

УДК 691.32:69.04:693.554-486:691.327

DOI 10.52928/2070-1683-2022-31-8-32-37

ПРАКТИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧНОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФИБРОБЕТОНА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

Е.А. САДОВСКАЯ¹, д-р техн. наук, проф. С.Н. ЛЕОНОВИЧ^{1,2}, Н.А. БУДРЕВИЧ¹

(¹Белорусский национальный технический университет, Минск;

²Институт Циндао, Китай)

В данной статье изложены результаты практического применения многопараметричной методики оценки качества фибробетона на строительной площадке. Исследуется монолитный фибробетонный промышленный пол в производственном цеху. Используются методы неразрушающего контроля: упругий отскок, ультразвуковой импульс, ультразвуковая томография. В результате проведенных испытаний получены значения прочности на сжатие, толщина исследуемой конструкции (при одностороннем доступе), однородность материала (пустоты и фибровые «ежи»).

Ключевые слова: фибробетон, прочность на сжатие, неразрушающий метод контроля, ультразвуковая томография, упругий отскок.

Введение. Фибробетон рекомендуется применять в конструкциях зданий и сооружений, для которых существенное значение имеют снижение собственного веса, уменьшение раскрытия трещин, обеспечение водонепроницаемости бетона, повышение: долговечности, ударной стойкости, сопротивления истиранию и продавливанию [1–8]. Особый интерес в строительстве вызывает проведение контроля качества конструкций в построчных условиях. Так как основу фибробетона составляет бетон-матрица, то и методы контроля, используемые для монолитных бетонных конструкций, будут также применимы и для фибробетона [9]. Предлагаемая авторами методика состоит из трех этапов (таблица 1).

На первом этапе производится сплошной контроль комбинированным (комплексным) методом [10; 11]. В результате измерений ультразвуковым методом и методом упругого отскока получают значение прочности бетонной матрицы. Участки (конструкции) с отличающимися (низкими) показателями испытываются дополнительно на последующих этапах в обязательном порядке.

На втором этапе производится ультразвуковая томография конструкции [12; 13]. Данный метод позволяет определить толщину конструкции и прилегающего к ней основания при одностороннем доступе, обнаружить пустоты и «ежи» из фибровых волокон. Контроль может выполняться точечный и сплошной. Точечный контроль выполняется в обязательном порядке на всех конструкциях. Сплошной контроль может выполняться для конструкций с сомнительными показателями прочности, дефектности (по результатам точечного контроля).

На третьем этапе используется метод прямого отрыва со скалыванием для определения критического коэффициента интенсивности напряжений и прочности фибробетона в конструкции [14]. Данный метод обязательно проводится на участках (конструкциях), где на предыдущих этапах испытаний были выявлены дефекты, снижение прочности и др.

Таблица 1. – Методика контроля качества фибробетона в конструкции

№	Наименование метода исследования	Получаемый результат
1 этап	Комбинированный (комплексный) метод	Прочность бетонной матрицы
2 этап	Метод ультразвуковой томографии	Толщина конструкции; наличие пустот, «ежей»; анализ прилегающего основания
3 этап	Прямой отрыв со скалыванием	Критический коэффициент интенсивности напряжений фибробетона; прочность фибробетона

Описание объекта исследования. С целью апробации предложенной методики, были проведены исследования фибробетонного промышленного пола в производственном цеху (рисунок 1). Цех представляет собой промышленное здание с железобетонным каркасом, покрытием из железобетонных ребристых плит и ограждением из сэндвич-панелей. Размеры производственного цеха 18×72 м в осях.

Конструкция пола состоит из песчаной подготовки, выравнивающего бетонного слоя, арматурного каркаса (только в наиболее нагруженных участках), фибробетонного слоя.

Фибра из листовой стали (ФЛА-0,9-50) представляет собой стальную полосу, имеющую на концах анкеры в виде сегментов окружности, радиусно сопряженных с прямыми участками полосы. Торцы полосы развернуты относительно друг друга на произвольный угол (ТУ ВУ 190345927.006-2018). Фибровые волокна вручную добавлялись в бетонную смесь непосредственно во вращающийся барабан автобетоносмесителя.

