



ИССЛЕДОВАНИЯ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

А. А. Варламов¹, М. А. Новиков², М. Р. Курбангалеева³

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова»,
38, пр-т Ленина, г. Магнитогорск, Россия, 455000.

E-mail: ¹ office@mgrp-mg.ru, ² Novikov.maxim98@gmail.com, ³ kurbangaleeva29@gmail.com

Получена 31 августа 2021; принята 10 сентября 2021.

Аннотация. В данной статье рассматриваются разрушающие методы определения прочности бетонов, описаны и представлены результаты и анализ исследований. Методика предусматривала случайный выбор кубов для каждой серии испытаний. Каждому виду испытаний подвергали по 10 кубов. Испытания ударом, вдавливанием и ультразвуком проводили в соответствии с существующими Нормами. Анализ полученных результатов дает более полное представление о прочностных свойствах конструкции, о ее дальнейшем характере поведения под воздействием нагрузок по сравнению со случаем, когда используют только один метод испытания. Одним из путей экономии сырья и энергоресурсов является внедрение неразрушающего контроля на заводах сборного железобетона как составной части комплексного контроля качества.

Ключевые слова: бетон, неразрушающий метод, прочность бетона, удар, вдавливание, ультразвук.

ДОСЛІДЖЕННЯ БЕТОНУ НЕРУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ

А. А. Варламов¹, М. О. Новіков², М. Р. Курбангалєєва³

ФДБОУ ВО «Магнітогорський державний технічний університет
ім. Г. І. Носова»,

38, пр-т Леніна, м. Магнітогорськ, Росія, 455000.

E-mail: ¹ office@mgrp-mg.ru, ² Novikov.maxim98@gmail.com, ³ kurbangaleeva29@gmail.com

Отримана 31 серпня 2021; прийнята 10 вересня 2021.

Анотація. У даній статті розглядаються неруйнівні методи визначення міцності бетонів, описані і представлені результати і аналіз досліджень. Методика передбачала випадковий вибір кубів для кожної серії випробувань. Кожному виду випробувань піддавали по 10 кубів. Випробування ударом, вдавленням і ультразвуком проводили відповідно до існуючих Норм. Аналіз отриманих результатів дає більш повне уявлення про міцнісні властивості конструкції, про її подальший характер поведінки під впливом навантажень в порівнянні з випадком, коли використовують тільки один метод випробування. Одним із шляхів економії сировини та енергоресурсів є впровадження неруйнівного контролю на заводах збірного залізобетону як складової частини комплексного контролю якості.

Ключові слова: бетон, неруйнівний метод, міцність бетону, удар, вдавлення, ультразвук.

RESEARCH OF CONCRETE BY NON-DESTRUCTIVE METHODS

Andrey Varlamov¹, Maxim Novikov², Milena Kurbangaleeva³

G. I. Nosov Magnitogorsk state technical university,

38, Lenin Ave., Magnitogorsk, Russia, 455000.

E-mail: ¹ office@mgrp-mg.ru, ² Novikov.maxim98@gmail.com, ³ kurbangaleeva29@gmail.com

Received 31 August 2021; accepted 10 September 2021.

Abstract. Destructive methods for determining the strength of concrete have been considered and also the results and analysis of studies have been given in the article. The technique involved a random selection of cubes for each test series. Each type of test was subjected to 10 cubes. Impact, indentation and ultrasound tests were carried out in accordance with the existing Code. The analysis of the obtained results gives a more complete picture of the strength properties of the structure, of its further behavior under the influence of loads in comparison with the case when only one test method is used. One of the ways to save raw materials and energy resources is the introduction of non-destructive testing at precast concrete factories as an integral part of comprehensive quality control.

Keywords: concrete, non-destructive method, concrete strength, impact, indentation, ultrasound.

Способ определения прочности каменных материалов методом локального разрушения, например сверлением или пилением, находится в стадии разработки. Известны предложения по реализации этого способа, созданы отдельные экземпляры устройств [1, 2]. Однако в практике этот способ не используется. Это объясняется, в основном, двумя причинами: первая – трудностями с режущим инструментом; вторая – малым числом исследований и неоднозначностью косвенной характеристики, служащей для определения прочности каменного материала [3–7].

При местном разрушении сверлением обычно фиксируют скорость вращения сверла, усилие прижатия, продолжительность сверления, измеряя при этом глубину сверления. Но для неоднородных каменных материалов, каким является бетон, фиксирование указанных величин представляет значительные трудности [8–14]. Поэтому с целью отработки контроля прочности бетона методом локального разрушения был запланирован ряд экспериментальных исследований.

