

С.И. ИВАНОВ^{1,✉}, В.Н. ЕГОРОВ², В.М. НЕСВЕТАЙЛО²

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 Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве», Рязанский проспект, д. 13, г. Москва, 109052, Российская Федерация

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ПОГРУЖЕНИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ГВОЗДЕЙ

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. С начала 2000-х годов метод был дополнен определением усилия вырыва дюбеля из бетона и определением косвенной характеристики в виде отношения усилия вырыва к глубине погружения дюбеля.

Объектом настоящих исследований являлся метод определения прочности бетонов, основанный на измерении глубины погружения и усилия вырыва дюбель-гвоздя, установленного в бетон.

Цель: разработка требований к проведению испытаний предлагаемым методом, позволяющих его применение в качестве неразрушающего метода контроля прочности бетона.

Материалы и методы. В качестве методов для исследования в настоящей работе применены: анализ имеющихся нормативных документов и технической литературы по данному вопросу; сбор и анализ с использованием методов математической статистики результатов ранее проведенных исследований, разработка программы исследований и назначение параметров, значение которых необходимо контролировать при выполнении исследований; выполнение собственных испытаний и исследований; анализ полученных результатов выполненных исследований с использованием методов математической статистики; анализ влияния различных факторов на результат исследований, исключение не оказывающих влияние факторов; разработка рекомендаций по применению исследуемого метода контроля.

Результаты. Выявлены ограничения для применения исследованного метода и факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность метода: разброс мощности порохового заряда, пара-

метры индентора (забиваемого дюбеля), критерии качества установки дюбеля; разработана методика отбраковки некачественных результатов и обработки результатов испытаний. Определены факторы, не оказывающие существенного влияния на результаты испытаний.

Выводы. С учетом выявленных ограничений разработана методика определения прочности бетона по величине усилия местного разрушения бетона при вырывании дюбель-гвоздя, погруженного в бетон, и даны предложения для внесения в стандарт ГОСТ Р «Бетоны. Определение прочности по глубине погружения дюбель-гвоздя».

Ключевые слова: бетон, прочность, пистолет монтажный, стальной гвоздь, патроны, градуировочная зависимость, метод отрыва со скалыванием, отбор кернов

Для цитирования: Иванов С.И., Егоров В.Н., Несветаило В.М. Неразрушающий метод определения прочности бетонов на основе погружения и извлечения стальных гвоздей // *Бетон и железобетон*. 2023. № 5/6 (619). С. 44–55. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-44-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-44-55)

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет средств ФАУ «ФЦС» в 2023 году.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.11.2023

Поступила после рецензирования 11.12.2023

Принята к публикации 14.12.2023

S.I. IVANOV^{1,✉}, V.N. EGOROV², V.M. NESVETAILO²

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

² State Budgetary Institution of the city of Moscow "Center for Expertise, Research and Testing in Construction", Ryazansky Prospekt, 13, Moscow, 109052, Russian Federation

NON-DESTRUCTIVE METHOD FOR DETERMINING THE STRENGTH OF CONCRETE BASED ON IMMERSION AND EXTRACTION OF STEEL NAILS

Abstract

Introduction. The method of concrete strength control based on immersion of a steel dowel into concrete due to the energy of a powder charge has been used since the 60s of the last century. Since the early 2000s, the method has been supplemented by the definition of the dowel pullout force from concrete and the definition of an indirect characteristic in the form of the ratio of the pullout force to the depth of immersion of the dowel.

The object of the present research was a method for determining the strength of concrete based on measuring the depth of immersion and the pulling force of a dowel nail installed in concrete.

Aim: to develop requirements for testing by the proposed method, allowing its use as a non-destructive method for testing the strength of concrete.

Materials and methods. The following research methods are used in this work: analysis of available regulatory documents and technical literature on this issue; collection and analysis of the results of previously conducted research using mathematical statistics methods, development of a research program and assignment of parameters, the value of which must be controlled when performing research; performance of own tests and research; analysis of the obtained results of the performed research using methods of mathematical statistics; analysis of the influence of various factors on the result of research, exclusion of non-influencing factors; development of recommendations for the use of the studied control method.

Results. The limitations for the application of the investigated method and the factors that have the most significant impact on the accuracy of the method are revealed: the power spread of the powder charge, the parameters of the indenter (plugged dowel), the criteria for the quality of the dowel installation; a method for rejecting of low-quality results and processing test results has been developed. The factors that do not have a significant impact on the test results have been identified.

Conclusions. Taking into account the identified limitations, a method has been developed for determining the strength of concrete by the magnitude of the local destruction force of concrete when pulling out a dowel nail immersed in concrete, and proposals have been made for inclusion in the State Standard R "Concretes. Determination of the strength by the depth of immersion of the dowel-nail".

Keywords: concrete, strength, mounting gun, steel nail, cartridges, calibration dependence, separation method with chipping, core selection

For citation: Ivanov S.I., Egorov V.N., Nesvetailo V.M. Non-destructive method for determining the strength of concrete based on immersion and extraction of steel nails. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 5/6 (619), pp. 44–55. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-44-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-44-55)

Author contribution statements

The authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Funding

The study was carried out at the expense of the Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction (FAU "FCC") in 2023.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.11.2023

Revised 11.12.2023

Accepted 14.12.2023

Введение

По инициативе ГБУ ЦЭИИС в 2018–2023 годах выполнялись научно-исследовательские работы по изысканию новых методов контроля прочности бетона. Разработка и совершенствование новых методов базировались на основе российских патентов [1, 2], которые основаны как на измерении глубины погружения в бетон стальных гвоздей (метод, условно названный авторами «методом погружения») [1], так и на основе совершенствования метода отрыва со скалыванием (метод, названный авторами «методом извлечения») [2]. Результаты этих исследований были оформлены в [3–5]. Результаты проведенных исследований подтвердили возможность применения предложенных методов в качестве косвенных неразрушающих методов.

