

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-3-216-223>

УДК 624.154.546:620.179

Однородность ствола буронабивных свай по результатам четырехканального межскважинного ультразвукового мониторинга

Канд. техн. наук, доц. Д. Ю. Снежков¹⁾,
докт. техн. наук, проф. С. Н. Леонович¹⁾, асп. Н. А. Будревич¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2023
Belarusian National Technical University, 2023

Реферат. Исследована однородность структуры ствола буронабивных свай по результатам четырехканального межскважинного ультразвукового (УЗ) мониторинга. Определена фактическая длина свай с выявлением дефрагментации ствола сваи, определена прочность на сжатие, выявлены дефекты сплошности на основе совместного анализа данных метода межскважинного ультразвукового мониторинга. Использование четырех каналов позволяет отдельно контролировать периферийную и центральную области сваи в шести направлениях. Данные сейсмоакустического метода совпали с параметрами ультразвукового мониторинга в части выявления зон неоднородности бетона, уменьшения сечения сваи и т. д. Для всех перечисленных свай названными методами испытаний не зарегистрированы данные, указывающие на дефрагментацию ствола сваи – присутствие участков, в поперечных сечениях которых полностью отсутствует бетон. Этими методами испытаний для всех свай подтверждено соответствие их фактической длины проектным значениям. Значимый дефект сплошности бетона сваи 40оп, по данным УЗ мониторинга и сейсмоакустического метода, зарегистрирован в интервале отметок $-(17,5-18)$ м, проявляющий себя снижением скорости распространения УЗ импульса от 25 до 50 % по двум направлениям прозвучивания, включая диаметрально. Указанный дефект можно интерпретировать как снижение эффективного сечения сваи до 25–50 % от среднего значения. Дефектные участки свай обнаруживались в их верхней части на отметках по глубине от 0 до $-1,5$ м, считая от торцевой поверхности оголовка. При этом различия по физико-механическим параметрам бетона на этих отметках наблюдались и в пределах поперечного сечения свай [1–5].

Ключевые слова: межскважинный ультразвуковой мониторинг, виброакустический метод, буронабивная свая, каналобразующие трубы

Для цитирования: Снежков, Д. Ю. Однородность ствола буронабивных свай по результатам четырехканального межскважинного ультразвукового мониторинга / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович, Н. А. Будревич // *Наука и техника*. 2023. Т. 22, № 3. С. 216–223. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-3-216-223>

Homogeneity of Bored Piles According to Results of Four-Channel Cross-Well Ultrasonic Monitoring

D. Yu. Snezhkov, S. N. Leonovich, N. A. Budrevich

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The homogeneity of the structure of the bored pile shaft has been studied based on the results of four-channel interwell ultrasonic (US) monitoring. The actual length of the piles has been determined with the detection of defragmentation of the pile shaft, the compressive defects have been determined, and continuity defects have been identified based on a joint analysis of data from the method of interwell ultrasonic monitoring. The use of four channels allows to control separately the peripheral and central areas of the pile in six directions. The data of the seismoacoustic method coincided with the parameters of ultrasonic monitoring in terms of identifying zones of concrete heterogeneity, reducing the pile cross section, etc.

Адрес для переписки

Леонович Сергей Николаевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 368-61-56
sleonovich@mail.ru

Address for correspondence

Leonovich Sergey N.
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 368-61-56
sleonovich@mail.ru

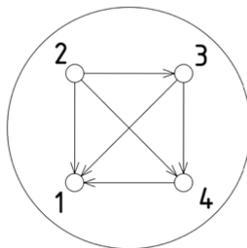
For all of the listed piles, data are not registered by the named test methods indicating defragmentation of the pile shaft – the presence of sections in the cross sections of which there is no concrete at all. These test methods for all piles confirmed the compliance of their actual length with the design values. A significant defect in the continuity of the concrete of the 40op pile, according to the data of ultrasonic monitoring and seismoacoustic method, was registered in the interval of marks – (17.5–18) m, manifesting itself as a decrease in the propagation velocity of the ultrasonic pulse from 25 to 50 % in two sounding directions, including diametrical. This defect can be interpreted as a decrease in the effective section of the pile to 25–50 % of the average value. Defective sections of piles were found in their upper part at depth marks from 0 to –1.5 m, counting from the end surface of the head. At the same time, differences in the physical and mechanical parameters of concrete at these marks were also observed within the cross section of piles [1–5].