Характеристики поставляемой бетонной смеси на объект строительства: условное обозначение – БСГТ ПЗ С25/30 St-1 F200 W6 СТБ 1035-96; наибольшая крупность заполнителя – 10–20 мм; пластифицирующая добавка Реламикс ПК – 0,5%.



a – фибробетонная смесь при укладке; *б* – внешний вид стыка фибробетонного слоя пола;
в – фибра из листовой стали анкерная (ФЛА-0,9-50)

Рисунок 1. – Объект исследования

Работы по устройству пола выполнялись по захваткам. Укладка смеси производилась непосредственно из автобетоносмесителя с последующим выравниванием при помощи виброрейки. Поверхность пола после затвердевания шлифовалась. Потом производилась нарезка деформационных швов с последующей герметизацией шва (рисунок 2).

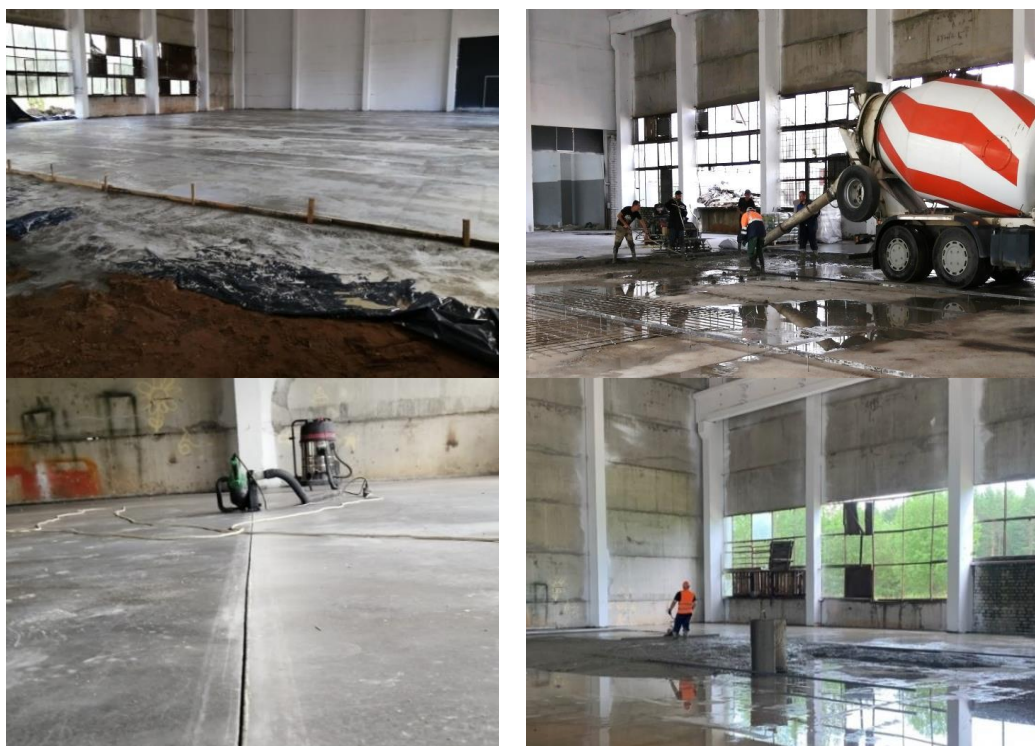


Рисунок 2. – Устройство фибробетонного пола

Метод упругого отскока. Для испытаний методом упругого отскока (СТБ 2264 и ГОСТ 22690) использовался прибор Молоток Шмидта (SilverSchmidt Proceq). Испытания проводились в два этапа. На первом этапе в лабораторных условиях фиксировались значения прибора на образцах-кубах $100 \times 100 \times 100$ мм, зажатых плитами прессы под нагрузкой 30 кН (ГОСТ 22690). По полученным результатам расчетным путем выведено уравнение зависимости косвенных показателей от значений прочности на сжатие. На втором этапе в производственных условиях проводились испытания бетона в конструкции пола. Вся площадь пола была разбита на 48 контролируемых участков (секций) (рисунок 3).