Исследования проводили на кубах с ребром 10 см, изготовленных из бетона в составе Ц:П:Щ=1:1,5:2,25 на ШЩ марки 300, щебне крупностью 5–20 и речном песке. Проводили три серии опытов с бетонами, отличающимися только водоцементным отношением (0,3; 0,4; 0,5). В каждой серии делали по 30 бетонных кубов, три призмы 10×10×40 см и 6 кубов из этой же смеси, по просеянной через сито № 5. Кубы твердели в опилках в течение 7 дней и 2 месяца на открытом воздухе.

Методика исследований предусматривала:

1. Определение глубины погружения шарика диаметром 15,4 мм, задавливаемого в бетон с помощью прессы. Загружение проводили ступенями по 500 Н с полным сбросом нагрузки на каждой ступени с определением остаточных деформаций.

2. Определение диаметра отпечатка шарика диаметром 15,4 мм, полученного после вдавливания шарика, а также после удара по бетону, выполненного с помощью склерометра Борового.

3. Определение времени прохождения ультразвука при сквозном прозвучивании куба с помощью прибора УК-15П.
4. Определение глубины погружения алмазного сверла диаметром 10 мм при различных усилиях прижатия. Мощность дрели равнялась 1,5 кВт, что в какой-то мере фиксировало скорость вращения, продолжительность сверления составляла 5 с.

5. Определение кубиковой прочности бетона, прочности бетона на растяжение при раскалывании, призмочной прочности бетона, модуля упругости бетона и его плотности.

Методика предусматривала случайный выбор кубов для каждой серии испытаний. Каждому виду испытаний подвергали по 10 кубов. Испытания ударом, вдавливанием и ультразвуком проводили в соответствии с существующими Нормами.

Полученные результаты приведены на рис. 1–7 и в таблице 1. Приведенные данные получены путем осреднения результатов эксперимента с надежностью 0,9. Как показывает анализ полученных данных для широко применяемых методов определения прочности бетонов, полученные кривые совпадают с тарировочными, применяемыми для контроля прочности бетона (рис. 5, поз. 1 и рис. 7). Результаты исследования, непосредственно связанные со сверлением, приведены на рис. 2 и 3.

Таблица 1. Результаты исследования В/Ц на прочностные и деформативные характеристики бетона R_b , R_c , E_b , ρ

В/Ц	0,3	0,4	0,5
R_c , МПа	27,5	10,9	5,6
R_b , МПа	23,1	8,0	4,8
R_t , МПа	1,33	0,65	0,48
$E_b \cdot 10^{-3}$, МПа	25,0	14,5	7,2
$\rho \cdot 10^{-2}$, кг/м ³	24,2	22,7	21,8

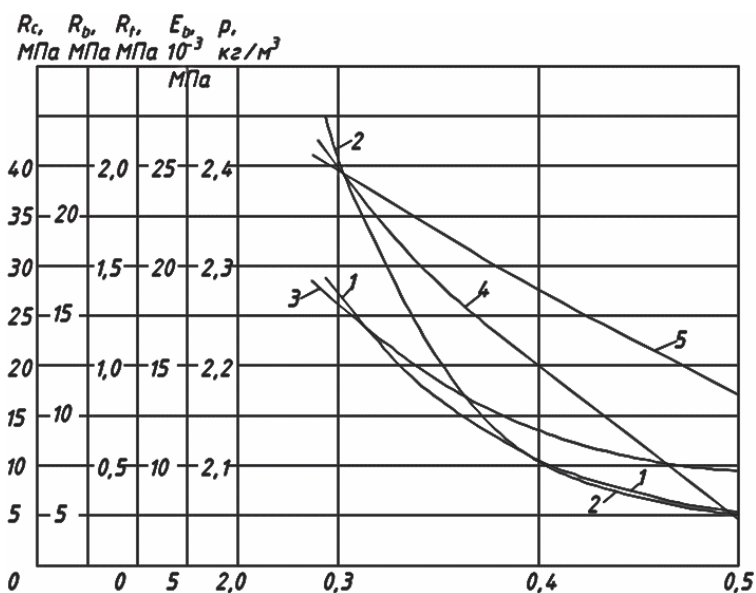
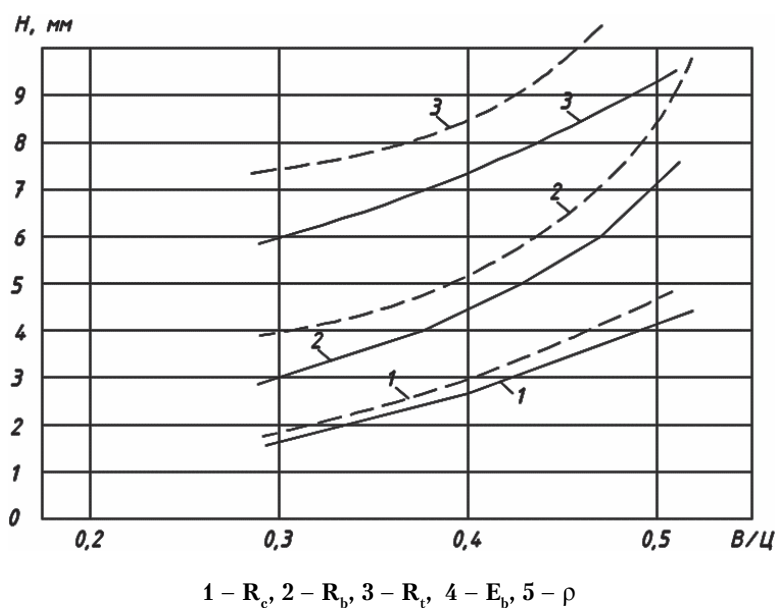