Keywords: cross-well ultrasonic monitoring, vibroacoustic method, bored pile, channel forming pipes

For citation: Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N., Budrevich N. A (2023) Homogeneity of Bored Piles According to Results of Four-Channel Cross-Well Ultrasonic Monitoring. *Science and Technique*. 22 (3), 216–223. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-3-216-223> (in Russian)

Методика выполнения испытаний

Выполнены испытания следующих свай: 8оп, 39оп, 40оп, 66оп, 121оп, 148оп. Для проведения межскважинного ультразвукового мониторинга в арматурном каркасе свай предусмотрена установка четырех каналобразующих труб внутренним диаметром 50 мм, прикрепленных к пространственному арматурному каркасу сваркой (рис. 1, 2). Использование четырех каналов позволяет отдельно контролировать периферийную область сечения ствола сваи – направления 1–2, 2–3, 3–4, 1–4 – и его центральную область – направления 1–3 и 2–4.



1–2 – направление ультразвукового прозвучивания бетона опытных свай

Рис. 1. Схемы расположения труб доступа и трасс (сечений) по методу межскважинного ультразвукового мониторинга

Рис. 1. Access pipe layouts and traces (sections) according to the interwell method of ultrasound monitoring

Контроль этим методом требует предварительного определения скорости распространения акустической волны v в бетоне свай. Для этого были выполнены ультразвуковые измерения на выступающих из грунта оголовках свай. На каждой свае проведены пять измерений скорости ультразвукового импульса

в двух взаимно перпендикулярных направлениях прибором «Пульсар-2.2» (версия ДБС) [6–13].

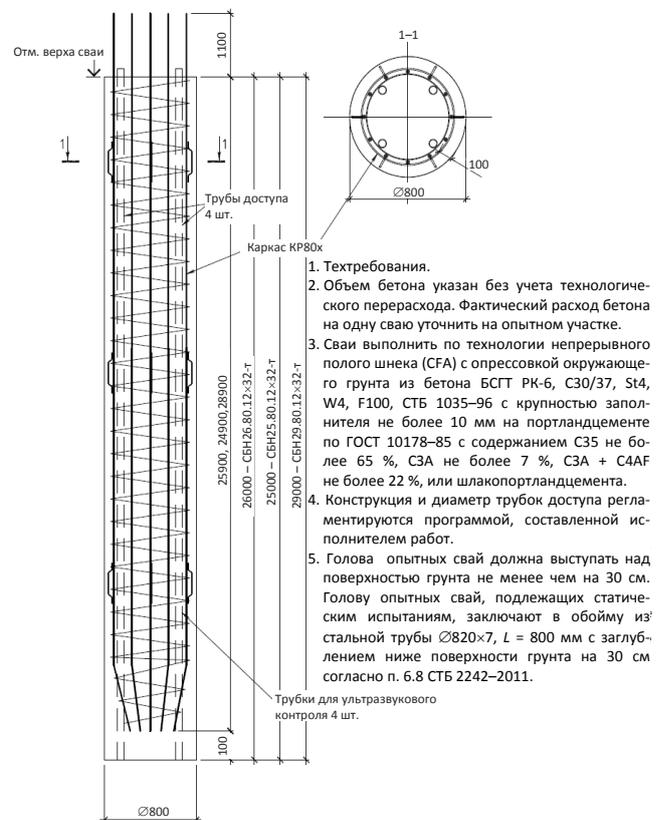


Рис. 2. Свая буронабивная с каналобразующими трубами

Рис. 2. Bored pile with channel forming pipes

Результаты испытаний

Основные результаты контроля свай 8оп, 40оп, 66оп, 121оп, 148оп методом четырехканального межскважинного ультразвукового мониторинга приведены в табл. 1, 2.

Основные результаты испытания свай 8оп, 40оп, 66оп, 121оп, 148оп сейсмоакустическим методом приведены в табл. 3.