При проведении исследований по разработке «метода погружения» [1] был выявлен ряд замечаний [6]. С целью устранения этих замечаний в 2023 году исследования были продолжены АО «НИЦ «Строительство» совместно с ГБУ ЦЭИИС. Метод по [1, 3] был дополнен новой косвенной характеристикой, представляющей собой отношение усилия извлечения гвоздя к глубине его погружения.

Обзор отечественной и зарубежной литературы

Метод контроля прочности бетона на основе погружения стального гвоздя за счет энергии порохового заряда применяется с 60-х годов прошлого века. Следует отметить, что по классификации отечественных [7] и зарубежных [8–10] нормативных документов метод отрыва со скалыванием является прямым неразрушающим методом. Косвенная характеристика при применении метода отрыва со скалыванием –

это усилие вырыва (извлечения) анкера специальной конструкции с фиксированной глубиной установки. Напротив, в исследуемом методе глубина установки стального гвоздя (анкера) – величина переменная, зависит от мощности патрона. При этом косвенной характеристикой является отношение усилия извлечения дюбель-гвоздя (анкера) к глубине его погружения. Следовательно, хотя в результате испытания и образуется локальное разрушение в виде конуса выкалывания, сходное по форме с результатом испытаний методом отрыва со скалыванием, метод не может быть отнесен к «методу отрыва со скалыванием». По зарубежной классификации [11–13] исследуемый метод относится к «методу сопротивления проникновению». В российской классификации методов, основанных на погружении и (или) извлечении стального дюбель-гвоздя, нет. Факторы, оказывающие влияние на результат испытаний в исследуемом методе, существенно отличаются от таковых для метода отрыва со скалыванием [14, 15]. Как будет показано далее, для исследуемого метода корреляция между прочностью бетона и усилием извлечения гвоздя оказывается существенно ниже корреляции между прочностью бетона и косвенной характеристикой – отношением усилия извлечения гвоздя к глубине его погружения.

Основные ограничения по применению исследуемого метода представлены в [6, 16].

В результате извлечения стального гвоздя бетон разрушается, принимая вид конуса, похожего по форме на локальное разрушение после извлечения анкера в методе отрыва со скалыванием (рис. 1).



Рис. 1. Конус выкалывания и вид дюбеля после испытания на вырыв
Fig. 1. The chipping cone and the view of dowel after the pullout test

В исследованиях [17] показано, что для изучаемого метода контроля коэффициент корреляции между прочностью бетона и усилием вырыва составляет $r = 0,57$, между прочностью бетона и глубиной погружения – $r = 0,81$, между прочностью бетона и отношением усилия вырыва к глубине погружения – $r = 0,82$. Поэтому исследуемый метод нормирован как косвенный неразрушающий метод, в котором в качестве косвенной характеристики принято отношение усилия вырыва к глубине погружения [11].

Следует отметить, что применяемое в зарубежных исследованиях оборудование (пистолеты, патроны и стальные гвозди-инденторы) коренным образом отличается от российских аналогов. Учитывая это обстоятельство, а также то, что оборудование зарубежного образца недоступно в настоящее время в России, исследования проводились только с использованием отечественного оборудования и расходных материалов (патронов и гвоздей).

Результаты проведенных исследований

В качестве методов исследования в настоящей работе были применены:

- анализ имеющихся нормативных документов и технической литературы по данному вопросу;
- сбор и анализ с использованием методов математической статистики результатов ранее проведенных исследований;
- разработка программы исследований и назначение параметров, значение которых необходимо контролировать при выполнении исследований;
- выполнение собственных испытаний и исследований;
- анализ полученных результатов с использованием методов математической статистики результатов выполненных исследований;
- анализ вливания различных факторов на результат исследований и исключение не оказывающих влияние факторов;
- разработка рекомендаций по применению исследуемого метода контроля.

Исследования выполнялись для тяжелых бетонов проектных классов от В15 до В50 на монолитных железобетонных конструкциях зданий и сооружений, строящихся в Москве, после их твердения в течение 28 суток при температуре от 20 до 25 °С. Исследования проводились при положительной температуре бетона от 15 до 35 °С.

Подготовка к испытаниям включала в себя проверку используемых приборов в соответствии с инструкциями по их эксплуатации и предварительное назначение участков измерений с целью подбора мощности патронов таким образом, чтобы обеспечить погружение дюбелей на глубину 20–45 мм. Размеры фрагментов монолитной конструкции выбирались таким образом, чтобы обеспечить расстояние между участками испытаний исследуемым неразрушающим методом не менее 20 диаметров дюбеля (но не менее чем 80 мм). Расстояние между местами погружения дюбель-гвоздей, толщина конструкции и расстояние от ее края составляли не менее 100 мм. В плане участки измерений представляли собой 24 ячейки (рис. 2), образованные проекцией стержней арматурного каркаса на поверхность конструкции.

Для определения прочности были изготовлены образцы из кернов, извлеченных из конструкций по ГОСТ 28570-2019 [18]. Были использованы стальные закаленные дюбель-гвозди диаметром 4,5 мм и длиной 50 или 60 мм [19]. Для погружения дюбелей был использован пистолет монтажный пороховой марки GFT 5 [20]. При выборе пистолета для забивки дюбель-гвоздей принципиально важным требованием к пистолетам для погружения стальных гвоздей в бетон являлось наличие у них приспособления для обеспечения перпендикулярности погружения дюбель-гвоздя (рис. 3).

В качестве источника энергии при погружении дюбель-гвоздей использовались патроны промышленные, снаряженные пороховым зарядом калибра 6,8/18. Использовались три вида патронов: со сред-



Рис. 2. Стена после выбуривания кернов и извлечения дюбель-гвоздей
Fig. 2. The wall after drilling the cores and removing the dowel nails



Рис. 3. Установка дюбель-гвоздей с помощью пистолета GFT 5
Fig. 3. Installing dowel nails using a GFT 5 pistol

ней мощностью 350 Дж (по паспорту имели колебания мощности 27 %), со средней мощностью 450 Дж (имели колебания мощности 23 %) и со средней мощностью 650 Дж (имели колебания мощности 20 %). Извлечение дюбель-гвоздей выполнялось с использованием специально изготовленного съемного захвата, закрепляемого в прибор ПОС-50, входящий в комплект оборудования к методу отрыва со скалыванием (рис. 4).