Рисунок 1. Зависимости кубиковой прочности бетона R_c , призмочной прочности бетона R_b , прочности бетона на растяжение R_t , модуля упругости E_b , плотности бетона ρ от водоцементного отношения: 1.



1 — R_c , 2 — R_b , 3 — R_t , 4 — E_b , 5 — ρ

Рисунок 2. Зависимость глубины погружения сверла от водоцементного отношения для давления: 1 — 263; 2 — 409; 3 — 505 Н/см²; ———— — бетон, - - - - - — раствор.

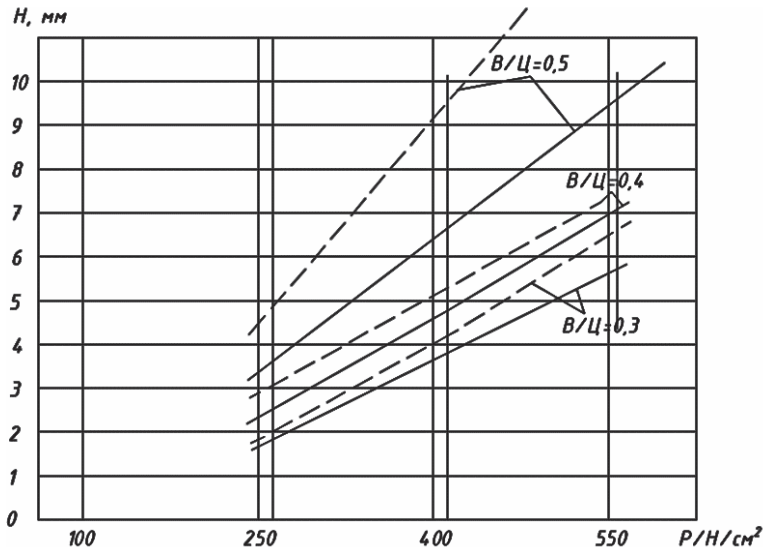


Рисунок 3. Зависимость глубины сверления от величины давления сверла: ———— — бетон, - - - - - раствор.

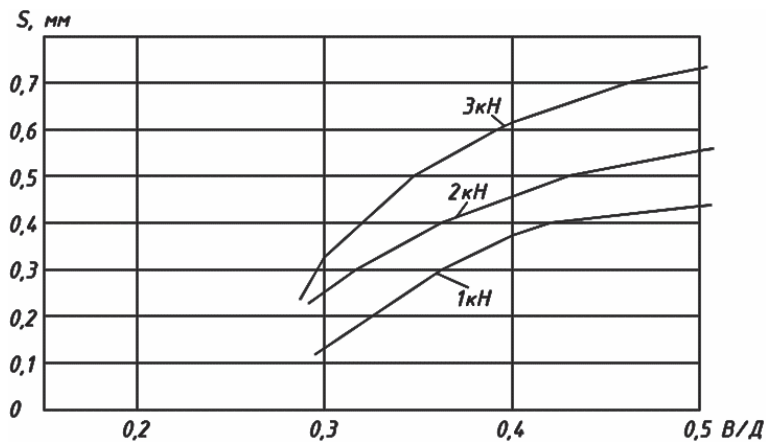


Рисунок 4. Зависимость погружения шарика при его вдавливании разными усилиями от водоцементного отношения.