Таблица 1

Результаты измерений скорости ультразвукового контроля
Results of ultrasonic inspection velocity measurement

№ сваи	Скорость распространения УЗ импульса, м·с ⁻¹							Коэффициент вариации, %
	1–2	2–3	3–4	1–4	1–3	2–4	Средняя	
8оп	3 698	3 712	3 685	3 714	3 901	3 861	3 762	2,492
40оп	3 795	3 860	3 815	3 878	3 817	3 837	3 834	0,807
66оп	3 724	3 782	3 799	3 786	3 801	3 826	3 786	0,904
121оп	3 735	3 693	3 879	3 740	3 772	3 809	3 771	1,737
148оп	3 902	3 820	3 837	3 849	3 837	3 861	3 851	0,740

Таблица 2

Результаты межскважинного ультразвукового мониторинга свай
Results of cross-well ultrasonic monitoring of piles

№ сваи	Трасса измерения	Отметка расположения дефектного участка, м					Нижняя отметка*, м
		1–2	2–3	3–4	1–4	1–3	
8оп	1–2	0,5–1!		14,5	17,5; 19		–26,3
	2–3	0,5–1!	7,5–8	13,5–14			–26,3
	3–4	0,5–1!	3,5–8				–26,0
	1–4	0,5–1!	7,5–8		20,5	24,5–25,5	–26,3
	1–3	0,5–1!					–26,3
	2–4	0,5–1!	7,5			24,5–25,0	–26,3
40оп	1–2	0,5–2!	3–5			26–27,5	–28,0
	2–3		7,5				–28,5
	3–4			12–13,5	16,5		–28,5
	1–4	0,5		12	16–17;18		–28,5
	1–3				18!		–28,5
	2–4						–28,5
66оп	1–2		6,5; 7,5–8			24–25!	–26,0
	2–3	1–1,5	7,5				–26,5
	3–4			14,5			–26,0
	1–4	1–1,5	7,5	12			–26,5
	1–3	1!					–26,0
	2–4					25	–26,5
121оп	1–2	0,5–1,5		8–9	15,5	21	–25,5
	2–3		5,5	12,5; 14,5		20–21	–25,5
	3–4						–25,0
	1–4		6–6,5				–25,5
	1–3	0,5–1!					–25,5
	2–4	0,5–1!				25	–25,5
148оп	1–2			8–8,5			–26,0
	2–3	0,5–1,5!	3,5–4	9			–26,0
	3–4	0,5–1,5!					–26,0
	1–4	0,5–1,5!	3,5				–26,0
	1–3	0,5–1,5!	3,5!				–26,0
	2–4	0,5–1,5!		9		25	–26,0

Примечания: ! – значительное (>5 %) снижение скорости УЗК;
остальные значения соответствуют одиночным отсчетам со снижением скорости УЗК на 2–5 %;
* нижняя отметка определена по проходимости канальных труб.

Результаты контроля свай сейсмоакустическим методом
Results of pile control by seismoacoustic method

№ сваи по генплану	Отметка дефектов сечения («шейка» – «бочка»), м					Акустическая длина сваи, м
	1	2	3	4	5	
8оп	2,5 ⁻		12 ⁺	23 ⁻	25	25
39оп	4 ⁺				29,5	29,5
40оп	1,5 ⁺	8 ⁻	19 ⁻	24 ⁻	27–29	27–29
66оп		11 ⁻	19 ⁻	24–25 ⁺	26	26
121оп		12–14 ⁻	18–19 ⁺	23 ⁺	25	25
148оп		11 ⁻	21 ⁻	23 ⁺	25–25,5	25,5

Примечания: (-) – дефект типа «шейка»; (+) – дефект «выпучивание».

Свая 8оп. По данным УЗ мониторинга (рис. 3) выявлена выраженная зона неоднородности и пониженной прочности бетона на 50–75 % в интервале отметок $-(0,5-1,5)$ м. Дефект распространяется как на внутреннюю область сечения, так и на периферийные участки, то есть захватывает все сечение сваи. На отметках в интервале $-(3,5-8)$ м выявлено снижение прочности бетона на сжатие на трассе прозвучивания 3–4 в этом сечении сваи на 30 %, а на отметке $-7,5$ м – на 40 % по трассе 3–4 и на 25 % по трассе 1–4. На отметках $-(13,5-14)$ м обнаружено снижение прочности на 30 % по трассе 2–3, на отметках $-(17-20)$ м снижение прочности на 30 % по трассе 1–2, на отметке -19 м снижение прочности по трассе 1–2 достигает 40 %. На отметках $-(24-25,5)$ м зарегистрировано аномальное уменьшение скорости УЗ импульса по трассам 1–4 и 2–4, которое может быть связано со снижением прочности бетона на 50–60 %.

