

УДК 624.012.45:620.179.16

Д.Ю. Снежков,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-1826-7139

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

О ПОСТРОЕНИИ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СКЛЕРОМЕТРИЧЕСКИХ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Склерометрические методы испытаний бетона и в настоящее время сохраняют свои позиции наиболее распространенных косвенных методов в практике неразрушающего контроля железобетонных конструкций, как в качестве средства технологического контроля при их возведении, так и при обследовании эксплуатируемых строительных объектов. В статье рассматривается возможность повышения достоверности оценки прочности бетона склерометрическими методами путем улучшения метрологических показателей их градуировочных зависимостей.

Ключевые слова: бетон, неразрушающий контроль, нормативы, градуировочная зависимость, коэффициент корреляции, влажность.

Введение. Практика применения неразрушающих методов определения прочности бетона в натуральных условиях показывает, что результат таких испытаний далеко не всегда соответствует данным экспертных методов, в частности, - метода отрыва со скалыванием и метода испытаний отобранных образцов-кернов. Склерометрические методы определения прочности бетона в конструкциях, в частности, метод упругого отскока, ударного импульса демонстрируют в статистике лучшую точность контроля в сравнении, к примеру, с акустическими методами. Но и для них ошибка может достигать 25%...40%. Основная проблема контроля заключается не в отсутствии у пользователя так называемых «правильных» градуировочных зависимостей, связывающих косвенный параметр метода испытаний с прочностью бетона, а в принципиальной невозможности получить такие зависимости.

Процесс динамического внедрения твердого индентора в поверхность бетона достаточно сложен для описания в физических параметрах [2]. Известные попытки приближенной формализации данного процесса показывают, что связь обычно используемых косвенных параметров – индекса отскока, диаметра или глубины отпечатка и др. – с пределом прочности бетона не является однозначной. Причина этого заключается в том, что процессы склерометрических неразрушающих методов испытания бетона [4] не являются адекватными по напряженно-деформированному состоянию бетона в зоне контроля процессу прессового испытания бетонного образца на одноосное сжатие по ГОСТ 10180-90. Это значит, что оценки прочности неразрушающими методами будут зависеть не только от фактической прочности бетона (определяемой прессовыми испытаниями образцов), но и от других его характеристик: модуля упругости, динамической вязкости, структурной неоднородности и пр.. Безусловно, вариации физико-механических свойств бетона оказывают влияние и на результаты метода

пресових испытаний. Но поскольку этот метод принят в качестве эталонного, то его результат рассматривается как «истинная» оценка прочности бетона, а все остальные методы должны на нее «равняться». Соответствие их результатов данным пресовых испытаний достигается подбором градуировочных зависимостей под конкретные условия испытаний. А поскольку технологические условия бетона испытательных образцов отличаются от натуральных условий, то отсутствие учета множества влияющих факторов имеющих место на строительной площадке: вариации состава бетона, условий транспортирования бетонной смеси и её укладки, температурных и влажностных условий твердения бетона, степени карбонизации и др., будет приводить к неадекватности используемой градуировочной зависимости реальным условиям её применения.

Нормативная методика. В Республике Беларусь неразрушающие испытания бетона механическими методами регламентируются СТБ 2264 [3]. Отличие его от действовавшего ранее ГОСТ 22690 [1] незначительное. Более важным моментом при рассмотрении указанных нормативов является не их различия в некоторых деталях, а оценочные критерии при построении градуировочных зависимостей. Практика показывает, что даже строгое следование указанным в нормативах методикам построения градуировочных зависимостей, зачастую, не позволяет выполнить требования этих же нормативов по критерию статистической надежности. При этом закономерным является следующее обстоятельство: чем стабильнее качество бетонной смеси и, соответственно, ниже значение коэффициента вариации прочности бетона образцов, тем труднее обеспечиваются условия статистической устойчивости построенной градуировочной зависимости того или иного косвенного метода испытаний.

На рис.1 приведены частные градуировочные зависимости методов упругого отскока и ударного импульса, построенные в соответствии с требованиями СТБ 2264 [3]. Используются данные испытаний 15 образцов из бетона проектного класса С35/45 в возрасте 46 суток, твердевших в нормальных температурно-влажностных условиях. В таблице 1 приведены основные параметры градуировочных зависимостей: остаточное среднее квадратическое отклонение S_t и коэффициент корреляции r .