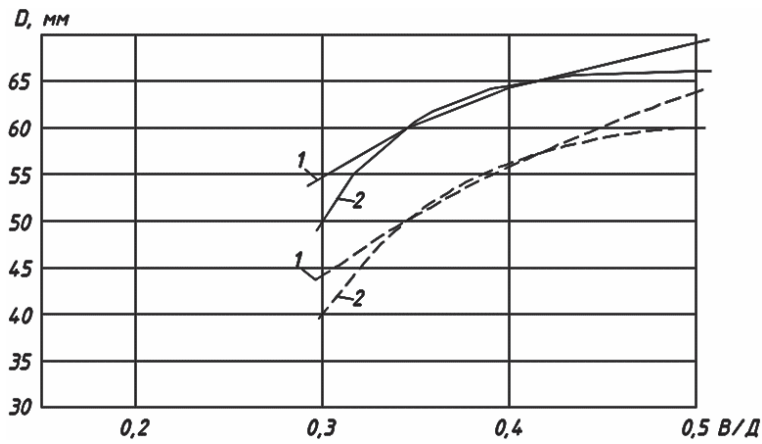


Рисунок 5. Зависимость отпечатка шарика от водоцементного отношения: 1 – бетонные образцы; 2 – растворные образцы; ———— — погружение шарика ударом; - - - - - растворные образцы.

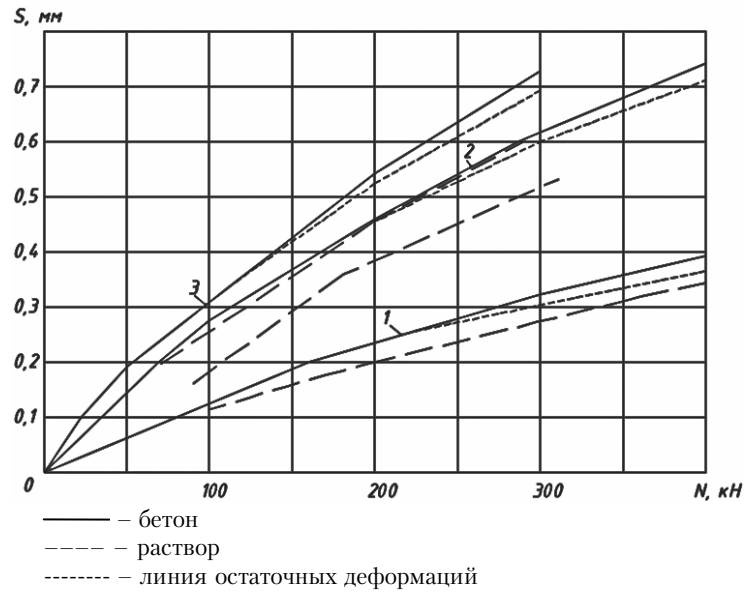


Рисунок 6. Зависимость глубины погружения шарика от усилия вдавливания: 1 – В/Ц = 0,3; 2 – В/Ц = 0,4; 3 – В/Ц = 0,5.

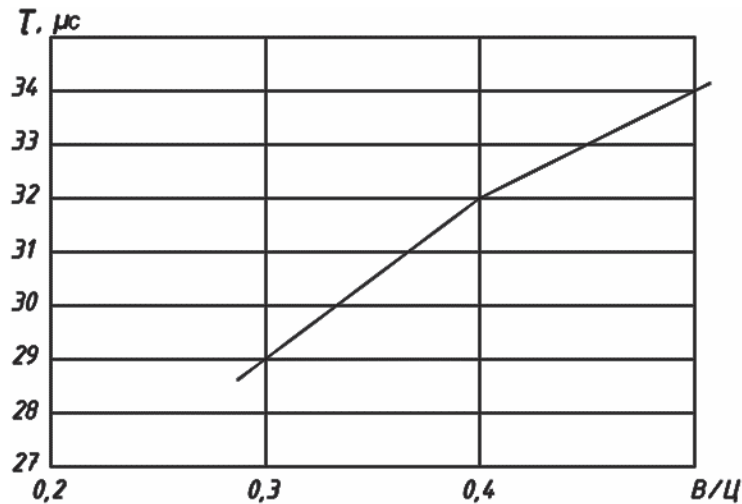


Рисунок 7. Время прохождения ультразвука через кубик бетона.

