности бетона используют градуировочную (тарировочную) зависимость между прочностью бетона и косвенной характеристикой [1]. Практика показывает, что даже строгое следование указанным в нормативах методикам построения градуировочных зависимостей не гарантирует адекватности результата неразрушающего определения прочности бетона в конструкциях данным прессовых испытаний, изъятых из массива образцов [2]. Поэтому завышенные или заниженные показатели, полученные от испытаний молотком Шмидта, корректируются с учетом результатов испытаний образцов на прессе.

Использование оборудования для проведения неразрушающего и разрушающего контроля одной фирмы (компания Tescnotest) позволяет получить более корректные результаты для дальнейшего сравнения обоих методов.

**Цель работы** – получение кривых перевода значений прочности бетона на основе сравнения результатов использования неразрушаю-

щего и разрушающего методов контроля для расширения возможностей применения молотка Шмидта.

Для достижения этой цели:

- проведен сравнительный анализ результатов испытания бетонных образцов молотком Шмидта (склерометром);
- образцы испытаны на сжатие на лабораторном прессе;
- получена зависимость, характеризующая соответствие параметров прочности бетонных образцов, определенных с помощью склерометра, с истинными параметрами прочности, полученными в результате испытания образцов на прессе.

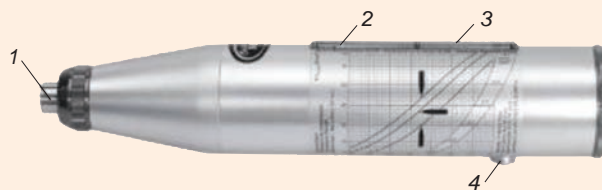
Испытания образцов проводили молотком Шмидта производства компании Tecnotest (рис. 1) в лаборатории строительных материалов кафедры строительства, геотехники и геомеханики ГВУЗ «НГУ». Молоток Шмидта – механическое устройство, предназначенное для выполнения быстрого неразрушающего контроля бетона (см. рис. 1). Прибор измеряет значение отскока  $R$ . Существует соотношение между указанным значением и прочностью бетона. При определении значения отскока  $R$  учитывают: направление удара – горизонтально или вертикально (вверх или вниз); возраст бетона; размер и форму эталонного образца (куб, цилиндр) [3, 4].

Порядок выполнения работ следующий. Перед испытаниями шлифовальным камнем зачищают поверхность. Затем молоток располагают перпендикулярно к испытываемой поверхности. Рабочим органом – бойком молотка – наносят удар по подготовленной гладкой и чистой бетонной поверхности. Затем измеряют длину возвратного хода бойка, которая зависит от твердости бетона. С помощью переводных таблиц это значение можно использовать для определения прочности на сжатие.

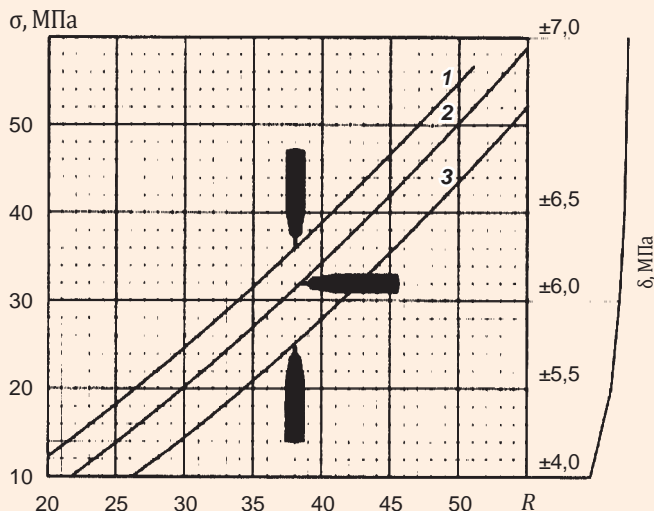
Молоток для контроля прижимали к поверхности бетона, пока не сработал ударный плунжер. Для его закрепления после каждого удара нажимали кнопку. Затем считывали и записывали значение отскока  $R$ , обозначенное указателем на шкале.

Во время испытаний для каждой поверхности совершалось в среднем 8–10 ударов молотком, на основании полученных данных брали среднее. Измеренное значение отскока относительно прочности бетона пересчитывали по градуировочной зависимости – кривой перевода (рис. 2).

Молотки для контроля бетона на рис. 2 указывают направление удара. В данном случае испыта-



**Рис. 1.** Элементы молотка Шмидта для контроля бетона: 1 – ударный плунжер; 2 – указатель; 3 – шкала; 4 – кнопка.



**Рис. 2.** Кривые перевода, построенные на основании среднего значения прочности на сжатие цилиндра и значения отскока  $R$ .