в

Д	4	5	12	13	20	21	28	29	36	37	44	45	
Г	3	6	11	14	19	22	27	30	35	38	43	46	
В	2	7	10	15	18	23	26	31	34	39	42	47	
Б	1	8	9	16	17	24	25	32	33	40	41	48	
А	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

а – испытания методом упругого отскока; б – УЗ; в – схема пола цеха, разбитая на секции

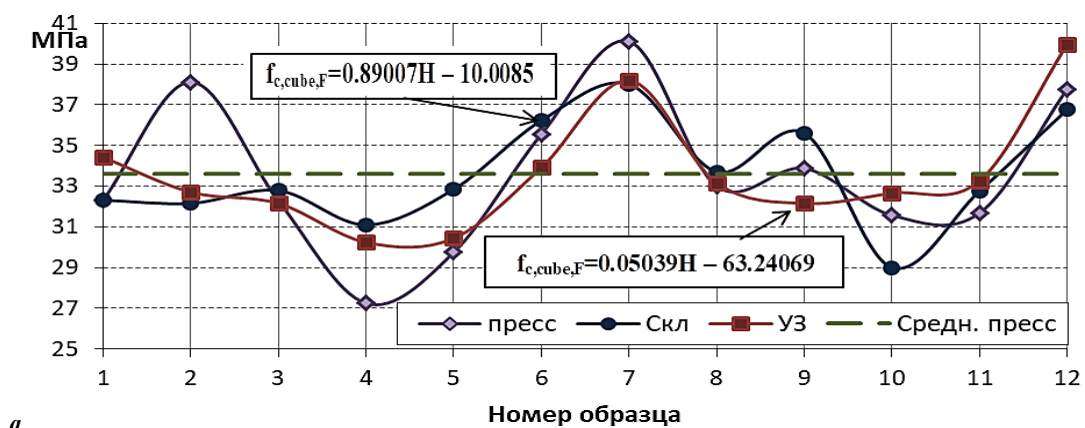
Рисунок 3. – Проведение испытаний

Ультразвуковой импульсный метод. Испытания ультразвуковым импульсным методом проводились согласно ГОСТ 17624. Сначала ультразвуковые испытания проводились на кубах 100×100×100 мм в лабораторных условиях прибором Пульсар 2.2. Потом ультразвуковым импульсным методом испытывали фибробетонный промышленный пол в производственном цеху в г. Сморгонь.

Комбинированный (комплексный) метод. Комбинированный метод оценки прочности фибробетона в конструкции промышленного пола заключается в проведении многопараметрового контроля, объединяющего оценки прочности метода упругого отскока и ультразвуковой метод по формуле (рисунок 4)

$$f_{is,1} = \frac{f_{is,1} + \theta f_{is,2}}{1 + \theta}$$

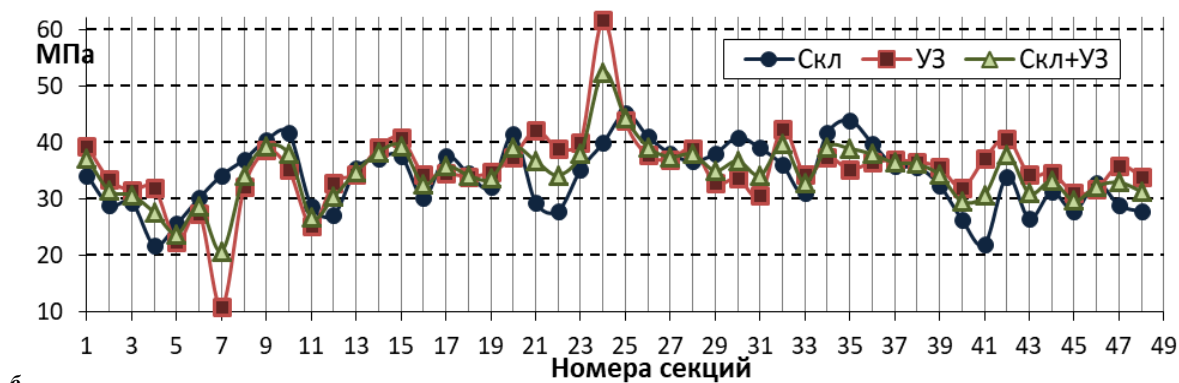
где $f_{is,1}$ и $f_{is,2}$ – оценки прочности бетона конструкции методами упругого отскока и ультразвука; θ – относительный коэффициент влияния.