Как видно из рисунков, крупный заполнитель влияет на положение кривых «прочность–глубина погружения сверла», но не изменяет характер самих кривых. В качестве первого приближения можно использовать этот критерий, но этот критерий не может играть ведущей роли. Правильнее было бы непосредственно измерять работу, идущую на локальное разрушение. Недостаточный объем испытаний не позволяет рекомендовать полученные зависимости для непосредственного использования. Но проведенные исследования позволяют иметь основу для

дальнейшего изучения метода локального разрушения и выявить некоторые его связи с известными методами определения характеристик каменных материалов. Рекомендуется использовать метод локального разрушения совместно с другими методами для более точного определения прочности бетона или для комплексного определения прочностных и деформативных характеристик материалов.

Одним из путей экономии сырья и энергоресурсов является внедрение неразрушающего контроля на заводах сборного железобетона как

составной части комплексного контроля качества.

Применение ультразвукового метода регламентировано. Это широко распространенный метод контроля прочности бетона. Метод основан на связи между прочностью бетона и скоростью распространения ультразвука.

В теории упругости установлено, что скорость продольных волн связана с характеристикой деформативности материала – динамическим модулем упругости E_g – функциональной зависимостью.

Используя ультразвуковой метод, можно определить динамический модуль упругости бетона, который находится в определенном соответствии со статическим $E_{ст}$. Как следует из литературных источников, E_g превышает $E_{ст}$ на 10–15% [13]. Значение $E_{ст}$ необходимо для поверочных расчетов жесткости конструкций по результатам их испытаний нагружением, проводимых перед освоением нового вида конструкций на производстве, а также при изменении технологии изготовления, замене материалов, арматуры и т. д. Определение $E_{ст}$ занимает довольно длительное время и требует изготовления образцов-призм из бетона. Значения E_g с помощью ультразвукового метода можно определить как на образцах, так и в конструкциях. Для этого необходимо при сквозном прозвучивании определить значение скорости $V_{скв}$, м/с по формуле 1:

$$V_{скв} = \frac{l_{скв}}{\tau} \cdot 10^4, \quad (1)$$

где $l_{скв}$ – база измерений (сквозная), см;

τ – время прохождения фронта первого вступления, мкс.

В конструкциях значение скорости устанавливают усреднением результатов измерений на нескольких ее бездефектных участках.

Значение динамического модуля упругости (МПа) определяют по формуле 2:

$$E_g = V_{скв}^2 \frac{\rho \cdot 10^{-3}}{K \cdot 981}, \quad (2)$$

где ρ – плотность бетона, г/см³;

K – коэффициент, определяемый по формуле:

$$K = \frac{1 - \mu_g}{(1 + \mu_g)(1 - 2\mu_g)}, \quad (3)$$

где μ_g – динамический коэффициент Пуассона. Значение μ_g принимают в зависимости от возраста бетона:

0,28 – 1–3 сут после термообработки;

0,22–28 сут и более после обработки.

Для подтверждения теоретических выводов проведено экспериментальное определение статического и динамического модулей упругости образцов призм 10×10×40 см, изготовленных из тяжелого бетона. Статический модуль упругости определяли в соответствии с ГОСТ 24452-80 на прессе МС-1000. Его определяли с помощью ультразвукового прибора УК-14П по методике, предложенной бюро внедрения НИИСК Госстроя СССР [13]. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Приведенные данные подтверждают предположение, что превышение E_g над $E_{ст}$ доходит до 10–15% [12, 13].

Следующим этапом работы было определение прочностных характеристик бетона конструкций с помощью комплекса неразрушающих и разрушающих методов. На заводе КПД треста «Магнитострой» обследовали плиты перекрытий в возрасте 1 сут после тепловлажностной обработки. Определение динамического модуля упругости плит перекрытия проводили ультразвуковым прибором УК-14П. Прочность этих конструкций определяли эталонным молотком Кашкарова. Одновременно проводили контроль кубиковой прочности на образцах размером 10×10×10 см. Результаты приведены в таблице 3.

Результаты испытаний подтверждают наличие взаимосвязи между прочностными и деформативными характеристиками бетона. Очевидно, что с увеличением прочности возрастает и модуль упругости. Например, в ходе испытания № 4 получены минимально прочностные характеристики плиты перекрытия: кубиковая прочность составила 17,2 МПа, прочность по эталонному молотку – 16,8 МПа. При этом динамический модуль упругости также минимален – 15 341 МПа. При проведении испытания № 9 значения прочности, полученной разрушающим и неразрушающим способами, достигли максимума и составили 21 и 20,6 МПа соответственно. Динамический модуль упругости 21 436,9 МПа и является наибольшим в данной серии испытаний. Кроме того, величина модуля упругости позволяет судить о степени воздействия силовых деформаций на упругие свойства конструкции. Чем больше модуль упругости, тем лучше упругие свойства бетона.

