

УДК 692.23

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.82.1027

ПЕРІОДИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ В СИСТЕМІ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ

КОЛОХОВ В. В.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

БЛИК В. В.², с. н. с.,

ТКАЧ Т. В.³, канд. техн. наук., доц.

^{1*} Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 362-26-94, e-mail: kolokhov.viktor@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

² Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: kolemasakar@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

³ Кафедра організації та управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: tkach.taisiia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

Анотація. Оцінювання технічного стану конструкцій виконується згідно з діючими нормами. Під час такого оцінювання застосовуються різні методи визначення фізико-механічних характеристик матеріалу конструкції. Зазвичай виконується однократне вимірювання, але в окремих випадках необхідно встановити спостереження для визначення поведінки помічених дефектів. Особливої уваги потребують будівлі, які певний час не експлуатувались, а заходи щодо консервації конструкцій не були вжиті. Оскільки умови формування та твердіння бетону у зразках під час встановлення тарувальних залежностей та в конструкції, що експлуатується, різні, чинні методики неруйнівного контролю не достатньо адекватно відображають властивості бетону конструкції. Досвід використання ультразвукових приладів та власні дослідження з метою удосконалення ультразвукового методу дозволили рекомендувати обмежити область застосування цього методу періодичним контролем, оскільки таким чином достатньо легко та точно можна відстежувати відносні зміни в матеріалі конструкції. **Мета** цієї роботи – перевірка дієвості удосконаленого методу проведення періодичного контролю властивостей бетону в умовах реального об'єкта. **Виклад матеріалу.** Оцінено технічний стан конструкцій багатоповерхового будинку. В межах обстеження перевірено можливість модернізованої методики періодичного контролю властивостей бетону конструкцій під час їх експлуатації. До роботи залучено ультразвукові прилади за умови спеціальної підготовки місць проведення вимірювань. Продемонстровано підвищення точності визначення властивостей матеріалу. **Висновок.** Розроблена методика періодичного контролю властивостей бетону конструкцій демонструє невисоку складність виконання робіт та достатню надійність отриманих результатів, що дозволяє запропонувати її для застосування у визначенні технічного стану конструкцій, що експлуатуються.

Ключові слова: бетон; фізико-механічні характеристики; неруйнівні методи контролю

PERIODIC CONTROL OF CONCRETE PROPERTIES IN THE SYSTEM OF TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT FOR HIGH-STORY BUILDING

KOLOKHOV V.V.^{1*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

BYLIK V.V.², Postgrad. Stud.,

TKACH T.V.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

^{1*} Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 362-26-94, e-mail: kolokhov.viktor@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

² Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: kolemasakar@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

³ Department of Organization and Management of Construction, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: tkach.taisiia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

Abstract. The assessment of the structures' technical condition is conducted in accordance with current regulations. During such assessment, various methods are used to determine the physical and mechanical characteristics of the structure's material. Usually, a single measurement is performed, but in some cases, it is necessary to establish observations to determine the behaviour of the observed defects. Particular attention should be paid to buildings that have not been in use for some time and no measures have been taken to preserve the structures. Since the conditions of concrete formation and hardening in the samples during the establishment of taring dependencies and in the structure in operation are different, the existing non-destructive testing methods do not adequately reflect the properties of the structure's concrete. Experience in the use of ultrasonic devices and our own research to improve the ultrasonic method allowed us to recommend limiting the scope of this method to periodic inspection, since it is quite easy and accurate to track relative changes in the material of the structure. **The purpose of this work** – verification of the effectiveness of the improved method of conducting periodic control of concrete properties in the conditions of a real object. **Results.** The technical condition of the structures of the multi-story building was assessed. Within the scope of the survey, the capabilities of the modernized method of periodic control of the concrete structures' properties during their operation were checked. Ultrasonic devices are involved in the work, provided that the measurement sites are specially prepared. An increase in the accuracy of determining material properties has been demonstrated. **Conclusion.** The developed method of periodic control of the concrete structures' properties demonstrates the low complexity of the work and the sufficient reliability of the obtained results, which allows us to propose it for use in determining the technical condition of the structures in operation.

Keywords: concrete; physical and mechanical characteristics; non-destructive testing

Вступ. Діагностування конструкцій виконується під час:

- приймального контролю збірних залізобетонних конструкцій заводського виготовлення;
- приймального оцінювання технічного стану зведених, капітально відремонтованих або реконструйованих об'єктів;
- контролю технічного стану об'єкта в процесі планових або позачергових оглядів (моніторинг, профілактичний контроль);
- технічних обстежень:
 - при реновації об'єктів незавершеного будівництва;
 - для проектування капітального ремонту і реконструкції;
 - (експертизи) визначення стану ушкоджених конструкцій і аваріях у процесі експлуатації.