**Рис. 3.** Лабораторный пресс фирмы Tecnotest (компания Modena, Италия), на котором испытывали бетонные образцы.

Таблица 1

Состав	Прочность при сжатии, МПа, методами контроля		Плотность материала, кг/м <sup>3</sup>
	неразрушающим	разрушающим	
<b>Набрызг-бетон на высокопрочном заполнителе (гранитном щебне)</b>			
Ц : П : Щ = 1 : 1 : 2 (контрольный)	26	62,9	2320
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,1	25	58,68	2392
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,2	21	55,1	2420
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,3	26	62,33	2329
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,4	20	53,25	2360
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,5	22	56,4	2330
<b>Торкрет-бетон на пустой породе</b>			
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 2	14	23,56	2265
Ц : П : Пор : ПВА = 1 : 1 : 2 : 0,1	17	35,7	2180
Ц : П : Пор : ПВА = 1 : 1 : 2 : 0,2	13	18,6	2180
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 2 + 3% Силикагеля	<10	9,2	2150
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 2 + 3% Силикагеля + 3% Гидрофобизатора	13	16,9	2140
<b>Тампонажные материалы на пустой породе</b>			
Ц : П = 1 : 3	10	10,9	2030
Ц : П : Пор = 1 : 2 : 1	10	10	2200
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 2	<10	9,6	1910
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 3	< 10	9,98	1787

Примечание. Ц – цемент; П – песок; Щ – щебень; Х – хвосты обогащения железной руды; Пор – порода; ПВА – поливинилацетатная эмульсия.

ния осуществляли в горизонтальном положении образцов, поэтому для перевода значения отскока использовали кривую 2. С увеличением прочности бетонного образца (см. рис. 2) наблюдается возрастание разброса значений  $\delta$ . Данный разброс значений заявлен производителем. Истинное расхождение в значениях определяли во время сравнительных испытаний образцов на прессе (рис. 3).

В процессе испытаний по неразрушающему (молотком Шмидта) и разрушающему (на прессе) методам контроля бетона получили данные, приведенные в табл. 1.

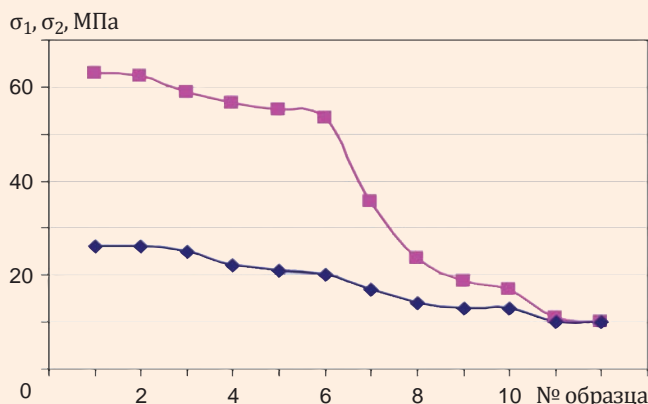
Таблица 2

№ п/п	Прочность при сжатии, МПа, методами контроля		Отклонение результатов испытаний, %
	неразрушающим $\sigma_1$	разрушающим $\sigma_2$	
1	26	62,9	58,6
2	26	62,33	58,3
3	25	58,68	57,4
4	22	56,4	60,9
5	21	55,1	61,9
6	20	53,25	62,4
7	17	35,7	52,4
8	14	23,56	40,6
9	13	18,6	30,1
10	13	16,9	23,1
11	10	10,9	8,3
12	10	10,0	0

Для проведения дальнейших испытаний рассмотренные образцы были ранжированы по прочности для каждого из методов (табл. 2). Отклонение результатов испытаний по двум методам определяли по формуле  $[(\sigma_2 - \sigma_1) / \sigma_2] \cdot 100\%$  и представляли в последнем столбце таблицы.

Количество вариантов ограничено 12. Остальные три, прочность которых по молотку Шмидта нельзя было измерить, – не вошли в табл. 2. На основании данных, представленных в табл. 2, построены кривые параметров прочности, определенных с помощью молотка Шмидта и пресса для каждого варианта. Сравнительная диаграмма показателей прочности показана на рис. 4.

Из диаграммы следует наличие значительных расхождений в использовании рассматриваемых методов для определения прочности, это значительно ограничивает использование неразрушающих методов контроля. Так, сходимость результатов тем больше, чем меньше измеряемый параметр прочности бетонного образца. Для получения использования неразрушающих методов контроля в более широком диапазоне параметров и определения соответствия полученных с помощью молотка Шмидта параметров истинным значениям прочности, определенной в результате испытания образцов на сжатие на лабораторном прессе, построена кривая зависимости параметров  $\sigma_2$  от  $\sigma_1$  (рис. 5).