Таблица 2. Результаты испытания образцов-призм

Класс бетона	Вид крупного заполнителя	Статический модуль упругости, $E_{ст}$, МПа	Динамический модуль упругости, E_g , МПа	$\frac{E_g - E_{ст}}{E_g} \cdot 100$
B20	Щебень	30 000	31 849	58
B20	Гравий	26 539,5	28 782	7,0
B15	Щебень	29 666,7	30 883	3,9
B15	Гравий	29 816	30 425	2,0

Таблица 3. Результаты определения прочностных характеристик плит перекрытия

№ испытания	Динамический модуль упругости E_g , МПа	Прочность по эталонному молотку Кашкарова, $R_{мол}$, МПа	Кубиковая прочность, $R_{куб}$, МПа
1	18 285,3	18,6	18,1
2	18 628,3	17,9	18,1
3	16 084,3	18,4	17,2
4	15 341,0	16,8	17,2
5	16 457,6	18,5	19,6
6	18 303,0	16,8	17,8
7	15 785,6	18,0	19,0
8	18 821,7	16,6	17,0
9	21 436,9	20,6	21,0

Анализ полученных результатов дает более полное представление о прочностных свойствах конструкции, о ее дальнейшем характере поведения под воздействием нагрузок по сравнению со случаем, когда используют только один метод испытания.

Таким образом, внедрение новых методов комплексного контроля строительных изделий и конструкций позволяет экономить материальные и трудовые ресурсы за счет оперативности проведения натуральных испытаний.

Литература

1. Римшин, В. И. Оценка механических и макроструктурных характеристик бетона методом локального разрушения / В. И. Римшин, В. Б. Гаврилов, А. А. Варламов. – Текст : электронный // БСТ: бюллетень строительной техники. – 2018. – № 12. – С. 24–26. – ISSN: 0007-7690. – URL: <http://tekhnosfera.com/otsenka-mehanicheskikh-i-strukturnykh-harakteristik-betona-v-stroitelnykh-konstruktsiyah-metodom-lokalnogo-razrusheniya> (дата обращения: 20.03.2021).
2. Варламов, А. А. Модель разрушения идеализированной структуры бетона пилением / А. А. Варламов, В. Б. Гаврилов, А. Б. Давыдова. – Текст : электронный // Строительные материалы и изделия. – 2020. – Том 3, № 2. – С. 46–53. – eISSN 2618-7183. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43119557> (дата обращения: 20.03.2021).

Reference

1. Rimshin, V. I.; Gavrilov, V. B.; Varlamov, A. A. Assessment of the mechanical and macrostructural characteristics of concrete by the method of local destruction. – Text : electronic. – In: *CEB: Construction Equipment Bulletin*. – 2018. – № 12. – P. 24–26. – ISSN: 0007-7690. – URL: <http://tekhnosfera.com/otsenka-mehanicheskikh-i-strukturnykh-harakteristik-betona-v-stroitelnykh-konstruktsiyah-metodom-lokalnogo-razrusheniya> (accessed date: 20.03.2021). (in Russian)
2. Varlamov, A. A.; Gavrilov, V. B.; Davydova, A. B. Model of the destruction of an idealized concrete structure by sawing. – Text : electronic. – In: *Building materials and products*. – 2020. – Volume 3, № 2. – P. 46–53. – eISSN 2618-7183. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43119557> (accessed date: 20.03.2021). (in Russian)

