ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 691.3

DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.967-975

Проверка качества бетона в существующих конструкциях. Технологии европейских стандартов

А. Мочко¹, М. Мочко¹, В.И. Андреев²

¹ Вроцлавский университет науки и технологии; г. Вроцлав, Польша;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: испытание на прочность кернов, отобранных из существующих конструкций, как правило, считается наиболее надежным источником информации о фактическом качестве бетона. Однако этот постулат верен только отчасти. Несмотря на то, что действующие нормы европейских стандартов разрешают применять испытания отобранных кернов для определения фактического технического состояния конструкций без каких-либо ограничений, в то же время они четко предусматривают, что данные испытания не могут заменить испытания качества бетона на основе стандартных образцов в соответствии с нормами. Целью изучения является получение важной информации о качестве бетона, типе заполнителя, его зернистости, структуре бетона и поиск ответов на следующие вопросы: является ли исследуемый бетон пористым; в какой степени развивается процесс карбонизации на поверхностном слое; есть ли какие-либо дефекты внутри конструкции.

Материалы и методы: рассмотрены методы испытаний отобранных кернов, измерения упругого отскока, метод отрыва со скалыванием, измерения скорости ультразвука.

Результаты: представлен обзор методов определения качества бетона на эксплуатируемых строительных объектах в соответствии с европейскими стандартами. Приведены условия испытаний, рекомендации по калибровке образцов и основные требования для правильной интерпретации данных, полученных с помощью упругого отскока и ультразвуковых измерений. Описаны независимые методы неразрушающего контроля.

Выводы: рассмотрены европейские методы оценки прочности бетона на сжатие в строительных конструкциях. Одним из наиболее перспективных измерений неразрушающего контроля, который может быть применен для проверки качества бетона в существующих конструкциях, представляется метод отрыва со скалыванием, в частности CAPO-TEST. Исследования доказали, что измерения методом отрыва со скалыванием обеспечивают точную оценку прочности непосредственно в конструкции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: европейские стандарты, испытание на прочность кернов, методы неразрушающего контроля, метод отрыва со скалыванием

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мочко А., Мочко М., Андреев В.И. Проверка качества бетона в существующих конструкциях. Технологии европейских стандартов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 8. С. 967–975. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.967-975

Concrete quality testing in existing structures. Methods of european standards

Andrzej Moczko¹, Marta Moczko¹, Vladimir I. Andreev²

¹ Wrocław University of Science and Technology; Wrocław, Poland;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: strength testing of cores cut from existing structures, as a rule, is believed the most reliable source of actual concrete quality information. However, this statement is true in part only. Although current European standards allow applying cut core testing for determination of actual structural condition with no restriction, they foresee that the given testing cannot replace concrete quality testing based on standard specimens taken by with the rules in effect. The study purpose is obtaining relevant information on concrete quality and structure, filler type and granularity, and seeking for answers to the following questions: is the tested concrete porous; to what extent the carbonation is developing on the surface layer; are there any defects in the structure.

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 14, Выпуск 8, 2019
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 14, Issue 8, 2019

Materials and methods: the article considers cut core testing methods, elastic rebound measuring, pull-out method, and ultrasonic velocity measurement.

Results: the article presents a review of methods for concrete quality testing in finished construction projects following the European standards. Test conditions, recommendations on specimen trimming, and main requirements for correct interpretation of the data obtained using elastic rebound and ultrasonic measurements are given. Independent methods of nondestructive testing are described.

Conclusions: the study considers European methods of concrete compressive strength assessment in construction structures. One of the most promising nondestructive test methods which can be applied for concrete quality testing in existing structures seems to be a pull-out method, particularly CAPO-TEST. The research showed that the pull-out tests provide an accurate assessment of strength directly in the structure.

KEYWORDS: European standards, core strength test, nondestructive testing methods, the pull-out method

FOR CITATION: Moczko A., Moczko M., Andreev V.I. Concrete quality testing in existing structures. Methods of european standards. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2019; 14:8:967-975. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.967-975 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие в странах ЕС внесено несколько важных изменений в отношении правового статуса оценки качества бетона. Старые национальные стандарты были заменены единой интегрированной системой стандартных процедур, общих для всех государств-членов ЕС. Вехой изменения инженерной практики в этом аспекте стало внедрение европейского стандарта EN-206-1¹, который в основном ориентирован на условия, обеспечивающие долговечность бетона. Среди прочего, этот документ определяет унифицированные требования для:

- составляющих материалов бетона;
- свойств свежего и затвердевшего бетона и их проверки;
- ограничений по составу бетона;
- спецификации бетона;
- доставки свежего бетона;
- процедур производственного контроля;
- критериев и оценки соответствия нормам.