а

а – результаты испытаний образцов методами упругого отскока и УЗ

Рисунок 4. – Результаты испытаний (начало)



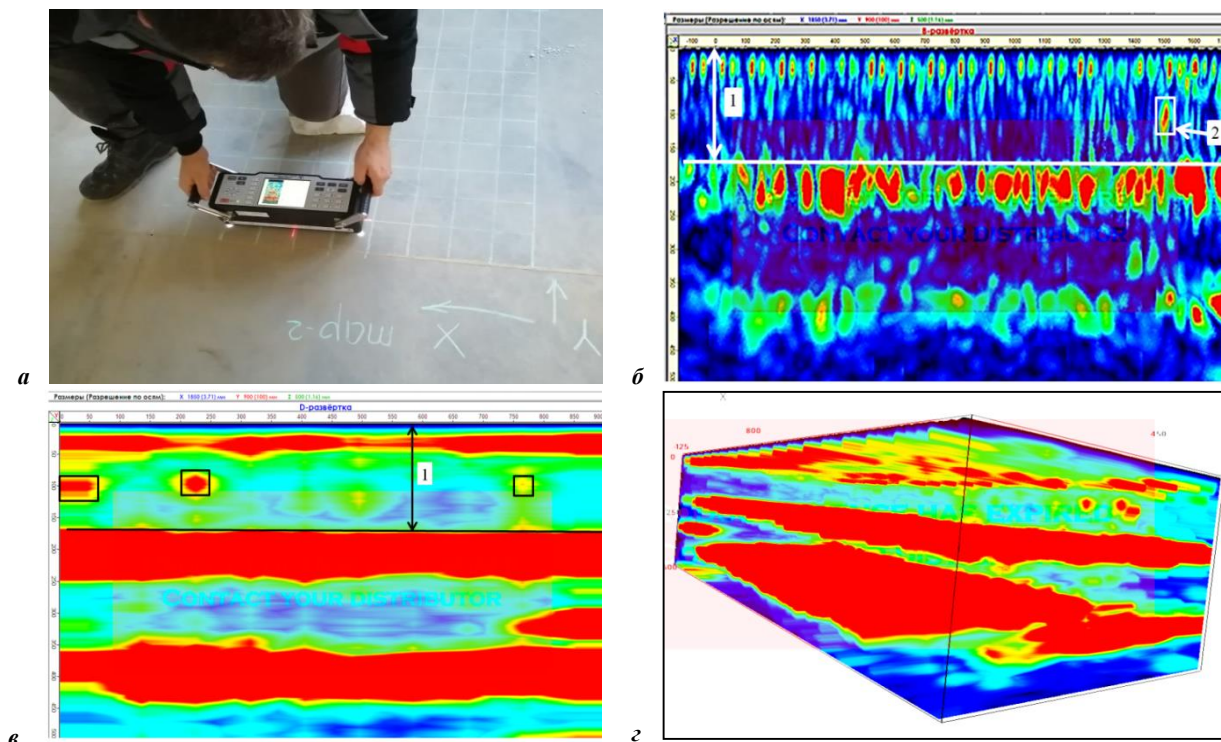
б

б – значения прочности в секциях фибробетонного пола, полученные методом упругого отскока (склерометр), ультразвуковым методом и их комбинированием

Рисунок 4. – Результаты испытаний (окончание)

Согласно полученным результатам неразрушающего контроля прочности фибробетона в конструкции промышленного пола, прочность на сжатие составляет 34,5 МПа, что больше гарантированной прочности (32 МПа) и меньше требуемой (38,4 МПа) для класса бетона С25/30.

