

УДК 691.32, 620.179.12

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-97-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-97-105)

EDN: FMZOPT

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА МЕТОДОМ ПОГРУЖЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ДЮБЕЛЕЙ

С.И. ИВАНОВ^{1,✉}, канд. техн. наук

А.В. НЕВСКИЙ¹, канд. техн. наук

Д.А. ЧЕСНОКОВ²

¹ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² АО «Хилти Дистрибьюшн ЛТД», Ленинградская ул., стр. 25, г. Химки, 141402, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Метод контроля прочности бетона на основе погружения стального дюбеля в бетон за счет энергии порохового заряда применяется с 60-х годов прошлого века. В настоящее время рядом организаций указанный метод контроля продвигается в качестве альтернативы прямым неразрушающим методам контроля (метод отрыва со скалыванием и метод скалывания угла), вносятся предложения по внесению рассматриваемого метода в действующий стандарт ГОСТ 22690-2015. В качестве обоснования указывается доступность и дешевизна рассматриваемого метода по сравнению с регламентированными действующими методами в стандартах.

Цель: провести анализ отечественных и зарубежных исследований, нормативных документов, регламентирующих рассматриваемый метод контроля, оценить возможность его нормирования и объем необходимых для стандартизации дополнительных исследований.

Материалы и методы. Выполнен анализ диссертационных работ с середины XX в. по настоящее время, нормативных документов (ASTM C803-02, BS 1881-207, DIN EN 14488-2), инструкций (Z-WP-534. Windsor Probe System, Driving method Hilti DX 450-SCT).

Результаты. Выявлены существенные ограничения для применения метода и факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность метода: твердость, вид и крупность заполнителя, разброс мощности порохового заряда, параметры индентора (забиваемого дюбеля). Указанные факторы не оказывают влияния на регламентированные действующими стандартами методы контроля. Доступные для анализа зарубежные стандарты регламентируют применение рассматриваемого метода контроля в качестве косвенного метода, требующего корректировки с учетом результатов испытаний стандартных образцов или кернов, отобранных из конструкций, и не содержат данных по точности метода такого контроля.

Выводы. С учетом выявленных ограничений нормирование метода преждевременно. Исследования необходимо продолжить. Утверждение о существенной доступности и дешевизне рассматриваемого метода по сравнению с методами, регламентированными действующими стандартами, не обоснованно.

Ключевые слова: бетон, прочность, пистолет монтажный, дюбель-гвоздь, пороховой заряд, градуировочная зависимость

Для цитирования: Иванов С.И., Невский А.В., Чесноков Д.А. Особенности определения прочности бетона методом погружения стальных дюбелей. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):97–105. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-97-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-97-105)

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет средств ФАУ «ФЦС» в 2021 году.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 18.04.2022

Поступила после рецензирования 19.05.2022

Принята к публикации 24.05.2022

SPECIFIC FEATURES OF DETERMINING CONCRETE STRENGTH BY STUD DRIVING METHOD

S.I. IVANOV¹, Cand. Sci. (Engineering)

A.V. NEVSKII¹, Cand. Sci. (Engineering)

D.A. CHESNOKOV²

¹ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

² JSC "Hilty Distribution LTD", Leningradskaya st., bld. 25, Khimki, 141402, Russian Federation

Abstract

Introduction. The method of determining concrete strength based on steel stud driving into concrete by firing has been used since the 1960s. At present, several institutions promote this method as an alternative to direct nondestructive testing methods (pullout test and shear angles) and propose to introduce it into the current standard GOST 22690-2015. Its availability and low cost compared to those of the existing standard methods are mentioned to substantiate this proposal.

Aim. In this work, domestic and foreign studies and normative documents regulating the considered test method are analyzed, and its standardization and the volume of additional research are evaluated.

Materials and methods. Theses from the mid-20th century to the present, normative documents (ASTM C803-02, BS 1881-207, DIN EN 14488-2), and instructions (Z-WP-534. Windsor Probe System, Driving method Hilti DX 450-SCT) were reviewed.