Остаточное среднее квадратическое отклонение S_t для линейной зависимости рассчитывается по формуле

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c,i} - f_{c,i,H})^2}{n - 2}}, \quad (1)$$

где $f_{c,i}$ – прочность бетона по данным пресовых испытаний;

$f_{c,i,H}$ – прочность бетона по градуировочной зависимости данного косвенного метода испытаний;

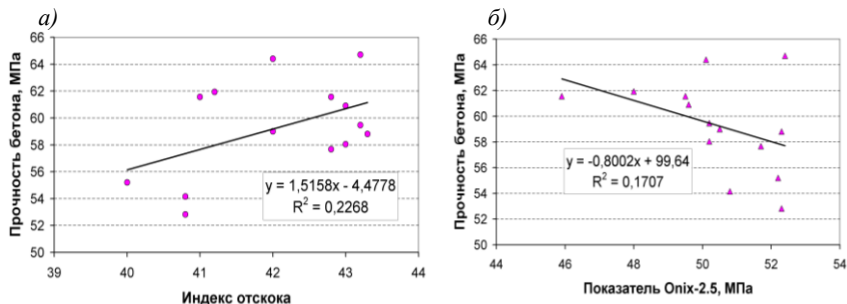


Рис. 1. Градуировочные зависимости: а - метода упругого отскока; б - метода ударного импульса

Таблица 1

Параметры градуировочных зависимостей

Метод, прибор	a_1	s_{a1}	a_0	s_{a0}	S_t	r^2	r	F
Упругого отскока, ОМШ-1	1,52	0,84	-4,42	35	3,4	0,23	0,48	3,22
Ударного импульса, Оникс-2.5	-0,80	0,53	99,3	26,8	3,5	0,17	-0,41	2,26

где a_1 , a_0 – коэффициенты градуировочной зависимости вида $f_{c,H} = a_1 \cdot H + a_0$; $f_{c,H}$ – прочность бетона по результатам косвенного метода испытаний; s_{a1} , s_{a0} – среднее квадратическое отклонение коэффициентов a_1 , a_0 , соответственно;

H – косвенный параметр;

r – коэффициент корреляции оценок прочности по результатам прессовых испытаний и косвенного метода с данной градуировочной зависимостью.

При средней прочности серии образцов $f_{c,m} = 59,3$ МПа, по условию

$$\frac{|f_{ci,H} - f_{ci}|}{S_t} \leq 2, \quad (2)$$

полученные данные не потребовали коррекции. По условию

$$\frac{S_t}{f_{c,m}} \leq 0,15, \quad (3)$$

зависимости удовлетворяют требованиям п.6.1.6 ГОСТ 22690 [1] и п.6.15 СТБ 2264 [3]. В то же время по коэффициенту корреляции r ни одна из зависимостей не удовлетворяет требованиям ГОСТ 22690 ($r \geq 0,7$). Соответственно, указанные зависимости не являются значимыми и по критерию Фишера. Это значит, что полученные градуировочные зависимости нельзя считать «надежными», хотя построены в полном соответствии с требованиями действующих нормативов. Стандарт СТБ 2264 [3], в отличие от ГОСТ 22690 [1], разрешает их использование для определения прочности бетона в конструкциях. Следует заметить, что данные прессовых испытаний подтвердили проектный

класс бетона по прочности, коэффициент вариации прочности составил 6,2% при среднем значении прочности – 59,3 МПа.

Предусмотренная в указанных выше стандартах процедура корректировки градуировочной зависимости путем отбраковки единичных результатов испытаний не удовлетворяющих условию (2) связана с потерей информации содержащейся в отброшенных данных. Данная формальная процедура позволяет практически для любого массива данных выполнить указанное условие, даже при их слабой взаимной корреляции.

Улучшить метрологические показатели однопараметровых градуировочных зависимостей можно увеличив диапазон вариации прочности испытательных образцов, например, искусственно изменяя в некоторых пределах водоцементное отношение бетона, или использовать при испытаниях образцы бетона смежных классов по прочности. Такое решение тоже нельзя считать безукоризненным, поскольку оно не снижает неопределенности оценки прочности бетона, но, очевидно, показатели градуировочной зависимости будут более статистически устойчивыми, чем при «прополке» массива данных градуировочных испытаний.