Ультразвуковая томография. Ультразвуковая томография производилась при помощи ультразвукового низкочастотного томографа А1040 MIRA. Испытания проводились непосредственно на объекте исследования – готовая конструкция промышленного фибробетонного пола в проектном возрасте (рисунок 5, а). На первом этапе точно просканированы участки конструкции с получением В-сканов. На втором этапе выполнено полное сканирование участка пола длиной 1,6 м и шириной 1 м в режиме КАРТА (рисунок 5, б–г).



а – испытание ультразвуковым томографом А1040 MIRA; б – В-развертка (оси XZ);
в – В-развертка (оси YZ); г – 3D-модель

Рисунок 5. – Томограммы полученной карты участка пола

Согласно полученным результатам исследования методом ультразвуковой томографии, толщина фибробетонного слоя конструкции пола составляет 160–162 мм (на рисунках 5, б, в указано под номером 1). В целом конструкция представляет сплошной монолитный объем дефектов. В нижней трети фибробетонного слоя при сплошном сканировании выявлены отражения сигнала (на рисунке 5, б обозначено номером 2), которые могут быть вызваны наличием в этих местах скопления фибровых волокон, воздух в которых отражает ультразвуковой сигнал.

Заключение. Результаты исследований позволяют оценить качество полученной фибробетонной конструкции в производственных условиях. Использование неразрушающих методов позволяет проводить неограниченное количество испытаний и получать объективное состояние исследуемой конструкции. Комбинирование неразрушающих методов позволяет получить дополняющие друг друга показатели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полонина, Е.Н. Физико-механические характеристики нанобетона / Е.Н. Полонина, С.Н. Леонович, Е.А. Коледа // Вестн. Инженерной шк. Дальневосточного федерального ун-та. – 2018. – № 4 (37). – С. 100–111. DOI: 10.5281/zenodo.2008672.
2. Пухаренко, Ю.В. О вязкости разрушения фибробетона / Ю.В. Пухаренко, В.Ю. Голубев // Вестн. гражданских инженеров. – 2008. – № 3 (16). – С. 80–83.
3. Fracture modeling of fiber reinforced concrete in a multiscale approach / M. Congro [et al.] // Composites. Part B, Engineering. – 2019. – Vol. 174. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.106958.
4. Influence of the Nanostructured-Carbon-Based Plasticizing Admixture in a Self-Compacting Concrete Mix on Its Technological Properties / S.A. Zhdanok [et al.] // J. of Engineering Physics and Thermophysics. – 2019. – Vol. 92, iss. 2. – P. 376–382. DOI: 10.1007/s10891-019-01941-7.
5. Tensile Strength of Nanofibrous Concrete / E.A. Sadovskaya [et al.] // J. of Engineering Physics and Thermophysics. – 2020. – Vol. 93, № 4. – P. 1015–1019. DOI: 10.1007/s10891-020-02202-8.
6. Cement-Based Materials Modified with Nanoscale Additives / E.N. Polonina [et al.] // Science and Technique. – 2021. – Vol. 20, № 3. – P. 189–194. DOI: 10.21122/2227-1031-2021-20-3-189-194.
7. Коледа, Е.А. Характеристики трещиностойкости фибробетона как определяющий фактор качества / Е.А. Коледа, С.Н. Леонович // Технология строительства и реконструкции : сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т ; Нац. акад. наук Беларуси ; под ред. Б.М. Хрусталева, С.Н. Леоновича. – Минск : Белорус. нац. техн. ун-т, 2017. – С. 282–287.
8. Коледа, Е.А. Результаты испытаний нанофибробетона на растяжение с комплексным фибровым армированием / Е.А. Коледа, С.Н. Леонович, С.А. Жданок // Вестн. Поволжского гос. технол. ун-та. Сер. Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 2. – С. 16–23.
9. Коледа, Е.А. Неразрушающий контроль качества фибробетонных конструкций как компонент системы мониторинга рисков при эксплуатации производственного объекта / Е.А. Коледа, С.Н. Леонович // Системные технологии. – 2016. – № 19. – С. 85–95.
10. Снежков, Д.Ю. Мультиволновой ультразвуковой контроль бетона / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович // Наука и техника. – 2017. – Т. 16, № 4. – С. 289–297. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-289-297.
11. Снежков, Д.Ю. Повышение достоверности контроля прочности бетона неразрушающими методами на основе их комбинирования / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 1. – С. 25–32.
12. Шевалдыкин, В.Г. Ультразвуковые низкочастотные пьезопреобразователи с сухим точечным контактом и их применение для неразрушающего контроля / В.Г. Шевалдыкин, А.А. Самокрутов, В.Н. Козлов // Контроль. Диагностика. – 2003. – № 2. – С. 30–39.
13. Козлов, В.Н. Ультразвуковая дефектоскопия бетона эхо-методом: состояние и перспективы / В.Н. Козлов, А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин // В мире неразрушающего контроля. – 2002. – № 2 (16). – С. 6–10.
14. Леонович, С.Н. Способ контроля качества сталефибробетона по коэффициенту интенсивности напряжений при нормальном отрыве / С.Н. Леонович // Поведение бетонов и железобетонных конструкций при наличии нагрузок и тепловлажностных воздействий различной длительности : электрон. сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. / Редкол.: Н.М. Зайченко [и др.]. – Макеевка : ДОННАСА, 2020. – С. 47–52.