Results. Significant limitations for the application and the factors having the most profound influence on the accuracy of the method were identified: hardness, type, and fineness of the filler, variation of firing charge power, and indenter parameters (driven stud). These factors have no influence on the control methods recommended by the existing standards. Foreign standards stipulate the application of this test method as an indirect technique, requiring adjustments based on the testing results of standard samples or test cores extracted from structures; however, no data on its accuracy is provided.

Conclusion. Given the revealed limitations, it is premature to standardize the method. Further research is recommended. The statement about the significant availability and cheapness of the reviewed method relative to the standard regulated methods is unsubstantiated.

Keywords: concrete, strength, powder actuated tool, stud, firing charge, calibration curve

For citation: Ivanov S.I., Nevskii A.V., Chesnokov D.A. Specific features of determining concrete strength by stud driving method. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):97–105. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-97-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-97-105)

Author contribution statements

The authors contributed equally to preparing the manuscript.

Funding

The research was supported by FAO FCA in 2021.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 18.04.2022

Revised 19.05.2022

Accepted 24.05.2022

Введение

Точность и оперативность определения фактического класса бетона при операционном и приемо-сдаточном контроле качества сборных и монолитных железобетонных конструкций имеют важное практическое значение. При этом прямой разрушающий метод определения прочности бетона не всегда позволяет надежно контролировать качество бетона в производственных условиях: прочность бетона в стандартных бетонных образцах может значительно отличаться от фактической прочности в конструкциях, так как их объем составляет ничтожно малую долю от объема конструкций, кроме того, условия уплотнения и твердения бетона образцов также существенно отличаются от их реальных условий в конструкциях.

Эффективный контроль качества бетона состоит в определении его прочности непосредственно в конструкциях и сооружениях без их разрушения, так называемыми неразрушающими методами, многие из которых основаны на современных достижениях физики. Существующие методы неразрушающих испытаний прочности бетона многочисленны и разнообразны по сложности: от простых механических молотков до электронных приборов.

В настоящее время неразрушающие методы контроля прочности бетона широко применяются не только в России и СНГ, но и в странах Западной и Восточной Европы, США, Канаде и т. д., а их развитию уделяется большое внимание.

На данный момент разработаны достаточно точные неразрушающие методы, позволяющие решить практически все вопросы контроля прочности бетона (ГОСТ 17624-2012, ГОСТ 22690-2015, ГОСТ 31914-2012) и оценки его фактического класса (ГОСТ 18105-2018).

В ряде таких случаев, как, например, контроль распалубочной прочности, когда не требуется оценка класса бетона, оправдано применение экспресс-методов оценки прочности, основанных на использовании простых приборов и методик, доступных для строительных организаций – производителей работ. Одним из таких методов может стать метод погружения стальных дюбелей, получивший распространение в Европе и США.

Обзор отечественной и зарубежной литературы

Метод определения прочности бетона путем погружения стальных дюбелей применялся в нашей стране и за рубежом с 60-х гг. прошлого века [1] и основан на погружении стального дюбеля с помощью строительного монтажного пистолета за счет энергии воспламенения порохового заряда. Подробное описание этого метода приведено в патенте на изобретение



Рис. 1. Набор инструментов и приспособлений для применения метода контроля прочности бетона «Windsor-test»
Fig. 1. Windsor Probe System Contents

РФ [2]. Данный метод был рекомендован для контроля прочности тяжелых и легких бетонов и представлен как косвенный, требующий привязки к прямым методам [3, 4].

В зарубежных нормативных документах получили распространение два схожих метода контроля. Первый из них, «Windsor-test» [13], применяется для контроля прочности тяжелого и легкого бетона прочностью на сжатие от 3,6 до 110 МПа и предполагает применение специально изготовленных для этого метода патронов и инденторов, не имеющих широкого распространения и не используемых иначе в строительстве (рис. 1). Применению данного метода посвящены стандарты: ASTM C 803-02 [5] в Северной Америке и BS 1881-207 [6] в Великобритании.

Связь между прочностью бетона и глубиной погружения стандартного индентора указывает производитель прибора с учетом твердости щебня по шкале Мооса [13], где твердость щебня определяется либо в пробах, взятых на заводе-изготовителе бетона, либо по образцам, отобраным из конструкции. Как отмечают авторы [10], часто эта связь недостаточно точна, и требуется построение градуировочной зависимости на стандартных образцах, испытываемых на сжатие в прессе.