Новый европейский подход был также введен для традиционного контроля качества бетона (лабораторные испытания) — пакет соответствующих стандартов, указанных в EN 12390², и для испытания бетона в существующих конструкциях (измерения на месте, включая исследования неразруша-

ющего контроля) — группа стандартов, указанных в EN 12504³.

Дополнением к этой теме является европейский стандарт, определенный как EN-13791⁴, который обеспечивает процедуры для правильной интерпретации данных полевых испытаний и оценки прочности бетона на сжатие в конструкциях и сборных железобетонных элементах.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БЕТОНА ПУТЕМ ИСПЫТАНИЯ КЕРНОВ

Испытание на прочность кернов, отобранных непосредственно из существующих конструкций (рис. 1), обычно считается наиболее надежным источником информации о фактическом качестве бетона, используемого в строительстве [1, 2]. Это мнение верно только отчасти. Хотя действующие нормы европейских стандартов разрешают применять испытания отобранных кернов для определения фактического технического состояния конструкций без каких-либо ограничений, в то же время они четко предусматривают, что данные испытания не могут заменить испытания качества бетона на основе стандартных образцов в соответствии с нормами¹. Стандарт EN-13791⁴ указывает случаи, в которых оценка прочности бетона на сжатие может быть проведена на основе результатов испытаний отобранных кернов:

- когда существующая конструкция должна быть реконструирована;

¹ BS EN 206-1:2000. European Standard: Concrete — Part 1: Specification, performance, production and conformity. URL: https://allbeton.ru/upload/iblock/d27/bs_en_206_1_2000_concrete_part_1_specification_performance_production_and_conformity.pdf (дата обращения: 12.08.2019).

² BS EN 12390. Group of European standards for testing hardened concrete.

³ EN 12504. Group of European standards for testing concrete in structures.

⁴ EN-13791. European Standard: Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast components.

- для оценки несущей способности конструкции, когда возникают сомнения в отношении прочности бетона на сжатие по причине наличия дефектов, снижения прочности из-за пожара или по другим причинам;
- когда во время строительства требуется оценка прочности бетона на строительной площадке;
- для оценки соответствия прочности бетона на сжатие, если это указано в спецификации или стандарте на продукцию;
- для оценки состава бетона в случае несоответствия прочности на сжатие, полученной из стандартных испытаний образцов.

Существует несколько важных стандартных требований, касающихся тестирования кернов [3–6]. Прежде всего керны должны быть извлечены из конструкции в соответствии с процедурой, определенной стандартом EN-12504-1⁵. Для обеспечения максимального соответствия условиям испытания керна на прочность рекомендуется, чтобы керны отбирались перпендикулярно направлению укладки бетона.

Количество кернов, которые необходимо извлечь из одного контролируемого участка, определяется объемом бетона участка и целью испытаний. Важнейшее правило для получения репрезентативных данных заключается в обеспечении случайности выбора конкретных мест отбора кернов для испытаний. Каждая точка испытаний состоит из одного керна. Оценка прочности на сжатие для кон-

⁵ EN-12504-1. European Standard: Testing concrete in structures — Part 1: Cored specimens — taking, examining and testing in compression.

кретной тестируемой зоны должна основываться как минимум на трех кернах.

Европейские стандарты^{4, 5} рекомендуют испытывать керны с номинальным диаметром, равным 100 мм. Это в первую очередь следует из того факта, что отношение максимального размера зерна заполнителя к диаметру керна не должно превышать 1:3, фактически означающее, что для заполнителя с зернистостью до 32 мм предпочтительный диаметр должен составлять приблизительно 100 мм. Испытание керна с номинальным диаметром 100 мм и равной длиной ($L/D = 1$) дает значение прочности, эквивалентное значению прочности 150-миллиметрового куба, изготовленного и набравшего прочность в тех же условиях.