REFERENCES

1. Polonina, E.N., Leonovich, S.N. & Koleda, E.A. (2018). Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki nanobetona [Physical and mechanical properties of nano concrete]. *Vestn. Inzhenernoi shk. Dal'nevostochnogo federal'nogo un-ta [FEFU: School of Engineering Bulletin]*, (4), 100–111. (In Russ.). DOI: 10.5281/zenodo.2008672.
2. Pukharenko, Yu.V. & Golubev, V.Yu. (2008). O vyazkosti razrusheniya fibrobetona. *Vestn. grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]*, (3), 80–83. (In Russ.).
3. Congro, M., Sanchez, C.M., Roehl, D. & Marangon, E. (2019). Fracture modeling of fiber reinforced concrete in a multiscale approach. *Composites. Part B, Engineering*, 174. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.106958.
4. Zhdanok, S.A., Polonina, E.N., Leonovich, S.N., Khroustalev, B.M. & Koleda, E.A. (2019). Influence of the Nanostructured-Carbon-Based Plasticizing Admixture in a Self-Compacting Concrete Mix on Its Technological Properties. *J. of Engineering Physics and Thermophysics*, 92 (2), 376–382. DOI: 10.1007/s10891-019-01941-7.
5. Sadovskaya, E.A., Polonina, E.N., Leonovich, S.N. & Zhdanok, S.A. (2020). Tensile Strength of Nanofibrous Concrete. *J. of Engineering Physics and Thermophysics*, 93 (4), 1015–1019. DOI: 10.1007/s10891-020-02202-8.
6. Polonina, E.N., Leonovich, S.N., Khroustalev, B.M., Sadovskaya, E.A. & Budrevich, N.A. (2021). Cement-Based Materials Modified with Nanoscale Additives. *Science and Technique*, 20 (3), 189–194. DOI: 10.21122/2227-1031-2021-20-3-189-194.
7. Koleda, E.A. & Leonovich, S.N. (2017). Kharakteristiki treshchinostoikosti fibrobetona kak opredelyayushchii faktor kachestva. In B.M. Khroustalev (Eds.) & S.N. Leonovich (Eds.) *Tekhnologiya stroitel'stva i rekonstruktsii: sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* (282–287). Minsk: Belorus. nats. tekhn. un-t. (In Russ.).
8. Koleda, E.A., Leonovich, S.N. & Zhdanok, S.A. (2018). Rezultaty ispytaniy nanofibrobetona na rastyazhenie s kompleksnym fibrovym armirovaniem [Results of tension testing of nanofiber concrete with integrated fiber reinforcement]. *Vestn. Povolzhskogo gos. tekhnol. un-ta. Ser. Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser. Materials. Constructions. Technologies]*, (2), 16–23. (In Russ., abstr. in Engl.).
9. Koleda, E.A. & Leonovich, S.N. (2016). Nerazrushayushchii kontrol' kachestva fibrobetonnykh konstruktsii kak komponent sistemy monitoringa riskov pri ekspluatatsii proizvodstvennogo ob"ekta [Non-destructive quality control of fiber-reinforced concrete structures as a component of the risk monitoring system during the operation of a production facility]. *Sistemnye tekhnologii*, (19), 85–95. (In Russ., abstr. in Engl.).