**Рис. 4.** Показатели прочности образцов бетона, полученные в результате испытания на прессе  $\sigma_2$  и с помощью молотка Шмидта  $\sigma_1$ ; —■— испытания на прессе; —◆— неразрушающий метод контроля.

В целях получения линии тренда данные проанализированы с помощью программы CurveExpert 1.4. Стандартная ошибка  $S$  составляет 1,711 при коэффициенте корреляции  $r$ , равном 0,997. Данная линия тренда описывается полиномиальной зависимостью 4-й степени:

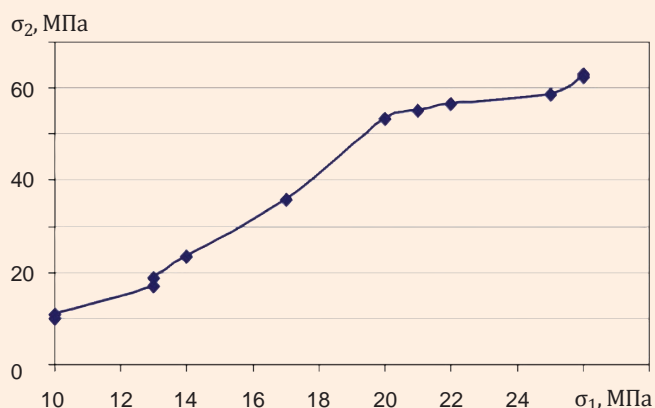
$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4.$$

Числовые значения коэффициентов полинома  $a$ – $e$  4-й степени:  $a = 275,365809$ ;  $b = -68,338451$ ;  $c = 6,04201872$ ;  $d = -0,2119903$ ;  $e = 0,00263671$ .

Параметры прочности бетонных образцов, определенных с помощью гидравлического прессы, находятся в зависимости от параметров прочности, установленных с помощью молотка Шмидта. Это позволяет определять прочность бетонных конструкций неразрушающим методом при достижении более высокой сходимости результатов с разрушающими методами.

**Выводы.** Результаты лабораторных испытаний прочности бетонных образцов, проведенные с помощью молотка Шмидта и на гидравлическом прессе, показали расхождение от 62,4 до 0 %. Причем отклонения носят неравномерный характер. При меньшей прочности образцов они стремительно возрастают с 10 до 20 МПа. Если прочность образцов составляет 20 МПа, наблюдается наибольшее отклонение в прочностных характеристиках – 62,4 %.

Построенная кривая перевода параметров прочности, полученных с помощью молотка Шмидта, к результатам стандартных испытаний образцов на прессе, позволяет нивелировать этот недостаток и проводить испытания с учетом особенностей неразрушающего метода контроля на основе исполь-



**Рис. 5.** Соответствие параметров прочности, определенных с помощью молотка Шмидта, параметрам прочности, полученным на лабораторном прессе.

зования склерометра. Соответствие результатов испытаний с помощью неразрушающего метода контроля результатам разрушающего метода характеризуется полиномиальной зависимостью, использование которой даст возможность с более высокой степенью достоверности получаемых результатов использовать склерометр для определения прочности бетонных конструкций.

Использование результатов испытаний позволит определять прочность бетонных конструкций молотком Шмидта в полевых условиях, получая максимально приближенную к реальным показателям прочность бетона при обработке и пересчете показателей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чихунов Д. А. Методика и техника для контроля прочности бетонов и других искусственных каменных материалов [Электронный ресурс] // Геостройизыскания, 2015. Режим доступа: <http://www.gsi.ru/art.php?id=87> (дата обращения: 20.04.2015).
2. Снежков Д. Ю. Неразрушающий контроль прочности бетона конструкций сегодня: практический аспект [Электронный ресурс] / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонтович // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства, 2014. Режим доступа: <http://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/15796/%D0%A1.%20145-157.pdf> (дата обращения: 29.04.2015).
3. Молоток для контроля бетона Original Schmidt: инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс] // Научно-технический центр Эксперт, 2015. Режим доступа: <http://www.ntcexpert.ru/documents/Instrukcija-Original-SCHMIDT.pdf> (дата обращения: 20.04.2015).
4. Молотки для испытания бетона: проспект на молотки Шмидта [Электронный ресурс] // Триада-Холдинг Поволжье, 2015. Режим доступа: [http://triada-holdingnn.ru/files/01\\_prospekt\\_na\\_molotki\\_shmidta.pdf](http://triada-holdingnn.ru/files/01_prospekt_na_molotki_shmidta.pdf) (дата обращения: 29.04.2015).