В процессе погружения и последующего извлечения стальных гвоздей контролировалось наличие или же отсутствие изгиба гвоздя как выше, так и ниже поверхности бетона, выполнялось измерение размеров призмы выкалывания (рис. 5).

Точность измерения прочности бетона по кернам составляла 0,1 МПа, точность измерения погружения гвоздя составляла 0,1 мм, точность определения усилия извлечения гвоздя составляла 0,01 кН.

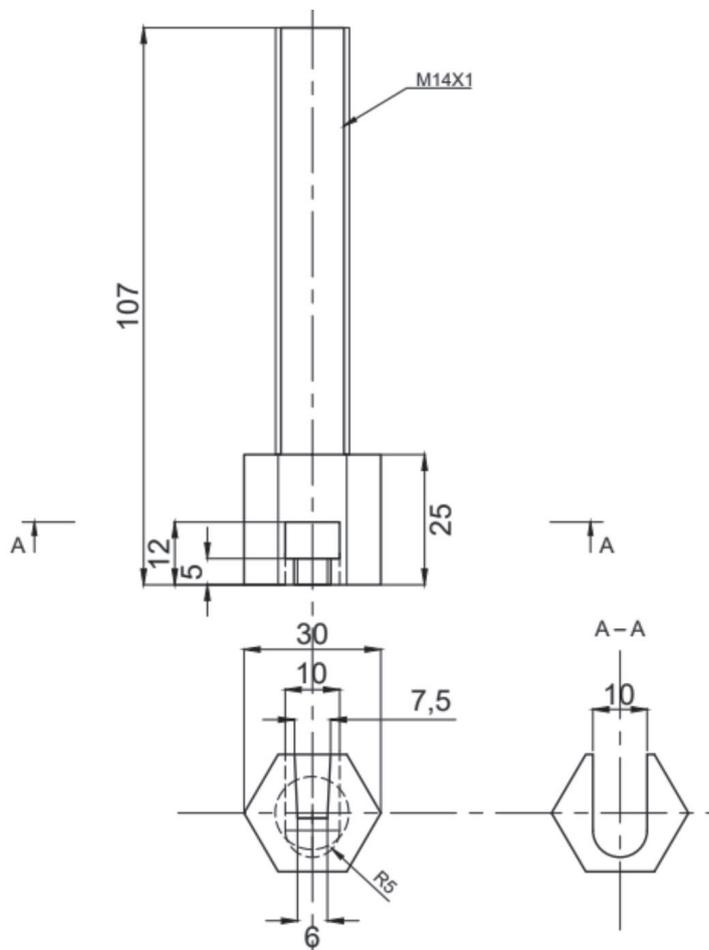


Рис. 4. Захватное приспособление для испытания дюбеля на вырыв, устанавливаемое в прибор ПОС-50
 Fig. 4. Gripping device for testing the dowel for pullout, installed in the POS-50 device



Рис. 5. Искривление выступающей (а) и заглубленной (б) части дюбеля
Fig. 5. Curvature of the protruding (a) and recessed (b) parts of the dowel

По результатам испытаний определялась глубина погружения дюбеля, усилия вырыва, рассчитывалась косвенная характеристика – отношение усилия вырыва (Н) к глубине (мм), размерность косвенной характеристики (Н/мм) для каждого дюбеля. При этом результаты испытаний, имеющие отклонения от нормальной формы разрушения в виде конуса, загиб выступающей или заглубленной части дюбеля (рис. 5), отбраковывались и в расчете не учитывались.

По описанной выше методике было получено 30 серий испытаний в монолитных бетонах с прочностью от 15 до 55 МПа, было сделано 558 погружений дюбелей, из которых в различных сериях, в связи с загибом дюбелей, было отбраковано от 18 до 62 % значений, в среднем – 36 %.

Анализ результатов

Выявлены ограничения для применения исследованного метода и факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность метода:

- разброс мощности порохового заряда;
- параметры индентора (забиваемого гвоздя);
- качество установки дюбель-гвоздя.

Была разработана методика отбраковки некачественных результатов и вычисления среднего значения при обработке результатов измерений. Определены факторы, не оказывающие существенного влияния на результаты испытаний.

Построение градуировочных зависимостей между контролируемой косвенной характеристикой и прочностью бетона, определенной по контрольным образцам-кернам, выполнялось согласно требованиям Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7].

Была проанализирована необходимость исключения выпадающих значений, отличающихся от среднего на 10 и 20 %. Было установлено, что при исключении значений, отличающихся от среднего на 10 %, отбраковка значений по условию Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7] не требовалась в отличие от зависимостей, построенных без исключения и с исключением значений, отличающихся от среднего на 20 %. В результате количество точек для построения градуировочной зависимости уменьшается, а значит, снижается точность градуировочной зависимости.

Градуировочная зависимость, построенная с учетом исключения выпадающих значений, отличающихся от среднего на 10 % в каждой серии, представлена на рис. 6.

По данным, представленным на рис. 6, следует, что построенная градуировочная зависимость удовлетворяет требованиям п. Е.5 ГОСТ 22690-2015 [7], следовательно, может применяться для контроля прочности бетона исследуемым методом.