Предлагаемая методика. Другой путь повышения точности оценки прочности бетона неразрушающими методами - введение в градуировочные зависимости дополнительных параметров, характеризующие указанные выше технологические факторы, например, влажность бетона. Ввести количественную оценку качества уплотнения бетона или вариации его состава в условиях строительной площадки затруднительно. Но поскольку вариация качества уплотнения бетона и его состава проявит себя в изменении соотношения между параметрами упругости и прочности, то можно предположить, что методы, имеющие разную чувствительность к параметрам упругости и прочности бетона, дадут разные оценки прочности. Рассматривая косвенный параметр H_i каждого из объединяемых неразрушающих методов, как функцию F_i нескольких параметров бетона, например, – прочности f_c^* , модуля упругости E_c^* и влажности W , можем записать систему двух уравнений с соответствующим количеством неизвестных f_c^* и E_c^* .

$$\begin{aligned} H_1 &= F_1(f_c^*, E_c^*, W), \\ H_2 &= F_2(f_c^*, E_c^*, W) \end{aligned} \quad (4)$$

Систему уравнений (2) для двух методов испытаний можно преобразовать в следующую форму

$$\begin{aligned} f_c^* &= \Psi(H_1, H_2, W), \\ E_c^* &= \Omega(H_1, H_2, W) \end{aligned} \quad (5)$$

Каждое уравнение полученной системы представляет собой трехпараметровую градуировочную зависимость для расчета прочности f_c^* и модуля упругости E_c^* бетона. Таким образом, объединение двух физически различающихся методов испытаний теоретически позволит не только повысить точность оценки прочности бетона, но и улучшить информативность – дополнительно получить оценку его упругости.

Присутствие в уравнениях (1) и (2) параметра влажности W , на первый взгляд, не является оправданным с физической точки зрения, поскольку его размерность не координируется с размерностью механического напряжения. В то же время, присутствие свободной воды в пористой структуре цементного камня (и бетона в

целом) проявляет себя изменением динамической вязкости бетона, которая является третьей характеристикой бетона, отражающей его реакцию на динамическое механическое воздействие индентора, наряду с прочностью и упругостью. Введение параметра влажности частично компенсирует влияние динамической вязкости бетона на косвенные параметры индентирования - H_1 и H_2 и, тем самым, «приближает» по своей реологической модели динамический процесс индентирования к квазистатическому процессу прессовых испытаний.

Для экспериментальной проверки данной гипотезы была выполнена серия испытаний 20 образцов-кубов бетона проектного класса по прочности С30/37. В таблице 2 приведены данные испытаний.

Таблица 2

Данные испытаний образцов

№ обр.	Срок тврд.	Масса	Показатель прочности «ONIX»	Индекс отскока «Shmidt»	Влажн. бетона	Прочн. бетона
	T	M	$f_{c,onix}$	I	W	f_c
	сут.	г	МПа		%	МПа
1	44	2388	32,2	36,8	4,6	45,0
2	44	2412	33,5	35,2	4,2	44,4
3	41	2318	40,7	39,5	5	45,7
4	41	2332	46,4	37,5	4,9	49,6
5	40	2436	33,9	35,2	4	47,9
6	40	2360	33,1	36,2	3,9	36,7
7	39	2354	36,2	34,2	3,8	39,8
8	39	2400	32,5	35,8	4,2	44,4
9	38	2320	31,2	32,8	2,9	36,7
10	38	2406	33,3	32,7	3	39,4
11	37	2282	28,5	31,3	3,6	36,3
12	37	2390	27,7	34,7	3,6	35,3
13	35	2404	31,3	29,7	3,6	32,9
14	35	2456	30,7	31,3	4	42,2
15	34	2422	32,6	34,2	3,9	37,0
16	34	2462	30,3	31,5	4,4	41,9
17	32	2426	32,3	37	3,9	40,5
18	32	2428	37,6	36,7	4,1	51,7
19	31	2428	35,6	36	3,8	39,4
20	31	2462	32,6	38,7	3,9	42,2

Использовались два косвенных неразрушающих метода – метод упругого отскока и метод ударного импульса. Прочность образцов определялась прессовыми испытаниями по ГОСТ 10180. Дополнительно измерялись масса образцов. Влажность бетона W контролировалась диэлькометрически методом по ГОСТ 21718-84 (прибор МГ-4Б).

По приведенным в таблице 2 данным выполнено построение стандартных – по СТБ 2264 – линейных градуировочных зависимостей, и экспериментальных 2-3-х

параметрових градуировочних залежностей. В таблиці 3 приведені основні параметри залежностей.