По данным сейсмоакустического метода, на отметках $-(12-13)$ м регистрируется акустический отклик, соответствующий дефекту типа «бочка». Такого типа акустический отклик может также возникать вследствие скачкообразного увеличения плотности – модуля упругости (прочности) бетона.

На рис. 3 на отметке $-(12-14)$ м присутствует локальная область увеличенной скорости УЗ по трассам 1–3, 2–4 и 1–4. На отметке -23 м регистрируется дефект типа «шейка». Данный дефект может являться следствием уменьшения эффективного сечения сваи на 10–15 %.

Общая длина сваи составляет: 26,0–26,3 м – по проходимости канальных труб; 25 м – по данным сейсмоакустического метода.

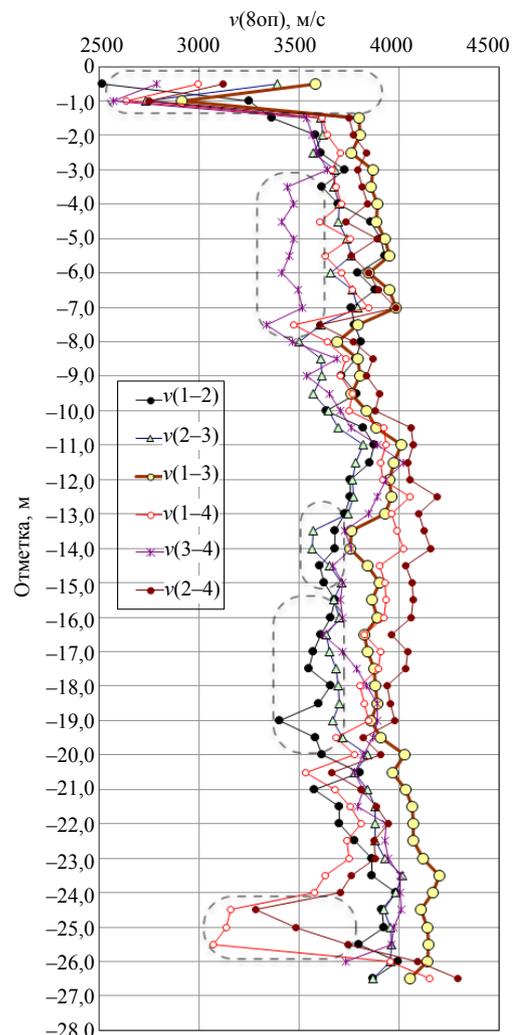


Рис. 3. Ультразвуковой профиль сваи 8оп

Fig. 3. Ultrasonic profile of 8op pile

Свая 39оп. Выявлена в испытаниях ультразвуком выраженная зона неоднородности и пониженной прочности бетона на 50–75 % в интервале отметок $-(0,5-1,5)$ м. Дефект регистри-

руется по всем трассам прозвучивания. На отметке -4 м регистрируется снижение прочности на $20-25\%$ по трассе 1-2. На этой же отметке сейсмоакустическим методом (рис. 4) регистрируется дефект типа «бочка». На отметке $-6,5$ м снижение прочности на $20-25\%$ по трассе 1-4. Регистрируется снижение прочности: на отметках -8 и -9 м по отдельным трассам 1-2 и 2-3 на $25-35\%$; на отметке -25 м по трассе 2-4 – на $20-25\%$.

Длина свай: $28,5-29,0$ м – по проходимости канальных труб; $29,5$ м – по данным сейсмоакустического метода.