3. Power and energy characteristics of concrete / D. D. Khamidulina, V. I. Rimshin, A. A. Varlamov [et. al.]. – Текст : электронный // E3S Web of Conferences. – 2019. – Volume 135. – 8 p. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/61/e3sconf_itese18_03057/e3sconf_itese18_03057.html (дата обращения: 20.03.2021).
4. Шейнин, А. М. Оценка качества монолитного бетона в дорожном и аэродромном строительстве при испытании кернов / А. М. Шейнин, С. И. Эккель. – Текст : электронный // Строительные материалы. – 2009. – № 5. – С. 17–20. – URL: http://rifsm.ru/u/f/sm-05-09_finish.pdf (дата обращения: 20.03.2021).
5. Соколов, Б. С. Определение прочности бетона по результатам испытания цилиндрических образцов, размеры которых отличаются от регламентируемых нормами / Б. С. Соколов, М. Р. Загидуллин // Строительные материалы. – 2010. – № 8. – С. 70–73. – Текст : непосредственный.
6. Varlamov, A. A. The modulus of elasticity in the theory of degradation / A. A. Varlamov, V. I. Rimshin, S. Y. Tverskoi. – doi: 10.1088/1757-899X/463/2/022029. – Текст : электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Volume 463. Part 1. – 6 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/330025159_The_modulus_of_elasticity_in_the_theory_of_degradation (дата обращения: 22.03.2021).
7. Varlamov, A. A. The General theory of degradation / A. A. Varlamov, V. I. Rimshin, S. Y. Tverskoi. – doi:10.1088/1757-899X/463/2/022028. – Текст : электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Volume 463. – Part 1. – 6 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/330024701_The_General_theory_of_degradation (дата обращения: 22.03.2021).
8. Building model of behavior of concrete under load / V. I. Rimshin, A. I. Norec, A. F. Varlamov [et. al.]. – doi:10.1088/1757-899X/661/1/012074. – Текст : электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Volume 661. – 5 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/337417091_Building_Model_of_Behaviour_of_Concrete_Under_Load (дата обращения: 22.03.2021).
9. Гуца, Ю. П. Коэффициент призмочной прочности обычного тяжелого и мелкозернистого бетона / Ю. П. Гуца, И. Ю. Ларичева. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1984. – № 8. – С. 37–38.
10. Краснощечков, Ю. В. Системная модель коэффициента призмочной прочности бетона / Ю. В. Краснощечков. – Текст : электронный // Вестник СибАДИ. – 2016. – № 3. – С. 63–67. – URL: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/317> (дата обращения: 22.03.2021).
11. Сагайдак, А. И. Современное состояние стандартов по акустической эмиссии / А. И. Сагайдак. – D. D. Khamidulina, V. I. Rimshin, A. A. Varlamov [et. al.]. Power and energy characteristics of concrete. – Text : electronic. – In: *E3S Web of Conferences*. – 2019. – Volume 135. – 8 p. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/61/e3sconf_itese18_03057/e3sconf_itese18_03057.html (accessed date: 20.03.2021). (in English)
4. Sheynin, A. M.; Ekkel, S. I. Assessment of the quality of monolithic concrete in road and airfield construction when testing cores. – Text : electronic. – In: *Construction Materials*. – 2009. – № 5. – P. 17–20. – URL: http://rifsm.ru/u/f/sm-05-09_finish.pdf (accessed date: 20.03.2021). (in Russian)
5. Sokolov, B. S.; Zagidullin, M. R. Determination of the strength of concrete based on the results of testing cylindrical specimens, the dimensions of which differ from those regulated by the standards. – In: *Construction Materials*. – 2010. – № 8. – P. 70–73. – Text : direct. (in Russian)
6. Varlamov, A. A.; Rimshin, V. I.; Tverskoi, S. Y. The modulus of elasticity in the theory of degradation. – doi: 10.1088/1757-899X/463/2/022029. – Text: electronic. – In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – Volume 463. Part 1. – 6 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/330025159_The_modulus_of_elasticity_in_the_theory_of_degradation (accessed date: 22.03.2021). (in English)
7. Varlamov, A. A.; Rimshin, V. I.; Tverskoi, S. Y. The General theory of degradation. – doi:10.1088/1757-899X/463/2/022028. – Text : electronic. – In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – Volume 463. – Part 1. – 6 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/330024701_The_General_theory_of_degradation (accessed date: 22.03.2021). (in English)
8. Rimshin, V. I.; Norec, A. I.; Varlamov, A. F. [et. al.]. Building model of behavior of concrete under load. – doi:10.1088/1757-899X/661/1/012074. – Text : electronic. – In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Volume 661. – 5 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/337417091_Building_Model_of_Behaviour_of_Concrete_Under_Load (accessed date: 22.03.2021). (in English)
9. Gushcha, Yu. P.; Laricheva, I. Yu. The coefficient of prismatic strength of conventional heavy and fine-grained concrete. – Text : direct. – In: *Concrete and reinforced concrete*. – 1984. – № 8. – P. 37–38. (in Russian)
10. Krasnoshchekov, Yu. V. System model of the prismatic strength coefficient of concrete. – Text : electronic. – In: *Bulletin SSARU*. – 2016. – № 3. – P. 63–67. – URL: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/317> (accessed date: 22.03.2021). (in Russian)
11. Sagaydak, A. I. Current State of Acoustic Emission Standards. – Text : electronic. – In: *Concrete and reinforced concrete*. – 2013. – № 3. – P. 16–20. –