Введення в залежності параметра вологості (залежності №3 і №4) підтвердило справедливості сформульованої вище гіпотези: остаточне середнє квадратичне відхилення S_t зменшилось на 10%.16%, а коефіцієнт кореляції для обох залежностей перевищив мінімальне порогове значення 0,7 (по ГОСТ 22690-2015).

Таблиця 3

Параметри градуировочних залежностей

№	Градуировочная зависимость	S_t	r^2	r	F
1	$f_c^* = 1,08 \cdot I + 3,8$	4,24	0,32	0,57	8,55
2	$f_c^* = 0,76 \cdot f_{c,onix} + 15,8$	3,95	0,41	0,62	12,6
3	$f_c^* = 0,55 \cdot I + 4,81 \cdot W + 3,1$	3,76	0,49	0,71	8,4
4	$f_c^* = 0,46 \cdot f_{c,onix} + 4,18 \cdot W + 9,3$	3,60	0,54	0,73	9,96
5	$f_c^* = 0,561 \cdot f_{c,onix} + 0,560 \cdot I + 3,06$	3,86	0,47	0,69	6,7
6	$f_c^* = 0,384 \cdot f_{c,onix} + 0,324 \cdot I + 3,64 \cdot W + 2,77$	3,63	0,55	0,74	7,5

де r^2 – коефіцієнт детермінації; r – коефіцієнт лінійної кореляції;

I – індекс отскока; W – вологість бетону в %;

f_c^* – розрахована міцність бетону, за даними косвенного методу, МПа;

$f_{c,onix}$ – косвенний показник міцності за приладом «Онікс-2.5» МПа;

S_t – остаточне середнє квадратичне відхилення градуировочної залежності, МПа.

Об'єднання даних молотка Шмідта і приладу методу ударного імпульсу «Онікс» (см. залежність №5) небагато покращило показники градуировки, але поступило за цими ж показниками залежностям №3 і №4. В той же час, об'єднання даних цих двох методів з показником вологості дозволило отримати максимальне значення коефіцієнта кореляції – 0,74 (см. залежність №6). Характерним стало те, що стандартні залежності (№1 і №2) не задовольняють вимогам ГОСТ 22690-2015 за показником коефіцієнта кореляції r і не можуть бути використані для контролю бетону. В той же час, всі отримані залежності виявилися значимими за критерієм Фішера.

Зрозуміло, очікувати високої ефективності і універсальності від об'єднання двох близьких за фізикою вимірних процесів склерометричних методів не слід. Найкращу перспективу можуть представляти собою метод динамічного індентування [4], а також ультразвуковий метод проходження [5], які володіють більшою селективністю до параметрам пружності і міцності бетону, ніж розглянута вище пара методів, потенційно можуть забезпечити кращі метрологічні показники контролю бетону.

Окремим питанням є вплив неоднорідності бетону на результати випробувань незрушувальними методами.

В первую очередь это касается ситуации, когда показатели поверхностного слоя бетона отличаются от внутренних областей массива, например, при высушивании бетона в случае раннего распалубования. При контроле конструкций находившихся в длительной эксплуатации определяющим может оказаться эффект карбонизации, в этом случае параметры упругости и прочности могут заметно превышать средние значения массива. Актуальным этот вопрос является и при контроле бетонных изделий с упрочненным поверхностным слоем. В этом случае эффективным является объединение методов испытаний использующих различный объем вовлеченного в испытательный процесс бетона [4].

На рис. 2 приведены данные испытания бетонных полов, выполненных с упрочнением верхнего слоя механическим втиранием упрочняющего компонента. Бетонное основание пола (толщина ~5...7 см) выполнено из сталефибробетона проектного класса по прочности C25/30.

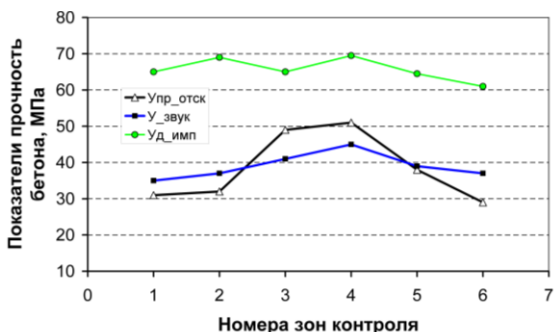


Рис. 2. Распределение оценок прочности бетонной плиты с упрочненным верхним слоем по данным неразрушающих методов испытаний