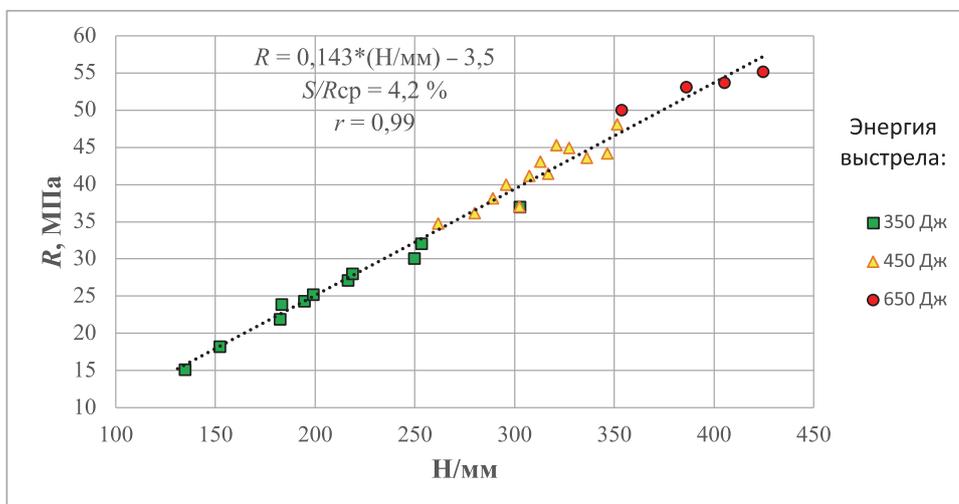


Рис. 6. Градуировочная зависимость с разделением значений с учетом энергии выстрела
 Fig. 6. Calibration dependence with separation of values taking into account the energy of the shot

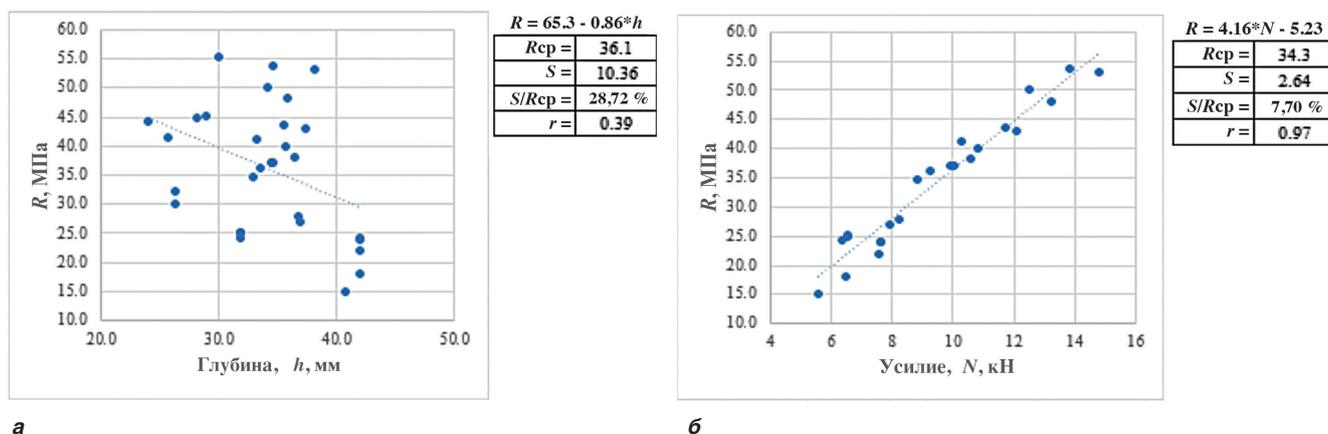


Рис. 7. Градуировочная зависимость прочности бетона от глубины погружения (а) и усилия вырыва (б) дюбеля
 Fig. 7. The calibration dependence of the strength of concrete on the depth of immersion (a) and the pull-out force (b) of the dowel

Для сравнения, на рис. 7 представлены градуировочные зависимости между прочностью бетона, глубиной погружения дюбеля и усилием вырыва дюбеля. При построении зависимостей по условию п. Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7] было отбраковано 2 и 9 серий соответственно.

По данным, представленным на рис. 6 и 7, установлено, что исследуемый метод контроля прочности имеет существенно лучшую корреляцию с прочностью бетона, чем корреляция между прочностью бетона и глубиной погружения дюбеля и корреляция между прочностью бетона и усилием вырыва.

Факторы, влияющие на результаты испытаний

Учет диапазона изменения значений прочности: для построенной зависимости (рис. 6) наибольшие и наименьшие значения прочности бетона находятся в диапазоне 0,4–1,5 от среднего значения, что является нарушением требований условия п. Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7].

Для выполнения требований условия п. Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7] значения были раз-

делены на две группы: серии 1–12 с диапазоном изменения прочности от 15,1 до 32,1 МПа и серии 13–30 с диапазоном изменения прочности от 37,0 до 55,2 МПа.

Для каждой из групп были построены градуировочные зависимости. Результаты представлены в табл. 1, содержащей параметры построенных градуировочных зависимостей.

По данным, представленным в табл. 1, следует, что при отсутствии исключения выпадающих значений и исключения значений, превышающих более 20 % от среднего, появляются серии, не удовлетворяющие требованию условия п. Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7].

При исключении выпадающих значений, отличающихся от среднего значения более чем на 10 %, такие серии не появляются.

Таким образом, на стадии расчета среднего значения в серии испытаний исключение значений, отличающихся от среднего на 10 % и более, позволяет избежать отбраковки значений при построении градуировочной зависимости, это позволяет повысить точность градуировочных зависимостей.