- Текст : электронный // Бетон и железобетон. – 2013. – № 3. – С. 16–20. – URL: <http://td-j.ru/index.php/current-issue-rus/2493-032-058> (дата обращения: 22.03.2021).
12. Улыбин, А. В. О выборе методов контроля прочности бетона, построенных сооружения / А. В. Улыбин. – Текст : электронный // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 4. – С. 10–15. – URL: <https://engstroy.spbstu.ru/article/2011.22.2/> (дата обращения: 22.03.2021).
 13. Беленцов, Ю. А. Неразрушающие методы контроля качества как фактор надежности бетонных и железобетонных конструкций в транспортных сооружениях / Ю. А. Беленцов, Л. Ф. Казанская. – doi: 10.17811/transsyst2018041058-67. – Текст : электронный // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4, № 1. – С. 58–67. – URL: <https://transsyst.ru/transsyst/article/view/8708/0> (дата обращения: 22.03.2021).
 14. Варламов, А. А. Исследование изменений упругих деформаций бетона / А. А. Варламов, Н. А. Чурляева. – Текст : электронный // Архитектура. Строительство. Образование. – 2014. – № 2(4). – С. 74–78. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21388630> (дата обращения: 22.03.2021).
 - URL: <http://td-j.ru/index.php/current-issue-rus/2493-032-058> (accessed date: 22.03.2021). (in Russian)
 12. Ulybin, A. V. On the choice of methods for controlling the strength of concrete, constructed structures. – Text : electronic. – In: *Engineering and construction journal*. – 2011. – № 4. – P. 10–15. – URL: <https://engstroy.spbstu.ru/article/2011.22.2/> (accessed date: 22.03.2021). (in Russian)
 13. Belentsov, Yu. A.; Kazanskaya, L. F. Non-destructive quality control methods as a factor in the reliability of concrete and reinforced concrete structures in transport facilities. – doi: 10.17811/transsyst2018041058-67. – Text : electronic. – In: *Transport systems and technologies*. – 2018. – Volume 4, № 1. – P. 58–67. – URL: <https://transsyst.ru/transsyst/article/view/8708/0> (accessed: 22.03.2021). (in Russian)
 14. Varlamov, A. A.; Churlyayeva, N. A. Study of changes in elastic deformations of concrete. – Text: electronic. – In: *Architecture. Construction. Education*. – 2014. – № 2(4). – P. 74–78. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21388630> (accessed: 22.03.2021). (in Russian)

Варламов Андрей Аркадьевич – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования зданий и строительных конструкций ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова». Научные интересы: исследования свойств бетона, способ оценки напряженно-деформированного состояния бетона эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Новиков Максим Алексеевич – магистрант кафедры проектирования зданий и строительных конструкций ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова». Научные интересы: исследования свойств бетона, актуальные проблемы строительства.

Курбангалеева Милена Ринатовна – магистрант кафедры проектирования зданий и строительных конструкций ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова». Научные интересы: исследования свойств бетона, актуальные проблемы строительства.

Варламов Андрій Аркадійович – доктор технічних наук, професор кафедри проектування будівель і будівельних конструкцій ФДБОУ ВО «Магнітогорський державний технічний університет імені Г. І. Носова». Наукові інтереси: дослідження властивостей бетону, спосіб оцінки напружено-деформованого стану бетону експлуатованих залізобетонних конструкцій.

Новіков Максим Олексійович – магістрант кафедри проектування будівель і будівельних конструкцій ФДБОУ ВО «Магнітогорський державний технічний університет імені Г. І. Носова». Наукові інтереси: дослідження властивостей бетону, актуальні проблеми будівництва.

Курбангалєєва Мілена Рінатовна – магістрант кафедри проектування будівель і будівельних конструкцій ФДБОУ ВО «Магнітогорський державний технічний університет імені Г. І. Носова». Наукові інтереси: дослідження властивостей бетону, актуальні проблеми будівництва.

Varlamov Andrey – D. Sc. (Eng.), Professor, Building and Structural Design Department, G. I. Nosov Magnitogorsk state technical university. Scientific interests: studies of concrete properties, a method for assessing the stress-strain state of concrete in operating reinforced concrete structures.

Novikov Maxim – Master's Student, Building and Structural Design Department, G. I. Nosov Magnitogorsk state technical university. Scientific interests: research of concrete properties, topical problems of construction.

Kurbangaleeva Milena – Master's Student, Building and Structural Design Department, G. I. Nosov Magnitogorsk state technical university. Scientific interests: research of concrete properties, topical problems of construction.