Упрочнению подвергался верхний слой бетона толщиной 3...4 мм. По данным ультразвуковых испытаний прочность бетонного массива соответствует значениям 34...45 МПа. Оценки прочности бетона механическими методами испытаний различаются более чем в два раза, причем показания склерометра ОМШ-1, имеющего большую энергию удара, ближе к данным ультразвукового метода, но имеют значительный разброс – от 29 до 52 МПа, что, вероятно, связано с различием в толщине упрочненного слоя выбранных зон контроля бетонного. Оценки ударно-импульсного метода (ИПС-МГ4) достаточно ровные и соответствуют проектной прочности для упрочненного слоя - 62...69 МПа. Для указанных двух приборов использовались линейные градуировочные зависимости, которые рассчитывались по данным испытаний образцов из использованного при бетонировании фибробетона. Область градуировочной зависимости для прибора ИПС-МГ4 для значений прочности превышающих 45 МПа экстраполировалась продолжением имеющейся прямой.

Такая картина распределения оценок прочности бетона для разных методов однозначно говорит о том, что в рассматриваемом случае ударно-импульсный метод, реализуемый прибором ИПС-МГ4, «принимает во внимание» прочность (твердость) верхнего упрочненного слоя. ОМШ-1, имеющий значительно большую энергию удара, по сути, «проламывает» тонкий верхний твердый слой,

за счет чего его оценка прочности снижается и приближается к значению прочности бетонной стяжки. Приведенные факты указывают на то, что оценка состояния бетона в конструкции каким-либо одним неразрушающим методом, без учета «физики» процесса измерения и технологии бетонирования не может быть объективной и достоверной.

Заклучение. Стандартизированная методика построения градуировочных зависимостей склерометрических методов нуждается в модернизации. Для исследованных бетонов классов по прочности С30/37, С35/45 стандартные методики построения градуировочных зависимостей методов упругого отскока и ударного импульса не смогли удовлетворить требования ГОСТ 22690 по показателю коэффициента корреляции.

Двухпараметровые градуировочные зависимости, включающие влажность бетона в качестве дополнительного параметра, позволили для всех экспериментальных серий образцов снизить остаточное среднее квадратическое отклонение градуировочной зависимости методов упругого отскока и ударного импульса на 10%..16%, и устойчиво обеспечить минимально допустимое значение коэффициента корреляции $r = 0,7$ для исследованных составов бетона.

Разработанная методика построения двухпараметровых градуировочных зависимостей может быть рекомендована для включения в действующие нормативы, регламентирующие определение прочности бетона конструкций в построчных условиях.

Список литературы:

1. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля: ГОСТ 22690-2015. – М.: 2014. – 23 с.
2. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон – М.: «Мир», 1989. – 509 с.
3. Испытания бетона. Неразрушающий контроль прочности: СТБ 2264-2012 – Введ. 01.01.2013. – Минск: Госстандарт, 2013. - 20 с.
4. Снежков, Д.Ю. Основы мониторинга возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович - Минск: БНТУ, 2016. - 330 с.
5. Pucinotti, R. The use of multiple combined non destructive testing in the concrete strenght assessent: applications on laboratory specimens / R. Pucinotti // [Electronic resource], 2003. - Mode of access: http://www.ndt.net/article/hsndtct2007/files/Pucinitti_Crisci_etat.pdf. - Date of access: 02.02.2016

References

1. Betony. Opredelenie prochnosti mehanicheskimi metodami nerazrushajushhego kontrol'ja [Concrete. Determination of strength by mechanical methods of non-destructive testing]. (2014). HOST 22690-2015. Moskow.
2. Dzhonson, K. (1989) *Mehanika kontaktного vzaimodejstviya [Contact mechanics]*. Moskow: Mir [in Russia].
3. Ispytaniya betona. Nerazrushajushhij kontrol prochnosti [Concrete testing. Non-destructive testing of strength]. (2013). STB 2264-2012. Minsk: Gosstandart [in Belorussia]

4. Snezhkov, D.Ju., & Leonovich, S.N. (2016). *Osnovy monitoringa vozvodimyh i jekspluatiruemyh zhelezobetonnyh konstrukcij nerazrushajushimi metodami [Fundamentals of monitoring of constructed and operated reinforced concrete structures by non-destructive methods]*. Minsk: BNTU [in Belorussia].