Таблица 1
Table 1

**Параметры градуировочных зависимостей
Parameters of calibration dependencies**

Вариант расчета среднего значения косвенной характеристики в серии	Серии, по которым построена зависимость	Уравнение градуировочной зависимости	Количество отбракованных серий по условию п. Е.6 ГОСТ 22690-2015 [7]	<i>r</i>	<i>S/R</i>
без исключения выпадающих значений	1–12	$R = 0,131^*(H/мм) - 1,46$	–	0,98	4,40 %
	13–30	$R = 0,140^*(H/мм) - 2,16$	4	1,00	0,70 %
	1–30	$R = 0,147^*(H/мм) - 4,63$	6	1,00	1,20 %
с исключением значений более 10 %	1–12	$R = 0,133^*(H/мм) - 1,65$	–	0,98	3,60 %
	13–30	$R = 0,139^*(H/мм) - 1,97$	–	0,96	4,10 %
	1–30	$R = 0,143^*(H/мм) - 3,50$	–	0,99	4,20 %
с исключением значений более 20 %	1–12	$R = 0,129^*(H/мм) - 1,46$	–	0,97	4,80 %
	13–30	$R = 0,136^*(H/мм) - 0,89$	4	0,99	2,50 %
	1–30	$R = 0,145^*(H/мм) - 4,30$	3	0,99	3,80 %

Для обеспечения соответствия требованиям п. 7.1.4 ГОСТ 22690-2015 [7], предъявляемым ко всем косвенным методам контроля прочности бетона, рекомендуется учитывать требование об исключении выпадающих значений, отличающихся от среднего на 10 % и более.

Для дальнейшего анализа были приняты значения, рассчитанные с учетом указанного требования (рис. 6).

Для сравнения, построенные градуировочные зависимости (табл. 1) представлены на рис. 8.

По данным, представленным на рис. 8, следует, что при использовании градуировочных зависимостей в пределах своих допустимых диапазонов изменения косвенной характеристики, отличия в определении прочности бетона не превышают 3 МПа.

Таким образом, на основании приведенного выше анализа установлено, что предлагаемый метод контроля показал удовлетворительную корреляцию с

прочностью бетона, позволяющую применять его в качестве косвенного метода контроля прочности бетона. Погрешность определения прочности бетона предлагаемым методом следует определять как для любого косвенного метода согласно требованиям ГОСТ 22690-2015 [7]. Величина этой погрешности предлагаемого метода сопоставима с погрешностью других косвенных методов по ГОСТ 22690-2015 [7].

Вид применяемого дюбель-гвоздя: по результатам испытаний установлено, что положительный результат может быть достигнут только при использовании закаленных дюбель гвоздей, изготовленных согласно ТУ 14-4-1731-92 [19].

Для не закаленных дюбель-гвоздей жесткость дюбелей значительно падает. Глубина установки, при которой отсутствует изгиб погруженной в бетон части дюбеля, значительно снижается. В результате необходимая длина дюбелей, обеспечивающая погружение дюбеля без наклона выступающей части, снижается с 60 до 50 мм. Это препятствует возможности обеспечить глубину установки более 25 мм. Поэтому использование не закаленных дюбель-гвоздей не допускается.

Для исключения отрицательного влияния изменчивости в геометрии дюбель-гвоздей различных производителей рекомендуется при построении градуировочной зависимости и при последующем контроле прочности бетона использовать дюбель-гвозди одной партии.

Вид применяемого для погружения дюбель-гвоздя оборудования: исследование других видов оборудования (пневматического, механического), кроме порохового пистолета, не входило в объем работ выполненного исследования. Исследование различных видов пороховых пистолетов также не входило в объем работ выполненного исследования. Отмеченные вопросы могут быть рассмотрены позднее, при продолжении исследования метода.

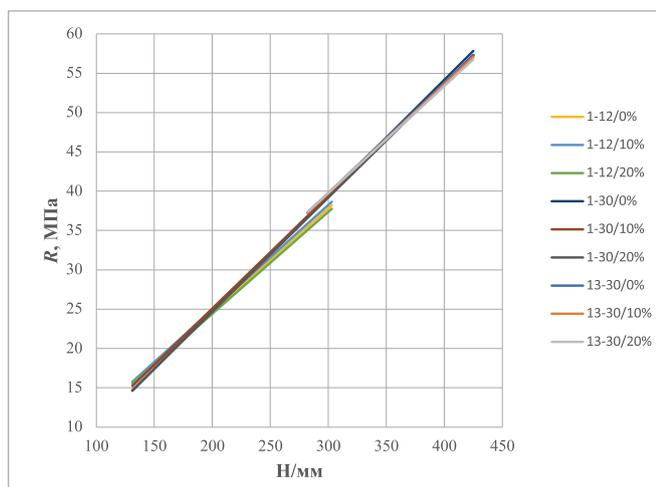


Рис. 8. Сравнение градуировочных зависимостей, представленных в табл. 1

Fig. 8. Comparison of the calibration dependencies presented in Table 1

Как указано в [3], энергия выстрела патронов одной номинальной мощности (одного цвета) может изменяться в широких пределах. Для исключения отрицательного влияния изменчивости энергии порохового выстрела рекомендуется при построении градуировочной зависимости и контроле прочности бетона использовать один и тот же тип (марку) порохового пистолета и патроны одной партии. Перед началом работ следует предусмотреть предварительный этап работ, связанный с подбором энергии патрона таким образом, чтобы обеспечить глубину установки дюбеля от 20 до 45 мм без наклона и искривления заглубленной части.

На рис. 6 цветом выделены результаты, полученные при использовании патронов с различной энергией.

По данным, представленным на рис. 6, следует, что применение патронов с различной энергией, обеспечивающих установку дюбелей на требуемую глубину, допустимо с точки зрения обеспечения требований п. Е.5 ГОСТ 22690-2015 [7] и позволяет расширить диапазон градуировочной зависимости.

Количество испытаний на участке контроля: в выполненном исследовании в среднем на каждом участке контроля было сделано 19 испытаний, по внешним признакам было отбраковано 7 значений, при расчете среднего были использовано $5,57 \approx 6$ значений.

То есть из общего числа испытаний по внешним признакам (искривлению гвоздей) браковалось 36 %, а при расчете среднего исключалось до 50 % значений.

Для выполнения требования о наличии не менее 10 значений для расчета среднего необходимое количество испытаний составит ориентировочно $10/(1-0,7) \approx 33$ значения.

Такое количество испытаний не может быть признано рациональным для применения. Поэтому для

выполнения контроля рекомендуется принимать значения, полученные в настоящей работе, позволившие выполнить построение градуировочных зависимостей, а именно – необходимое количество испытаний на вырыв анкеров составит ориентировочно $5,57/(1-0,7) = 18,57 \approx 18$ значений.