Основными факторами, влияющими на изменчивость показаний прочности с применением метода «Windsor-test», по мнению авторов [10], являются: ошибки оператора, неисправность оборудования, размер заполнителя и неоднородность бетона как конструкционного материала, но наибольшую погрешность, как принято считать, привносит размер заполнителя: при крупности заполнителя 20 мм коэффициент вариации может составлять 5 %, при 55 мм – до 14 %. Тем не менее, как отмечают авторы [10], данный метод можно успешно применять в случае определения распалубочной прочности, где требования к точности не столь высоки.

Методика требует выполнения не менее трех выстрелов на участке контроля и содержит требования по допустимой изменчивости проведенных замеров, не содержит требований или ограничений по возрасту, водонепроницаемости или влажности бетона, однако требует либо подтверждения данных по твердости заполнителя, либо уточнения зависимости по результатам испытания стандартных образцов бетона.

Второй метод – комбинированный метод пенетрации и сопротивления вырыву [12] – основан на зависимости прочности бетона от отношения усилия вырыва P к глубине погружения дюбеля L . Наиболее полное описание метода изложено в инструкции по контролю прочности мелкозернистого бетона фирмы Hilti [8]. Методика основана на погружении стандартных стальных дюбелей одной определенной марки с помощью порохового пистолета Hilti-DX-450 и зарядов пониженной мощности (с зеленой и желтой цветовой маркировкой патронов). Инструкция содержит указания по количеству испытаний на участке контроля (10 выстрелов с расстоянием между дюбелями не менее 8 см и расстоянии до края не менее 10 см), указания по измерению глубины погружения, усилия вырыва, отбраковке выпадающих результатов и оценке результатов контроля. Прочность бетона определяется в диапазоне 2–16 МПа при применении зеленого патрона и 17–56 МПа при применении желтого патрона. Прочность бетона (цилиндровая прочность) определяется по универсальным градуировочным зависимостям, представленным на рис. 2, в зависимости от отношения усилия вырыва F к глубине погружения дюбеля L :

$$f_c = (F/L + 2.7)/7.69 \text{ (зеленый патрон)} \quad (1)$$

$$f_c = 0.152 * F/L - 1.82 \text{ (желтый патрон)} \quad (2)$$

Методика Hilti применяется только для мелкозернистого торкретбетона и не имеет ограничений по его влажности, водонепроницаемости и возрасту. Методика содержит требование по оценке результатов контроля по стандарту EN 12504-1, согласно которому все неразрушающие методы, в том числе рассматриваемый метод, являются косвенными и требуют привязки к конкретному объекту испытаний по результатам испытания отобранных из бетона кернов. Методика не содержит данных о точности метода контроля.

Немецкий стандарт DIN EN 14488-2 [9] содержит требования и ограничения к методу контроля, аналогичные требованиям [8], однако содержит градуировочные зависимости для бетонов с различной крупностью заполнителя:

- для тяжелого бетона с крупностью заполнителя 8 мм и менее:

$$R = (F/L + 2.7)/7.69, \quad (3)$$

- для тяжелого бетона с крупностью заполнителя 16 мм и менее:

$$R = (F/L + 0.02)/6.69, \quad (4)$$

- для силикатного бетона с крупностью заполнителя 16 мм и менее:

$$R = (F/L + 3.32)/5.13. \quad (5)$$

Стандарт [9] применяется для контроля прочности бетонов от 3 до 16 МПа. В стандарте отмечается, что в настоящее время нет данных о точности метода.