В то же время стоит отметить, что испытание керна с номинальным диаметром не менее 100 мм и не более 150 мм и с отношением длины к диаметру, равным 2,0, дает значение прочности цилиндрического образца 150 на 300 мм, изготовленного и набравшего прочность в одинаковых условиях.

Керны, отобранные из конструкций, должны быть тщательно проверены визуально. Целью изучения является получение важной информации о качестве бетона, типе заполнителя, его зернистости, структуре бетона и поиск ответов на такие вопросы, как:

- является ли исследуемый бетон пористым;
- в какой степени развивается процесс карбонизации на поверхностном слое (рис. 2);
- есть ли какие-либо дефекты внутри конструкции.

Рис. 1. Пример кернов, отобранных из существующей конструкции

Fig. 1. Example of cores taken from existing structure

Рис. 2. Пример керна, на котором были проведены измерения глубины карбонизации с помощью воздействия фенолфталеина и анализа радужной пленки

Fig. 2. Example of the core on which measurements of the carbonation depth were carried out by means of phenolphthalein and rainbow tests

Для проведения испытаний кернов на сжатие, важно правильно подготовить торцовые поверхности образцов, чтобы поверхности, к которым прилагается нагрузка, были параллельны. Для этого торцы образцов должны быть отшлифованы. Поверхностное шлифование считается основным методом обеспечения параллельности. Нанесение выравнивающего покрытия также является приемлемым методом в качестве альтернативы шлифованию (рис. 3).

Покрытие торцов образца может выполняться и с использованием цементной пасты из алюминатов кальция или смесей серы. Более подробную информацию о применении выравнивающего покрытия можно найти в EN-12390-3⁶. Для обеспечения достоверности оценки прочности бетона на сжатие очень важно обеспечить правильное содержание влаги в образце на момент испытания. Во избежа-

⁶ EN-12390-3-2019. European Standard: Testing hardened concrete — Part 3: Compressive strength of test specimens.

Рис. 3. Вид образцов для испытаний с использованием выравнивающего покрытия и передаточных насадок

Fig. 3. View of the test specimens prepared by means of capping using send boxes

ние влияния градиента влажности внутри испытываемого образца рекомендуется, чтобы керны подвергались воздействию лабораторной атмосферы в течение не менее трех дней до испытания. Однако в тех случаях, когда конструкция или сборный железобетонный элемент находятся во влажных условиях, керны следует испытывать в насыщенном состоянии. Для выполнения этого требования, согласно работам⁵ [7], образцы должны быть увлажнены водой с температурой 20 ± 2 °C в течение не менее 40 часов до испытания.

Процесс испытания прочности бетона на сжатие сам по себе аналогичен методике испытания стандартных образцов и должен соответствовать требованиям, определенным в EN 12390-3⁶. Этот стандарт, тесно связанный с конкретным стандартом¹, среди прочего, рекомендует, чтобы нагрузка росла с постоянной скоростью в диапазоне от 0,2 до 1,0 МПа/с.

В случае оценки качества бетона непосредственно на конструкции критерии оценки испытаний кернов значительно отличаются от стандартных процедур соответствия, описанных в стандарте¹. Согласно работе⁴ нормативная прочность на сжатие непосредственно на конструкции оценивается с использованием двух способов. Первый способ А применяется, когда получены, как минимум, 15 результатов испытаний кернов. Способ В применяется тогда, когда испытано от трех до 14 кернов.

Процедура, относящаяся к способу А, оценивает значение нормативной прочности в отдельной испытательной зоне как нижнее значение:

$$f_{ck, is} = f_m(n)_{is} - k_2 \times s \quad (1)$$

или

$$f_{ck, is} \leq f_{is, lowest} + 4, \quad (2)$$

где $f_{ck, is}$ — нормативная прочность при сжатии; $f_m(n)_{is}$ — средняя прочность на сжатие по n результатам испытаний; $f_{is, lowest}$ — самый низкий результат испытания на прочность при сжатии; s — стандартное отклонение результатов испытаний, но не ниже 2,0 Н/мм²; k_2 — коэффициент, который указан в национальных положениях или, если значение не указано, принимается за 1,48.

В соответствии со способом В значение нормативной прочности в конкретной тестовой области рассматривается как меньшее значение:

$$f_{ck, is} = f_m(n)_{is} - k \quad (3)$$

или

$$f_{ck, is} \leq f_{is, lowest} + 4. \quad (4)$$

Коэффициент k зависит от количества результатов испытаний n . Соответствующие значения приведены в табл. 1.