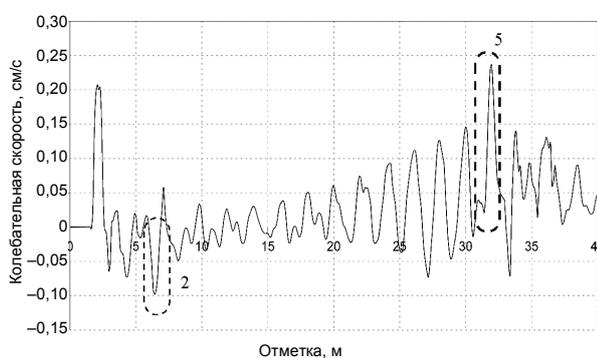


Рис. 4. Рефлектограмма свай 39оп
Fig. 4. Reflectogram of 39op pile

Свая 40оп. Выраженного дефекта, как это было зарегистрировано для свай 8оп и 39оп, в зоне оголовка для свай 40оп не выявлено. До отметки -2 м наблюдается снижение прочности бетона по трассе 1-2 на величину порядка $40-50\%$. На отметках $-(3-4)$ м по этой же трассе снижение прочности на $20-25\%$. На отметке $-7,5$ м регистрируется уменьшение прочности по трассе 2-3 на $15-20\%$. На отметках $-(12-13,5)$ м выявлено снижение прочности по трассе 3-4 на $15-20\%$. На отметках $-(6-17)$ м зафиксировано уменьшение прочности на сжатие по трассе 1-4 на $15-20\%$. Значимый дефект регистрируется на отметке -18 м по трассам 1-4 и 2-4, снижение прочности достигает $50-75\%$. На этой отметке регистрируется дефект типа «шейка» сейсмоакустическим методом. На отметках $-13,5$, $-(19-21)$, $-(24-27,5)$ м регистрируется значительная разница (до 15%) в скорости УЗ импульса, что указывает на неоднородность структуры бетона. На отметках $-(21-23)$ м вероятно увеличение эффективного сечения свай (дефект типа «бочка») на $15-25\%$.

Общая длина свай: $28,0-28,5$ м – по проходимости канальных труб; $27-29$ м – по данным сейсмоакустического метода.

Свая 66оп. Выявлена в результате ультразвукового мониторинга (рис. 5) зона неоднородности бетона в интервале отметок $-(0,5-1,5)$ м. Дефект занимает $25-40\%$ площади сечения свай на этих отметках, с падением прочности до 30% .

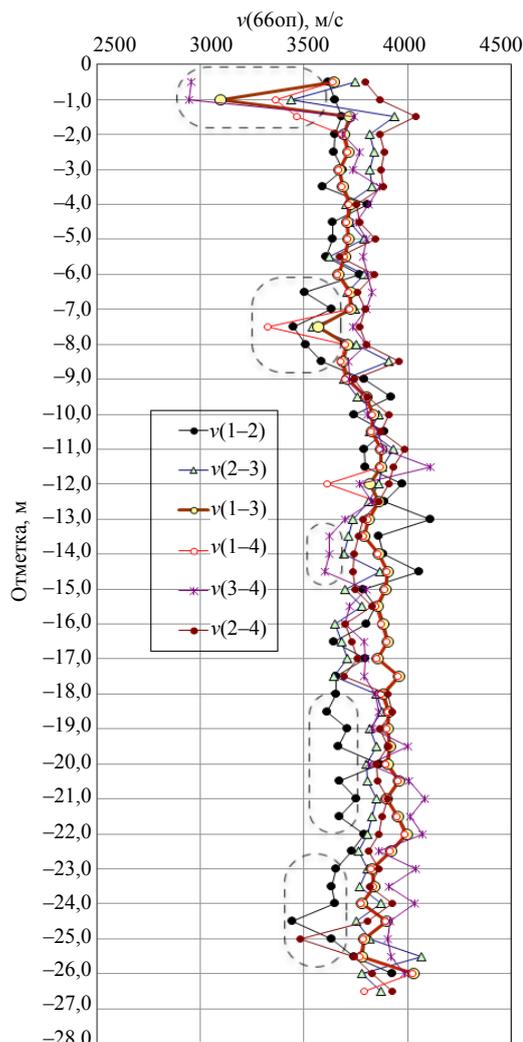


Рис. 5. Ультразвуковой профиль свай 66оп
Fig 5. Ultrasonic profile of 66op pile

На отметке $-7,5$ м выявлен дефект снижения прочности бетона на сжатие в диапазоне $2-30\%$ по трассам прозвучивания 1-2, 1-4, 2-3. Акустические отклики (рис. 5) на отметке -10 м интерпретируются как локальное уменьшение сечения свай в пределах 20% , прочность и однородность бетона на этих отметках не отличаются от средних показателей по всей длине

сваи. На отметках $-(24,5-25)$ м снижение прочности по трассам 1–2 и 2–4 на 20–35 %. С этой же отметки вероятно «бочка» на 15–20 % эффективного сечения. На отметках $-(24-25)$ м обнаружено выпучивание боковой поверхности сваи: ультразвуковые характеристики в этой зоне соответствуют средним значениям.