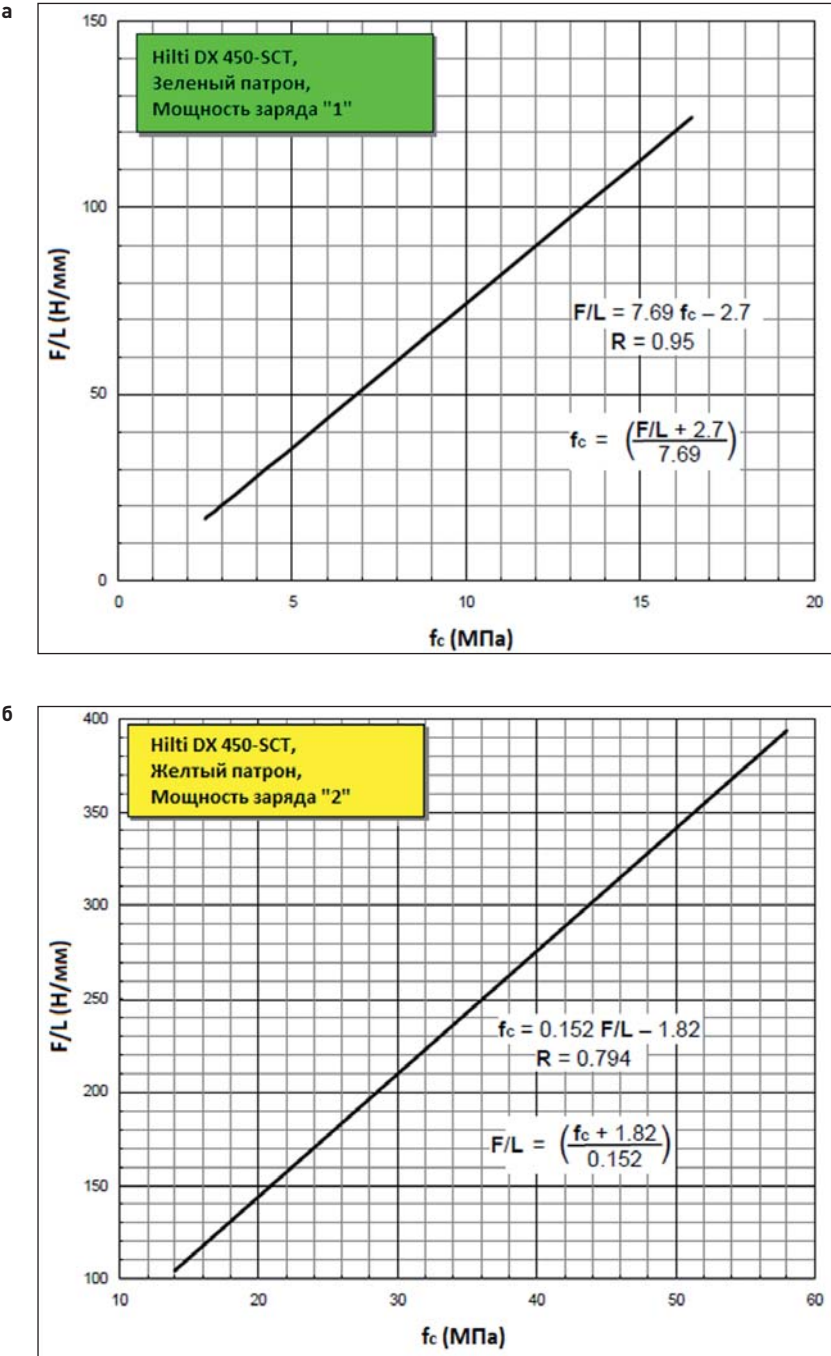


Рис. 2. Универсальные градуировочные зависимости фирмы Hilti [8] для определения прочности бетона с размером крупного заполнителя 8 и 11 мм с использованием пистолета DX 450-SCT с зелеными (а) и желтыми (б) патронами

Fig. 2. Hilti standard calibration curves [8] for determining concrete strength having a coarse aggregate of 8 and 11 mm using a DX 450-SCT gun equipped with green (a) and yellow (б) cartridges

В литературе [7, 11] также имеются сведения об использовании пневматических пистолетов для погружения дюбелей.

Таким образом, имеющиеся зарубежные и отечественные исследования указывают на то, что рассматриваемый метод является косвенным и требует корректировки с помощью привязки к результатам контроля прямыми неразрушающими методами.

Следует отметить, что для стандартизованного метода «Windsor-test» [5, 6, 10, 13] не указано требование по допустимому разбросу «мощности» порохового заряда и допустимой изменчивости геометрических характеристик индентора. Однако указано, что применение метода допускается только для специально изготовленных для этого метода пистолета, патрона и индентора, поставляемых производителем в комплекте и больше нигде не применяемых. По-видимому, калибровка указанного оборудования и допуск к его применению осуществляются производителем оборудования.