Табл. 1. Значения коэффициента k при малом количестве испытаний

Table 1. Margin k values for small number of tests

Число испытаний / Number of tests	Значение коэффициента k / Margin k value
от 10 до 14 / from 10 to 14	5
от 7 до 9 / from 7 to 9	6
от 3 до 6 / from 3 to 6	7

В обоих случаях класс прочности бетона определяется в соответствии с европейским стандартом⁴ на основании измеренной непосредственно на конструкции характеристической прочности. Следует отметить, что тот же стандарт вводит также поправочный коэффициент, который представляет собой отношение нормативной прочности сооружения к характеристической прочности стандартных образцов, равное 0,85. Это уменьшение частично объясняется воздействием бурения, которое само по себе влечет риск некоторого повреждения материала керна, и частично тем, что условия твердения бетона на строительной площадке обычно хуже, чем условия в лаборатории.

Оценка прочности бетона на сжатие, основанная на испытаниях кернов, должна, по мнению многих авторов [8, 9], учитывать и тот факт, что прочность бетона в конструкции в целом ниже, чем прочность, определенная на образцах, полученных из той же партии бетона.

МЕТОД УПРУГОГО ОТСКОКА

Измерения упругого отскока являются наиболее популярными из методов неразрушающего контроля, обычно используемых в инженерной практике. Основной принцип этой техники — использование соотношения между поверхностной твердостью и прочностью бетона на сжатие. Величина отскока, которая должна быть мерой твердости, применяется для неразрушающего контроля однородности бетона и для оценки его прочности на сжатие. Тест довольно простой и быстрый. Однако несколько факторов следует признать серьезными и влияющими на результаты, полученные с помощью так называемого молотка Шмидта. Среди прочего, следует отметить, что величина отскока, полученная на бетонной поверхности, обычно отличается от чисел, измеренных на поверхности кернов (влияние напряженного состояния, качество поверхностного слоя и карбонизация). В результате стоит признать, что в целом не существует какой-либо общей калибровочной кривой, связывающей числа отскока с прочностью.

Взаимосвязи между величиной отскока и прочностью бетона, которые предоставляются производителями инструментов, должны использоваться только для указания относительной прочности бетона в разных местах конструкции. Чтобы использовать этот метод испытаний для оценки прочности бетона, необходимо установить соответствующие отношения, сопоставляя величины отскока, измеренные на конструкции, с прочностью кернов, взятых из соответствующих мест.

Подробности, касающиеся методов испытаний, можно найти в EN-12504-2⁷. Среди прочего важно упомянуть следующие стандартные рекомендации, которые имеют решающее значение для правильного выполнения измерений:

- до и после испытаний необходимо проверить работу молотка на наковальне, чтобы убедиться в нахождении показаний в пределах диапазона, рекомендованного производителем;
- молоток должен эксплуатироваться при температуре в диапазоне от 10 до 35 °С;
- каждая исследуемая зона должна быть примерно 300 × 300 мм;
- требуется надлежащая подготовка поверхности шлифованием;
- чтобы получить достоверную оценку величины отскоков для конкретной зоны необходимо сделать не менее девяти измерений.

Несколько лет назад была предложена новая конструкция молотка (Silver Schmidt) (рис. 4). Это новое устройство сочетает в себе инновационные идеи с преимуществами классического отбойного молотка. Вместо величины отскока регистрируется значение энергии отскока Q :

$$Q = \sqrt{\frac{\text{Энергия отскока}}{\text{Энергия удара}}} = \frac{V_R}{V_I} \times 100, \quad (5)$$

где V_I — скорость удара; V_R — скорость отскока.

Данный параметр не зависит от направления измерения относительно направления силы тяжести. В этом случае трение между массой молотка, направляющим стержнем и указателем измерителя также не влияет на измерения.