10. Snezhkov, D.Yu. & Leonovich, S.N. (2017). Mul'tivolnovoi ul'trazvukovoi kontrol' betona [Multi-Wave Ultrasonic Control of Concrete]. *Nauka i tekhnika [Science and Technique]*, 16 (4), 289–297. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-289-297. (In Russ., abstr. in Engl.).
11. Snezhkov, D.Yu. & Leonovich, S.N. (2018). Povyshenie dostovernosti kontrolya prochnosti betona nerazrushayushchimi metodami na osnove ikh kombinirovaniya [Improving Reliability of Testing Concrete Strength by Non-Destructive Methods on the Basis of Their Combination]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*, (1), 25–32. (In Russ., abstr. in Engl.).
12. Shevaldykin, V.G., Samokrutov, A.A. & Kozlov, V.N. (2003). Ul'trazvukovye nizkochastotnye p'ezopreobrazovateli s sukhim tochechnym kontaktom i ikh primeneniye dlya nerazrushayushchego kontrolya. *Kontrol'. Diagnostika [Testing. Diagnostics]*, (2), 30–39. (In Russ.).
13. Kozlov, V.N., Samokrutov, A.A. & Shevaldykin, V.G. (2002). Ul'trazvukovaya defektoskopiya betona ekho-metodom: sostoyanie i perspektivy. *V mire nerazrushayushchego kontrolya*, (2), 6–10. (In Russ.).
14. Leonovich, S.N. (2020). Sposob kontrolya kachestva stalefibrobetona po koeffitsientu intensivnosti napryazhenii pri normal'nom otryye. In N.M. Zaichenko (Eds.) [et al.] *Povedenie betonov i zhelezobetonnykh konstruksii pri nalichii nagruzok i teplovla-zhnostnykh vozdeystvii razlichnoi dlitel'nosti: elektron. sb. nauch. tr. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* (47–52). Makeevka: DON-NASA. (In Russ.).

Поступила 05.04.2022

PRACTICAL TESTING OF A MULTIPARAMETER METHOD FOR ASSESSING THE QUALITY OF FIBER CONCRETE ON A CONSTRUCTION SITE

E. SADOVSKAYA, S. LEONOVICH, N. BUDREVICH

This article presents the results of the practical application of a multi-parameter method for assessing the quality of fiber-reinforced concrete at a construction site. A monolithic fiber-reinforced concrete industrial floor in the production workshop is being investigated. Non-destructive testing methods are used: elastic rebound, ultrasonic pulse, ultrasonic tomography. As a result of the tests, the values of compressive strength, the thickness of the structure under study (with one-sided access), and the homogeneity of the material (voids and fiber "hedgehogs") were obtained.

Keywords: *fiber-reinforced concrete, compressive strength, non-destructive testing method, ultrasonic tomography, elastic rebound.*