Стандартизованный европейский метод [9] допускает применение обычных патронов для строительных работ, разброс мощности которых составляет $\pm 20\%$ от среднего номинального значения и одной определенной марки дюбелей, допускает оценку прочности в ограниченном диапазоне: от 3 до 16 МПа.

Стандарт организации Hilti [8] также допускает применение обычных патронов для строительных работ, разброс мощности которых составляет $\pm 20\%$ от среднего номинального значения и одной определенной марки дюбелей, но допускает оценку прочности только мелкозернистого торкрет-бетона.

Оба стандарта [8, 9], допускающие применение обычных патронов для строительных работ, не содержат указаний по точности метода и прямых зависимостей прочности от глубины погружения дюбеля, а содержат зависимости прочности от отношения усилия вырыва (P или F) к глубине погружения дюбеля (L). Это является следствием более высокой корреляции прочности бетона с этим соотношением (P/L или F/L), чем с глубиной погружения дюбеля (L) [12]. Одной из причин этого может быть разброс мощности обычных патронов для строительных работ.

Согласно данным производителей, разброс мощности имеющихся в настоящее время на рынке патронов от среднего номинального значения составляет $\pm 16\%$ для отечественных производителей и $\pm 50\%$ – для иностранных. В результате точность метода и корреляционные зависимости прочности от глубины погружения дюбеля могут оказаться значительно хуже, чем для ранее исследованных методов.

Вывод

Анализ материалов зарубежных и отечественных исследований, а также зарубежных нормативных документов выявил существенные ограничения для применения метода определения прочности бетона в конструкциях, основанного на связи с глубиной погружения стального стержня под действием энергии порохового заряда.

Наибольшее влияние на точность и возможность применения данного метода оказывают твердость, вид и крупность заполнителя. Не менее существенное влияние оказывают разброс мощности порохового заряда и параметры индентора: для специально изготовленных комплектов оборудования (пистолетов, зарядов и инденторов) стандартизованы градуировочные зависимости; для обычных пистолетов, патронов и дюбелей, применяемых

в строительстве, стандартизированы градуировочные зависимости только для отдельных видов бетонов или бетонов низкой прочности, при этом приведены не зависимости прочности от глубины погружения, а зависимости прочности от производной характеристики – отношения усилия вырыва дюбеля к глубине его погружения. Наиболее вероятной причиной является более высокая допустимая изменчивость мощности выстрела порохового заряда для обычного общестроительного оборудования по сравнению со специально изготовленным оборудованием.

Доступные для анализа зарубежные стандарты регламентируют применение рассматриваемого метода контроля в качестве косвенного метода, требующего корректировки с учетом результатов испытаний стандартных образцов или кернов, отобранных из конструкций, и не содержат данных по точности метода такого контроля.

Список литературы

1. Разработка новых прямых механических неразрушающих способов определения прочности бетона. Отчет о НИОКР. Рег. № НИОКТР АААА-А16-116020310269-5. Рег. № ИКРБС 20161225-НИП-013. Москва: НИИЖБ; 2021.
2. Торицын И.В., Несветайло В.М. Способ определения прочности по глубине погружения дюбеля-гвоздя в тестируемый бетон и дюбель-гвоздь. Патент РФ № 2706390. Оpubл. 18.11.2019.
3. Росляков П.С. Определение прочности бетона строительно-монтажным пистолетом СМП-1. Москва: Госстройиздат; 1962.
4. Скрамтаев Б.Г., Лещинский М.Ю. Испытание прочности бетона в образцах, изделиях и сооружениях. Москва: Стройиздат; 1964.
5. ASTM C803-02 Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2003.
6. BS 1881-207 Testing Concrete. Recommendations for the assessments of concrete strength by near-to-surface tests. London, UK: British Standards Institute; 1992.
7. Ciancio D., Helinski M. The use of shear wave velocity for assessing strength development in fibre reinforced shotcrete. In: Shotcrete: Elements of a System. London: CRC Press; 2010. pp. 75–80. <https://doi.org/10.1201/b10545-11>
8. Determination of the early strength of sprayed concrete with stud driving method Hilti DX 450-SCT. Operating instructions. Schaan, Liechtenstein: Hilti Corp., 2011.
9. DIN EN 14488-2 Testing sprayed concrete – Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete. German version EN 14488-2:2006. Berlin, Germany : German Institute for Standardization; 2012.
10. Helal J., Sofi M., Mendis P. Non-destructive testing of concrete: A review of methods. Electronic Journal of Structural Engineering. 2015;14(1):97–105.
11. Iwaki K., Hiram A., Mitani K., Kaise S., Nakagawa K. A quality control method for shotcrete strength by pneumatic pin penetration test. NDT & E International. 2001;34(6):395–402. [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(01\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(01)00006-8)
12. Indirekte Verfahren zur Druckfestigkeitsbestimmung von Spitzbeton. Innsbruck; 1998.
13. Z-WP-534. Windsor Probe System. Operator's Manual. Chicago, IL, USA: James Instruments Inc.; 2018.