⁷ EN 12504-2. European Standard: Testing concrete in structures — Part 2: Non-destructive testing. Determination of rebound number.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД

Как и в случае измерений отскока для бетона с неизвестной прочностью, оценка прочности на сжатие только на основе скорости импульса не является надежной. Важными физическими свойствами материалов, влияющих на скорость импульса, служат модуль упругости и плотность. В бетоне эти свойства в основном связаны с типом заполнителей, их пропорциями и физическими свойствами цементной пасты, которые связаны главным образом с исходным водоцементным соотношением и зрелостью. Таким образом, корреляции между скоростью ультразвукового импульса и прочностью бетона являются физически непрямыми и должны быть установлены для конкретной бетонной смеси. В результате необходимо откалибровать кривую регрессии с помощью керновых испытаний.

Процедура испытаний и соответствующие рекомендации для измерения скорости ультразвукового импульса в затвердевшем бетоне представлены в EN-12504-4⁸. Наиболее важные рекомендации включают следующие требования:

- собственная частота преобразователей обычно должна быть в диапазоне от 20 до 150 кГц;
- для получения адекватного акустического контакта между бетоном и поверхностью датчиков должен использоваться вязкий материал (это может быть вазелин, смазка или мягкое мыло);
- датчики должны быть плотно прижаты к бетонной поверхности;
- когда бетонная поверхность очень шероховатая и неровная, поверхность следует шлифовать или использовать специальные датчики с заостренными концами;
- результирующее определение скорости импульса должно быть выражено с точностью до 10 м/с;
- влажность оказывает два влияния на скорость импульса: химическое и физическое; эти эффекты важны при получении корреляций для оценки прочности бетона;

⁸ EN-12504-4. European Standard: Testing concrete in structures — Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity.

Рис. 4. Молоток Silver Schmidt

Fig. 4. View of the Silver Schmidt hammer

- длина пути, на котором измеряется скорость импульса, должна быть достаточно большой, чтобы не оказывать существенного влияния на неоднородный характер бетона: не менее 100 мм для номинального размера заполнителя менее 20 мм и не менее 150 мм для номинального размера заполнителя от 20 до 40 мм;

- по возможности следует избегать измерений в непосредственной близости от стальных арматурных стержней, параллельных направлению распространения импульса.

МЕТОД ОТРЫВА СО СКАЛЫВАНИЕМ

Одним из наиболее многообещающих измерений неразрушающего контроля, который может быть применен для проверки качества бетона в существующих конструкциях, является метод отрыва со скалыванием, в частности CAPO-TEST. CAPO-

тест — это тест после извлечения, установленный после установки в соответствии с требованиями EN-12504-3⁹ и ASTM C900¹⁰. Термин «после установки» означает, что CAPO-TEST не требует предварительной установки вкладышей в свежий бетон. Тест может быть выполнен на существующей структуре в любом доступном месте. В этом случае для подготовки вкладышей необходимо применять специальную технику.

Фундаментальный принцип испытаний на отрыв заключается в том, что можно получить точную оценку прочности бетона, поскольку пиковое усилие (сила отрыва) точно коррелирует с прочностью бетона на сжатие, измеренной стандартными цилиндрами или кубиками в лаборатории [10–12] (рис. 5).

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

¹⁰ ASTM C900. American standard: Standard test method for rebound number of hardened concrete.

Рис. 5. Общие принципы испытаний методом отрыва со скалыванием

Fig. 5. General principles of the pull-out test

Рис. 6. Общая корреляция метода отрыва со скалыванием

Fig. 6. General correlation for pull-out measurements

Измерение может быть использовано для оценки прочности бетона непосредственно на конструкции, в ходе последующего нагружения, после снятия опалубки, после снятия зимней защиты процесса твердения, или для сравнительных испытаний. Ряд исследований показал, что измерения методом отрыва со скалыванием обеспечивают точную оценку прочности непосредственно в конструкции, поскольку пиковая сила отрыва имеет четко определенную корреляцию с прочностью на сжатие, измеренной с использованием стандартных цилиндрических или кубических образцов [13–15], и эта общая корреляция (рис. 6) может использоваться с достаточной достоверностью. Специальные соотношения необходимо применять только для легких бетонов

или для других бетонов с менее распространенными компонентами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены европейские методы оценки прочности бетона на сжатие в строительных конструкциях. Одним из наиболее перспективных измерений неразрушающего контроля, который может быть применен для проверки качества бетона в существующих конструкциях, представляется метод отрыва со скалыванием, в частности CAPO-TEST.

Исследования доказали, что измерения методом отрыва со скалыванием обеспечивают точную оценку прочности непосредственно в конструкции.