Длина сваи: 26,0–26,5 м – по проходимости канальных труб; 26 м – по данным сейсмоакустического метода.

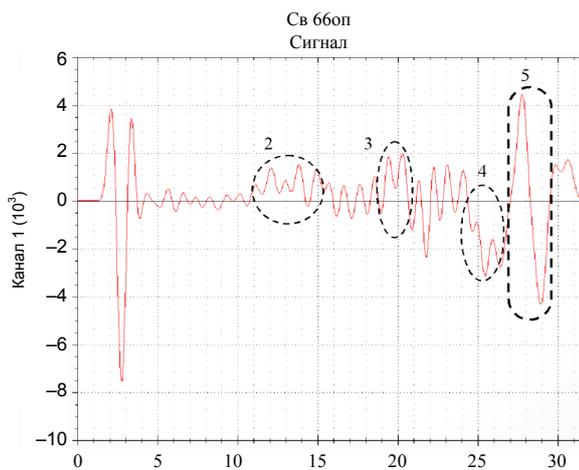


Рис. 6. Рефлектограмма сваи 66оп

Рис. 6. Reflectogram of 66op pile

Свая 121оп. По данным УЗ мониторинга зафиксирована зона неоднородности бетона в интервале отметок $0-(-1,5)$ м. Дефект распространяется на 20–40 % площади в центральной области сечения сваи на этой отметке. В периферийных областях указанного сечения такого рода дефект не обнаружен. Менее выраженные дефектные участки бетона выявлены на отметках $-(6-6,5)$ м (1–4, 2–3), $-(8,5-9)$ м (1–2), $-(12-12,5)$ м (2–3), $-15,5$ м (1–2), $-(20-21)$ м (2–3, 1–2), $-2,5$ м (2–4). Дефект занимает 20–25 % площади сечения сваи на указанной отметке. Прочность снижается на указанных направлениях прозвучивания от 20 до 30 %.

Акустический отклик на отметке -12 м интерпретируется как локальное уменьшение сечения сваи в пределах 20 %. Прочность и однородность бетона на этих отметках соответствуют средним показателям по всей длине сваи. На отметке -24 м и до пяты сваи регистрируется «бочка».

Общая длина сваи: 25,0–25,5 м – по проходимости канальных труб; 25,5 м – по данным сейсмоакустического метода.

Свая 148оп. По данным УЗ мониторинга выявлена выраженная зона неоднородности бетона в интервале отметок $-(0,5-2)$ м с максимумом на отметке $-1,5$ м. Дефект захватывает практически все сечение, исключая часть периферии сечения сваи, распространяясь на 50–70 % площади сечения сваи на указанной отметке. Снижение средней прочности бетона в сечении на отметке $-1,5$ м по всем траекториям, за исключением 1–2, до 50–70 %. Зарегистрирован дефект структуры бетона на отметке $-3,5$ м по трассам прозвучивания 1–3, 2–3 и 1–4, интерпретируемый как снижение прочности бетона сваи на 25–30 %. Присутствует менее выраженный дефект в интервале отметок $-(8-10)$ м со снижением прочности по трассам сечения на 20–25 %. На отметке -25 м регистрируется уменьшение прочности до 30 % по трассе 2–4.

Данные сейсмоакустического метода указывают на вероятное увеличение эффективного сечения сваи на 20–25 % в интервале отметок $-(21-24)$ м. Показатели однородности бетона на этих отметках совпадают со средними значениями по стволу сваи. Регистрируется небольшая шейка на отметке -19 м.

Общая длина сваи: 26,0 м – по проходимости канальных труб; 25 м – по данным сейсмоакустического метода.