При выполнении испытаний для обеспечения возможности отбраковки по внешним признакам рекомендуется назначать не менее 18 испытаний на одном участке контроля.

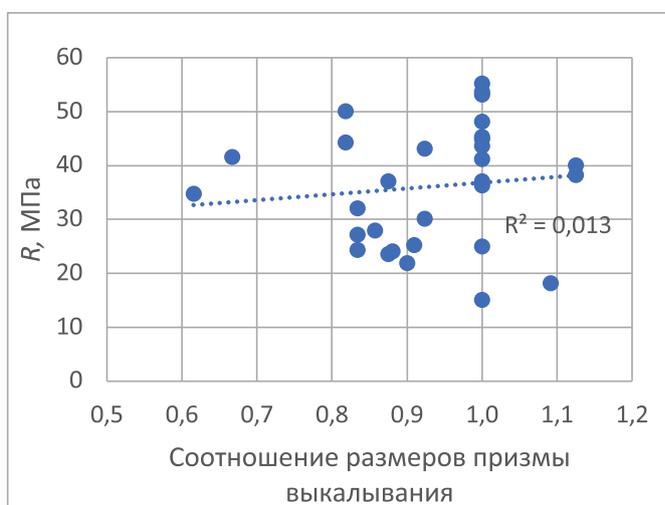
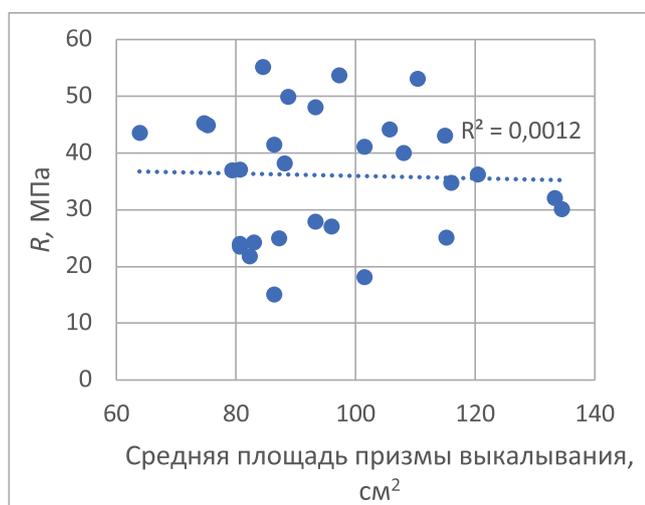
Необходимое количество дюбелей после отбраковки по внешним признакам для расчета среднего значения составляет ориентировочно $18 \cdot (1-0,36) = 11,5 \approx 12$ значений.

Учет влияния глубины отрыва, размеров и формы призмы выкалывания: на рис. 9 приведены зависимости прочности бетона от средней площади призмы выкалывания, соотношения размеров призмы выкалывания, а также коэффициент корреляции в квадрате.

По данным, представленным на рис. 9, следует, что корреляционной зависимости прочности бетона от площади и соотношения размеров призмы выкалывания с коэффициентом корреляции более 0,75 не выявлено.

Площадь и соотношение размеров призмы выкалывания не имеют статистически значимой корреляционной связи с прочностью бетона, их влияние на результат испытаний отсутствует. Поэтому при выполнении испытаний фиксация размеров призмы выкалывания не требуется.

По результатам оценки размеров призмы выкалывания в плане установлено, что средний размер призмы выкалывания составляет 97 мм, наибольший размер – 210 мм, наименьший размер – 40 мм. Соотношение размеров в плане меняется от 0,57 до 1,62, что свидетельствует о наличии несимметричного разрушения при выкалывании.



а
Рис. 9. Зависимость прочности бетона от площади (а) и соотношения размеров (б) призмы выкалывания
Fig. 9. The dependence of the strength of concrete on the area (a) and the ratio of the dimensions (b) of the chipping prism

Согласно требованиям п. 7.6.4 ГОСТ 22690-2015 [7] при испытании методом отрыва со скалыванием наибольший и наименьший размеры вырванной части бетона от анкерного устройства до границ разрушения по поверхности конструкции не должны отличаться более чем в два раза, что соответствует соотношению размеров призмы выкалывания в плане 1,5.

С целью исключения влияния выкалывания на несущую способность анкеров их следует располагать на расстоянии не менее четырех глубин установки [21]. В настоящем исследовании глубина установки составляла от 24 до 42 мм, среднее значение – 36 мм. Следовательно, среднее расстояние между анкерами должно составлять от 96 до 168 мм, среднее значение – 144 мм.

Учитывая требования нормативных документов [7, 21] об исключении влияния соседних дюбелей (анкеров) на результаты испытания, а также фактические размеры призм выкалывания в испытаниях, рекомендуется увеличить расстояние между дюбелями со 100 до 150 мм.

Учет технологии изготовления контролируемых конструкций: дополнительно к 30 сериям испытаний, выполненных в монолитном бетоне, была выполнена одна серия испытаний в конструкциях, изготовленных в лабораторных условиях, схожих с заводскими условиями. Результаты представлены на рис. 10.

По данным, представленным на рис. 10, следует, что результаты контроля конструкций с технологией изготовления, отличающейся от технологии возведения монолитных конструкций, на которых была построена градуировочная зависимость, существенно отличаются от использованных при построении градуировочной зависимости значений. Это свидетельствует о необходимости учета требований ГОСТ 22690-2015 [7] и ГОСТ 18105-2018 [22] о применении бетонной смеси одного номинального состава,

единых условиях укладки, уплотнения, твердения бетона, единой технологии формования для контролируемых конструкций и конструкций, на которых выполнялось построение градуировочной зависимости.