5. Pucinotti, R. (2003) The use of multiple combined non destructive testing in the concrete strenght assesment: applications on laboratory specimens. Retrived from http://www.ndt.net/article/hsndtct2007/files/Pucinitti_Crisci_etat.pdf.

Д.Ю. Снежков

О построении градуировочных зависимостей склерометрических неразрушающих методов контроля прочности бетона

Склерометрические методы испытаний бетона, в частности, метод упругого отскока, сохраняют свои позиции наиболее распространенных косвенных методов для определения прочности бетона в построечных условиях. Они используются в качестве средства технологического контроля при возведении строительных объектов, так и при их обследовании в период эксплуатации. Косвенными параметрами современных склерометрических приборов обычно являются точечные величины: индекс отскока, диаметр и глубина отпечатка, продолжительность процесса внедрения индентора и максимальная сила взаимодействия. Однако отсутствие однозначной связи указанных параметров с прочностью бетона приводит к дополнительной неопределенности результата испытаний, что составляет одну из проблем склерометрических методов контроля бетона. Наблюдается также и неустойчивость градуировочных зависимостей метода. Даже строгое соблюдение предписаний процедуры не гарантирует повторяемости полученных зависимостей.

В статье рассматривается возможность улучшения метрологических показателей градуировочных зависимостей склерометрических методов путем введения дополнительного параметра – влажности бетона. Рассматривается также возможность объединения двух склерометрических методов – метода упругого отскока и метода ударного импульса. Данные получены на образцах бетона в сроках твердения 25..60 суток. Двухпараметровые градуировочные зависимости, включающие влажность бетона в качестве дополнительного параметра, позволили для всех экспериментальных серий образцов снизить остаточное среднее квадратическое отклонение градуировочной зависимости методов упругого отскока и ударного импульса на 10%.16%, и устойчиво обеспечить минимально допустимое значение коэффициента корреляции $r = 0,7$ для исследованных составов бетона. Рассмотрено влияние неоднородности бетона на показания склерометрических методов испытаний

Разработанная методика построения двухпараметровых градуировочных зависимостей может быть рекомендована для включения в действующие нормативы, регламентирующие определение прочности бетона возводимых конструкций в построечных условиях.

Ключевые слова: бетон, неразрушающий контроль, нормативы, градуировочная зависимость, коэффициент корреляции, влажность.

D. Snezhkov

On the calibration dependencies designing for concrete strength testing by sclerometric nondestructive methods

Sclerometric methods of testing concrete, in particular, the rebound hammer testing, retain their positions as the most common indirect methods for concrete strength determining in situ. They are used as a means for technological testing during the buildings construction, as well as during their inspection during maintenance. Indirect parameters of current sclerometric devices are usually point-values: the rebound index, the diameter and depth of the print, the duration of the indenter insertion process, and the maximum interaction force. However, the lack of an unambiguous relationship between these parameters and the strength of concrete leads to additional uncertainty of the test result, which is one of the problems of sclerometric methods of concrete control. The instability of the calibration dependencies of the method is also observed. Even strict compliance with the requirements of the procedure does not guarantee the repeatability of the obtained dependencies.

The article considers the possibility of improving metrological indicators of calibration dependencies of sclerometric methods by introducing an additional parameter-concrete humidity. The possibility of combining two sclerometric methods – the elastic rebound method and the shock pulse method is also considered. Data were obtained on concrete samples with a curing time of 25..60 days. Two-parameter calibration dependencies, including concrete humidity as an additional parameter, allowed for all experimental series of samples to reduce the residual mean square deviation of the calibration dependence of elastic rebound and shock pulse methods by 10%.16%, and to consistently provide the minimum acceptable value of the correlation coefficient $r = 0.7$ for the studied concrete compositions. The influence of concrete heterogeneity on the readings of sclerometric test methods is considered.

The developed method of constructing two-parameter calibration dependencies can be recommended for inclusion in the current standards governing the determination of the strength of concrete structures under construction.

Keywords: concrete, non-destructive testing, standards, calibration dependence, correlation coefficient, humidity.

Посилання на статтю

APA: Snezhkov, D. (2020) On the calibration dependencies designing for concrete strength testing by sclerometric nondestructive methods. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 45, 16–25.

ДСТУ: Снежков Д.Ю. О построении градуировочных зависимостей склерометрических неразрушающих методов контроля прочности бетона [Текст] / Д.Ю. Снежков // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2020. – № 45. – С. 16–25.