ВЫВОДЫ

1. Разработана и апробирована на объекте строительства в г. Минске методика четырехканального межсважинного ультразвукового мониторинга с использованием прибора «Пульсар-2.2» (версия ДБС), с помощью которого выполнен контроль сплошности и однородности опытных буронабивных свай 8оп, 39оп, 40оп, 66оп, 121оп, 148оп. Сваи 8оп, 40оп, 66оп, 121оп, 148оп дополнительно контролировались сейсмоакустическим методом.

2. Для всех перечисленных свай названными методами испытаний не зарегистрированы данные, указывающие на дефрагментацию ствола сваи – присутствие участков, в поперечных сечениях которых полностью отсутствует бетон.

3. Значимый дефект сплошности бетона сваи 40оп, по данным УЗ мониторинга и сейсмоакустического метода, зарегистрирован в интервале отметок $-(17,5-18)$ м, проявляющий себя снижением скорости распространения УЗ импульса от 25 до 50 % по двум направлениям прозвучивания, включая диаметральное. Указанный дефект можно интерпретировать как снижение эффективного сечения сваи до 25–50 % от среднего значения.

4. Для ряда свай (8оп, 39оп, 66оп, 121оп и 148оп) зарегистрированы дефектные участки, значительно отличающиеся по физико-механическим параметрам от среднего значения по продольному сечению сваи. Дефектные участки указанных свай обнаруживались в их верхней части на отметках по глубине от 0 до $-1,5$ м, считая от торцевой поверхности оголовка. При этом различия по физико-механическим параметрам бетона на этих отметках наблюдались и в пределах поперечного сечения свай. Есть основание предположить, что указанный массовый дефект явился следствием испытаний свай нагружением. Для уточнения характера дефекта (образование трещин или диффузные включения в бетон) целесообразно вскрыть грунтовое основание в зоне верхней части указанных свай на глубину до 2 м. Для сваи 40оп такого рода дефект не обнаружен.

5. Для всех свай указанными методами испытаний подтверждено соответствие их фактической длины проектным значениям.

6. Существующие методики обработки данных сейсмоакустического и УЗ методов контроля не позволяют получать более точные оценки состояния свай. Целесообразным видится сопоставление полученных данных с параметрами испытаний методом нагружения и результатами вскрытия дефектных областей ствола свай 8оп, 39оп и 148оп на отметках $0-(-2)$ м.

ЛИТЕРАТУРА

- Leonovich, S. N. Complex Method of Strength Estimation of the Monolithic Reinforced Concrete Structures / S. N. Leonovich, D. Yu. Snezkov // Concrete Structures – Stimulators of Development, Proceedings of the Fib Symposium Dubrovnik 2007. Zagreb, 2007. P. 947–954.
- Снежков, Д. Ю. Мониторинг возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович. Минск: БНТУ, 2016. 331 с.
- Снежков, Д. Ю. Неразрушающий контроль бетона в монолитном строительстве / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович. Минск: БНТУ, 2006. 223 с.
- Снежков, Д. Ю. Оценка качества буронабивных свай сейсмоакустическим и межскважинным ультразвуковым методами / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович, Н. А. Будревич, Miao Jijun // Бетон и железобетон. 2022. № 4–5. С. 52–59. <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-612-613-4-5-52-59>.
- Леонович, С. Н. Анализ эхо-импульсного метода контроля буронабивных свай / С. Н. Леонович, Д. Ю. Снежков, Н. А. Будревич // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2021. № 3 (48). С. 74–82.
- Снежков, Д. Ю. Анализ методик неразрушающих испытаний бетона конструкций по действующим государственным стандартам и нормам Евросоюза / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович, А. В. Вознищик // Наука и техника. 2013. № 2. С. 33–39.
- Снежков, Д. Ю. Неразрушающий контроль бетона монолитных конструкций / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович // Строительная наука и техника. 2009. № 4 (25). С. 76–84.
- Леонович, С. Н. Исследование неравномерности бетона на объекте монолитного строительства комплексным неразрушающим методом контроля / С. Н. Леонович, Д. Ю. Снежков // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 8 (608). С. 108–115.
- 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.
- Снежков, Д. Ю. Неразрушающий контроль прочности бетона конструкций сегодня: практический аспект / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: сб. междунар. науч.-техн. ст. (материалы науч.-метод. конф.), 27–28 мая 2014 г. / ред. кол.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа, С. Н. Делендик. Минск: БНТУ, 2015. Ч. 1. С. 145–157.
- Снежков, Д. Ю. О влиянии армирования при ультразвуковом контроле прочности бетона / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович, Ю. И. Лагун // Строительная наука и техника. 2009. № 3. С. 46–52.
- Снежков, Д. Ю. Мультиволновой ультразвуковой контроль бетона / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. 2017. № 1. С. 13–21.
- Снежков, Д. Ю. Мультиволновой ультразвуковой контроль бетона / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович // Наука и техника. 2017. № 4. С. 289–297.