REFERENCES

1. Malhotra V.M., Carino N.J. *Handbook on non-destructive testing of concrete. Second Edition*. CRC Press, Boca Raton, 2004; 384.
2. Bungey J.H., Millard S.G., Grantham M.G. *Testing of concrete in structures*. 4th Edition. Taylor and Francis, 2006; 339.
3. Petersons N. Should standard cube test specimens be replaced by test specimens taken from structures? *Matériaux et Constructions*. 1968; 1(5):425-435. DOI: 10.1007/bf02473740
4. Indelicato F. Estimate of concrete cube strength by means of different diameter cores: A statistical approach. *Materials and Structures*. 1997; 30(4):131-138. DOI: 10.1007/bf02486384
5. Yuan R.L., Ragab M., Hill R.E., Cook J.E. Evaluation of core strength in high-strength concrete. *Concrete International*. 1991; 13(5):30-34.
6. Bartlett M., MacGregor J.G. Effect of moisture condition on concrete core strengths. *ACI Materials Journal*. 1994; 91(3):227-236. DOI: 10.14359/4328
7. Mohammadi B., Nokken M.R. Influence of moisture content and water absorption in concrete. *Proceedings of 3rd Specialty Conference on Material Engineering & Applied Mechanics*, Montreal, Canada, 2013.
8. Malhorta V.M. *Journal of ACI*. 1977; 74(4):63-172.
9. Neville A.M. *Properties of concrete*. Pearson education limited, Fifth edition, Harlow, 2011.
10. Ottosen N.S. Nonlinear finite element analysis of pull-out test. *Journal of the Structural Division, ASCE*. 1981; 107(ST4).
11. Krenchel H., Shah S.P. *Materials and structures*. 1985; 18(108):439-446.
12. Petersen C.G. *Proceedings of NDT in civil engineering conference*. Liverpool, UK, 1997.
13. Soutsos M.N., Bungey J.H., Long A.E. *The university of liverpool, department of civil engineering*. Liverpool, UK, 1999.
14. Thun H., Ohlsson U., Elfgrén L. Determination of concrete compressive strength with pullout tests. *Structural Concrete*. 2009; 10(4):173-180. DOI: 10.1680/stco.2009.10.4.173
15. Moczko A.T., Carino N., Petersen C. CAPO-TEST to estimate concrete strength in bridges. *ACI Materials Journal*. 2016; 113(6):827-836. DOI: 10.14359/51689242

Поступила в редакцию 24 сентября 2018 г.

Принята в доработанном виде 18 июня 2019 г.

Одобрена для публикации 29 июля 2019 г.

ОБ АВТОРАХ: **Анджей Мочко** — Ph.D, доцент, строительный факультет; **Вроцлавский университет науки и технологий**; 50-370, Польша, г. Вроцлав, Набережная Выспанского, д. 27; ORCID: 0000-0002-2492-2283; andrzej.moczko@pwr.edu.pl;

Марта Мочко — доцент, строительный факультет; **Вроцлавский университет науки и технологий**; 50-370, Польша, г. Вроцлав, Набережная Выспанского, д. 27; marta.moczko@pwr.edu.pl;

Владимир Игоревич Андреев — доктор технических наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой сопротивления материалов; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ Author ID: 89.221.52.116, WoS Researcher ID: T-9006-2017, ORCID: 0000-0002-1057-4329; AndreevVI@mgsu.ru.

Received September 24, 2018.

Adopted on June 18, 2019.

Approved for publication July 29, 2019.

B I O N O T E S: **Andrzej Moczko** — Ph.D., Associated Professor, Civil Engineering Faculty, Director of International Affairs Office; **Wrocław University of Science and Technology**; 27 Wybrzeże Wyspiańskiego, 50-370 Wrocław, Poland; ORCID: 0000-0002-2492-2283; andrzej.moczko@pwr.edu.pl;;

Marta Moczko — Ph.D., Associated Professor; **Wrocław University of Science and Technology**; 27 Wybrzeże Wyspiańskiego, 50-370 Wrocław, Poland; marta.moczko@pwr.edu.pl;

Vladimir I. Andreev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAASN, Head of Department of Strength of materials; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; RISC Author ID: 89.221.52.116, WoS Researcher ID: T-9006-2017, ORCID: 0000-0002-1057-4329; AndreevVI@mgsu.ru..