Специальные исследования по влиянию состава бетона и его компонентов на точность получаемых результатов в рамках не проводились из-за многофакторности этого влияния. Эти исследования могут стать предметом следующей НИОКР на эту тему. Однако, сравнивая результаты измерений в бетоне с различным типом крупного заполнителя, можно сделать вывод о том, что основное влияние на точность измерений оказывает наличие в составе бетона гранитного щебня. Остальные компоненты бетона: цементный камень, мелкий заполнитель и щебень из гравия и карбонатных пород – оказывают существенно меньшее влияние на точность измерений.

Результаты работ представлены в отчете о НИОКР [23].

Выводы

1. Предложенный и исследованный метод контроля прочности бетона может быть классифицирован как косвенный неразрушающий метод определения прочности бетонов с прочностью от 15 до 55 МПа.
2. Разработана методика неразрушающего контроля прочности, содержащая требования к оборудованию, средствам измерений, а также требования к обработке результатов измерений.
3. В качестве косвенной характеристики следует использовать отношение усилия извлечения дюбель-гвоздя к глубине его погружения.
4. Основное влияние на точность измерений исследованным методом оказывает наличие в составе бетона гранитного щебня. Остальные компоненты бетона: цементный камень, мелкий заполнитель и щебень из гравия и карбонатных пород – оказывают существенно меньшее влияние на точность измерений.

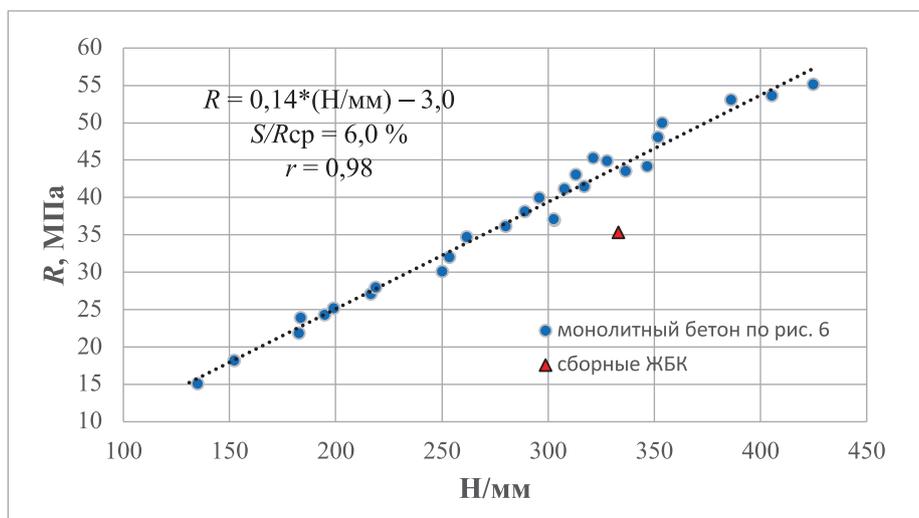


Рис. 10. Градуировочная зависимость по рис. 1 для монолитного бетона с данными контроля сборных конструкций
Fig. 10. Calibration dependence according to Fig. 1 for monolithic concrete with control data of prefabricated structures

5. Перед нормированием исследованного метода рекомендуется выполнить его апробацию в научно-исследовательских организациях и испытательных лабораториях в течение не менее трех лет. В указанный период основанием для применения метода может являться методика раздела 4.5 [23].

После апробации нормирование метода рекомендуется выполнить при разработке актуализированной редакции ГОСТ Р «Бетоны. Определение прочности по глубине погружения дюбель-гвоздя» [5].

6. Наиболее рациональная область применения предлагаемого метода – это тонкостенные или густоармированные конструкции и участки конструкций, чувствительные к качеству поверхности и не позволяющие выполнить испытания другими косвенными методами.

7. Эффект от внедрения предлагаемого метода заключается в расширении области применения косвенных неразрушающих методов контроля прочности, в том числе для конструкций, где контроль не мог быть выполнен вследствие ограничений, изложенных в ГОСТ 22690-2015 [7].

Список литературы

1. Торицын И.В., Несветайло В.М. Способ определения прочности по глубине погружения дюбель-гвоздя в тестируемый бетон и дюбель-гвоздь. Патент на изобретение. Номер патента: RU 2706390 С1.

2. Торицын И.В., Егоров В.Н., Несветайло В.М. Способ определения прочности по усилию выдергивания погруженного дюбель-гвоздя в тестируемый бетон. Патент на изобретение. Номер патента: RU 2724369 С1.

3. Отчет о НИОКР. Разработка новых прямых механических неразрушающих способов определения прочности бетона, Договор № 216/2021 от 24.05.2021 г. Рег. № НИОКТР АААА-А16-116020310269-5 Рег. № ИКРБС 20161225-НИР-013. Москва; 2021.

4. Егоров В.Н., Несветайло В.М., Токарский А.А. Новый неразрушающий метод определения прочности тяжелого бетона // *Технологии бетонов*. 2023. № 3. С. 43–48.

5. Проект ГОСТ Р «Бетоны. Определение прочности по глубине погружения дюбель-гвоздя дюбелей». 2023.

6. Иванов С.И., Невский А.В., Чесноков Д.А. Особенности определения прочности бетона методом погружения стальных дюбелей // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022. № 2 (33). С. 97–105.

7. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Москва: Стандартинформ; 2016.

8. СТБ EN 13791-2009 (EN 13791:2008-05). Оценка прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях. Минск; 2009.

9. EN 12504-3:2005. Testing concrete in structures. Part 3: Determination of pull-out force.

10. ACI 228.2R-98. Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures.

11. DIN EN 14488-2:2006. Testing sprayed concrete. Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete; German version EN 14488-2:2006.

12. ASTM C803/C803M-18. Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete.

13. BS 1881-207:1992. Testing Concrete. Recommendations for the assessments of concrete strength by near-to-surface tests.

14. Вольф И.В., Чуйко П.А., Лихачев В.Д., Хомутченко С.Я., Комаровский А.А. Определение прочности бетона в конструкциях методом вырывания стержней // *Бетон и железобетон*. 1973. № 10. С. 20–22.