References

1. Development of new direct mechanical non-destructive methods for determination of concrete strength. R&D report. Reg. № АААА-А16-116020310269-5. Bibl. reg. № 20161225-НИП-013. Moscow: NIIZHB; 2021. (in Russian).
2. Toritsyn I.V., Nesvetailo V.M. A method for determining the strength by the depth of immersion of the dowel-nail into the tested concrete and the dowel-nail. Patent of the Russian Federation № 2706390. Publ. date 18.11.2019. (in Russian).

3. *Roslyakov P.S.* Determination of concrete strength using construction and assembly gun SMP-1. Moscow: Gosstroizdat Publ.; 1962. (in Russian).
4. *Skramtaev B.G., Leshinsky M.Yu.* Testing the concrete strength in test-samples, construction product and structures. Moscow: Stroizdat Publ; 1964. (in Russian).
5. ASTM C803-02 Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2003.
6. BS 1881-207 Testing Concrete. Recommendations for the assessments of concrete strength by near-to-surface tests. London, UK: British Standards Institute; 1992.
7. *Ciancio D., Helinski M.* The use of shear wave velocity for assessing strength development in fibre reinforced shotcrete. In: Shotcrete: Elements of a System. London: CRC Press; 2010. pp. 75–80. <https://doi.org/10.1201/b10545-11>
8. Determination of the early strength of sprayed concrete with stud driving method Hilti DX 450-SCT. Operating instructions. Schaan, Liechtenstein: Hilti Corp., 2011.
9. DIN EN 14488-2 Testing sprayed concrete – Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete. German version EN 14488-2:2006. Berlin, Germany : German Institute for Standardization; 2012.
10. *Helal J., Sofi M., Mendis P.* Non-destructive testing of concrete: A review of methods. Electronic Journal of Structural Engineering. 2015;14(1):97–105.
11. *Iwaki K., Hiram A., Mitani K., Kaise S., Nakagawa K.* A quality control method for shotcrete strength by pneumatic pin penetration test. NDT & E International. 2001;34(6):395–402. [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(01\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(01)00006-8)
12. Indirekte Verfahren zur Druckfestigkeitsbestimmung von Spitzbeton. Innsbruck; 1998.
13. Z-WP-534. Windsor Probe System. Operator's Manual. Chicago, IL, USA: James Instruments Inc.; 2018.

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Ильич Иванов✉, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории железобетонных конструкций и контроля качества НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 5378018@mail.ru

Sergey I. Ivanov✉, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, laboratory of reinforced concrete structures and quality control, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 5378018@mail.ru

Андрей Валерьевич Невский, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории железобетонных конструкций и контроля качества НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lokop888@gmail.com

Andrey V. Nevskii, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, laboratory of reinforced concrete structures and quality control, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lokop888@gmail.com

Денис Александрович Чесноков, инженер по сертификации, АО «Хилти Дистрибьюшн ЛТД», Химки
e-mail: denis.chesnokov@hilti.com

Denis A. Chesnokov, Compliance engineer, JSC "Hilty Distribution LTD", Khimki
e-mail: denis.chesnokov@hilti.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author