Поступила 13.04.2022

Подписана к печати 21.06.2022

Опубликована онлайн 31.05.2023

REFERENCES

1. Leonovich S. N., Snezhkov D. Yu. (2007) Complex Method of Strength Estimation of the Monolithic Reinforced Concrete Structures. *Concrete Structures – Stimulators of Development, Proceedings of the fib Symposium Dubrovnik 2007*. Zagreb, 947–954.
2. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N. (2016) *Monitoring of Erected and Operated Reinforced Concrete Structures by Non-Destructive Methods*. Minsk, Belarusian National Technical University, 331 (in Russian).
3. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N. (2006) *Non-Destructive Testing of Concrete in Monolithic Construction*. Minsk, Belarusian National Technical University, 223 (in Russian).
4. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N., Budrevich N. A., Miao Jijun (2022) Evaluation of the Quality of Bored Piles by Seismo-Acoustic and Inter-Well Ultrasonic Methods. *Beton i Zhelezobeton*, 2022, (4–5), 52–5 <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-612-613-4-5-52-59> (in Russian).
5. Leonovich S. N., Snezhkov D. Yu., Budrevich N. A. (2021) Analysis of the Echo-Pulse Method for Monitoring Bored Piles. *Vestnik Inzhenernoi Shkoly DVFU = FEFU: School of Engineering Bulletin*, (3), 74–82 (in Russian).
6. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N., Voznishchik A. V. (2013) Analysis of Methods for Non-Destructive Testing of Concrete Structures According to the Current National and EU Standards. *Nauka i Tekhnika = Science & Technique*, (2), 33–39 (in Russian).
7. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N. (2009) Non-Destructive Testing of Concrete of Monolithic Structures. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Building Science and Technology], (4), 76–84 (in Russian).
8. Leonovich, S. N., Snezhkov D. Yu. (2009) Investigation of Unevenness of Concrete At a Monolithic Construction Site by a Complex Non-Destructive Control Method. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*, (8), 108–115 (in Russian).
9. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N. (2018) Increasing the Reliability of Concrete Strength Control by Non-Destructive Methods Based on their Combination. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*, (1), 25–32 (in Russian).
10. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N. (2015) Non-Destructive Testing of the Strength of Concrete Structures Today: a Practical Aspect. Zverev V. F., Koleda S. M., Delendik S. N. *Sovremennyye Problemy Vnedreniya Evropeiskikh Standartov v Oblasti Stroitel'stva: Sb. Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. St. (Materialy Nauch.-Metod. Konf.)*, 27–28 Maya 2014 g. Ch. 1 [Modern Problems of the Implementation of European Standards in the Field of Construction: Collection of International Scientific and Technical Papers (Proceedings of Scientific and Methodological Conference), May 27–28, 2014. Part 1], Minsk, Belarusian National Technical University, 145–157 (in Russian).
11. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N., Lagun Yu. I. (2009) On the Influence of Reinforcement Du-Ring Ultrasonic Testing of Concrete Strength. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Building Science and Technology], (3), 46–52 (in Russian).
12. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N. (2017) Multiwave Ultrasonic Testing of Concrete. *Vestnik Povolzhskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii = Vestnik of Volga State University of Technology. Series «Materials. Constructions. Technologies*, (1), 13–21 (in Russian).
13. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N. (2017) Multiwave Ultrasonic Testing of Concrete / D. Yu. Snezhkov, S. N. Leonovich. *Nauka i Tekhnika = Science & Technique*, (4), 289–297 (in Russian).

Received: 13.04.2022

Accepted: 21.06.2022

Published online: 31.05.2023