15. Марков А.И., Павлов Л.С., Клевцов В.А., Коревицкая М.Г., Матвеев Ю.К. МИ 2016-03 Прочность бетона в конструкциях и изделиях. Методика выполнения измерений при натуральных испытаниях методом вырыва анкера. МИ 2016-03. Москва; 2003.

16. Указания по определению прочности бетона в конструкциях методом динамической пенетрации. Киев; 1989.

17. Leitner Christian Eingereicht an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck Fakultät für Bauingenieurwesen und Architektur, Innsbruck; 1998.

18. ГОСТ 28570-2019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций. Москва: Стандартинформ; 2019.

19. ТУ 14-4-1731-92. Дюбели-гвозди с насаженными шайбами с цинковым покрытием. Технические условия.

20. ТУ 7181-001-90573248-2012. Пистолеты монтажные поршневые GFT5.

21. СТО 36554501-052-2017. Анкерные крепления к бетону. Правила установления нормируемых параметров. Москва: АО «НИЦ «Строительство»; 2017.

22. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ; 2019.

23. Отчет о НИОКР. Совершенствование прямого механического неразрушающего метода определения прочности бетона (отрыв со скалыванием), договор № 32312017073-5/2023 от 21.03.2023 г., Рег. № НИОКТР: 123051100021-4. Москва; 2023.

References

1. Toritsyn I.V., Nesvetailo V.M. A method for determining the strength by the depth of immersion of a dowel-nail into the concrete under test and a dowel-nail. A patent for an invention. Patent number: RU 2706390 C1. (In Russian).

2. Toritsyn I.V., Egorov V.N., Nesvetailo V.M. Method for determining strength by pulling force of a submerged dowel nail into the concrete under test. A patent for an invention. Patent number: RU 2724369 C1. (In Russian).

3. R&D Report. Development of new direct mechanical non-destructive methods for determining the strength of concrete, Contract No. 216/2021 dated 05/24/2021, R&D USISA Reg. No. AAAA16-116020310269-5, ICABI Reg. No. IKRBS 20161225-NIR-013. Moscow; 2021. (In Russian).
4. Egorov V.N., Nesvetailo V.M., Tokarsky A.Ya. A new non-destructive method for determining the strength of heavy concrete. *Technologies of concretes*. 2023, no. 3, pp. 43–48. (In Russian).
5. State Standard R project “Concretes. Determination of the strength by the depth of immersion of the dowel-nail dowels”. 2023. (In Russian).
6. Ivanov S.I., Nevskii A.V., Chesnokov D.A. Specific features of determining concrete strength by stud driving method. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of Science and Research Center of Construction]. 2022, no. 2 (33), pp. 97–105. (In Russian).
7. State Standard 22690-2015. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of nondestructive testing. Moscow: Standartinform Publ.; 2016. (In Russian).
8. STB EN 13791-2009 (EN 13791:2008-05). Assessment of compressive strength of precast concrete structures and elements in real conditions. Minsk; 2009. (In Russian).
9. EN 12504-3:2005. Testing concrete in structures. Part 3: Determination of pull-out force.
10. ACI 228.2R-98. Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures.
11. DIN EN 14488-2:2006. Testing sprayed concrete. Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete; German version EN 14488-2:2006.
12. ASTM C803/C803M-18. Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete.
13. BS 1881-207:1992. Testing Concrete. Recommendations for the assessments of concrete strength by near-to-surface tests.
14. Wolf I.V., Chuiko P.A., Likhachev V.D., Khomutchenko S.Ya., Komarovskiy A.A. Determination of the concrete strength in structures by pulling out rods. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1973, no. 10, pp. 20–22. (In Russian).
15. Markov A.I., Pavlov L.S., Klevtsov V.A., Korevitskaya M.G., Matveev Yu.K. MI 2016-03 Strength of concrete in structures and products. The method of measurements performing during full-scale tests by the method of the anchor pullout. MI 2016-03. Moscow; 2003. (In Russian).
16. Guidelines for determining the strength of concrete in structures by dynamic penetration. Kiev; 1989. (In Russian).
17. Leitner Christian Eingereicht an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck Fakultät für Bauingenieurwesen und Architektur, Innsbruck; 1998.
18. State Standard 28570-2019. Concretes. Methods of strength determination on cores selected from structures. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
19. TU 14-4-1731-92. Dowel-nails with mounted washers with zinc coating. Technical conditions. (In Russian).
20. TU 7181-001-90573248-2012. GFT5 mounting piston pistols (In Russian).
21. STO 36554501-052-2017. Anchoring to concrete. Rules for setting normalized parameters. Moscow: JSC Research Center of Construction; 2017. (In Russian).
22. State Standard 18105-2018. Concretes. Rules for control and assessment of strength. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
23. R&D Report. Improvement of the direct mechanical non-destructive method for determining the strength of concrete (separation with chipping), contract No. 32312017073-5/2023 dated 03/21/2023, R&D USISA Reg. No. 123051100021-4. Moscow; 2023. (In Russian).

Информация об авторах /

Information about the authors

Сергей Ильич Иванов ✉, канд. техн. наук, заведующий лабораторией напрягающих бетонов и самонапряженных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 5378018@mail.ru

Sergey I. Ivanov ✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Straining Concretes and Self-stressed Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 5378018@mail.ru

Виктор Николаевич Егоров, директор ГБУ ЦЭИИС, Москва

e-mail: ceiis@str.mos.ru

Viktor N. Egorov, Director, SBI CERTC, Moscow

e-mail: ceiis@str.mos.ru

Вячеслав Михайлович Несветайло, канд. техн. наук, ведущий инженер отдела обследования и экспертизы несущих и ограждающих конструкций ГБУ ЦЭИИС, Москва

e-mail: nesvetajlo@gmail.com

Vyacheslav M. Nesvetailo, Cand. Sci. (Engineering), Leading Engineer of the Department of Inspection and Examination of Load-bearing and Enclosing Structures, SBI CERTC, Moscow

e-mail: nesvetajlo@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author