Чинні нормативні документи [1–3] регламентують застосування неруйнівних методів контролю та процедур. Попередніми дослідженнями показано [4–10], що діючі методи застосування приладів неруйнівного контролю необхідно вдосконалити, оскільки вони не враховують деяких впливових факторів. Проведені в лабораторних умовах дослідження дозволили модернізувати методики застосування неруйнівних методів

контролю. Для перевірки дієвості запропонованих удосконалень розробку випробовано в умовах реального об'єкта.

Як об'єкт дослідження обрано незавершену будівлю, розташовану в мікрорайоні № 3 л/б частини м. Кам'янське Дніпропетровської області.

Загальний вигляд об'єкта дослідження показано на рисунку 1.



Рис. 1. Загальний вигляд об'єкта дослідження

Запропоновану модернізовану методику застосовано під час обстеження для визначення технічного стану об'єкта

Мета роботи – перевірка дієвості удосконаленого методу проведення періодичного контролю властивостей бетону в умовах реального об'єкта.

Результати досліджень

Оцінку технічного стану будівлі виконано на підставі методики [11].

Під час обстеження здійснено:

- загальний огляд об'єкта та визначення конструктивної схеми будівлі;
- визначення та фотофіксацію дефектів та пошкоджень будівельних конструкцій;
- виконання схем розташування конструкції та дефектів, місць виконання інструментальних спостережень;
- визначення міцності бетону будівельних конструкцій та періодичний контроль за їх змінами;
- оцінку технічного стану будівельних конструкцій та розробку технічного висновку.

Основні техніко-економічні показники об'єкта обстеження наведено у таблиці 1.

Схема розташування приміщень типового поверху (за даними проекту) представлена на рисунку 2.

незавершеного будівництва 16 поверхового житлового будинку з метою надання рекомендацій стосовно його реконструкції.

У конструктивному відношенні недобудову виконано за жорсткою конструктивною схемою з поздовжніми та поперечними несними монолітними залізобетонними стінами з керамзитобетону та збірними і збірно-монолітними міжповерховими перекриттями.

Просторова жорсткість забезпечується монолітними залізобетонними поздовжніми та поперечними стінами та збірними і збірно-монолітними міжповерховими перекриттями.

Таблиця 1

Основні техніко-економічні показники дослідженої будівлі

№ п.п.	Параметр	Значення
1	Площа забудови	500,18 м ²
2	Будівельний об'єм	25 439,00 м ³
3	В т.ч. цокольної частини	1 400,50 м ³
4	В т.ч. вбудованої частини першого поверху	1 400,50 м ³
5	Кількість квартир	60
6	Рік будівництва	Орієнтовно 1988–1993

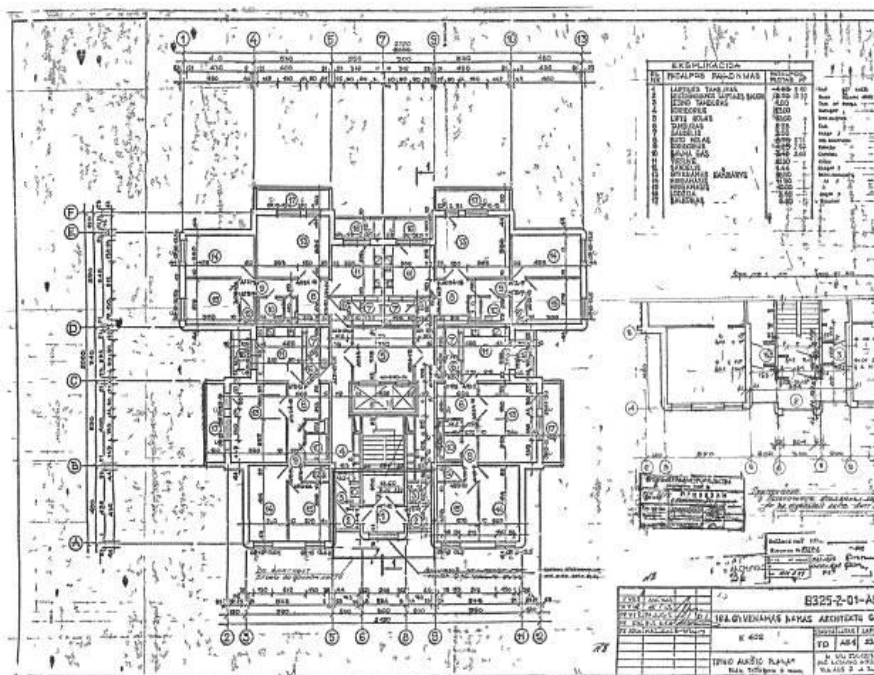


Рис. 2. Схема розташування приміщень типового поверху (за даними проекту) дослідженої будівлі

Під час обстеження виявлено:

- силові руйнування бетону конструкцій та локальні вилучення арматури;
- непробетоновані місця у конструкціях;
- «холодні» шви бетонування;
- усадкові тріщини;
- тріщини у консолях конструкцій;
- корозійні пошкодження арматури та руйнування захисного шару бетону;
- замокання конструкцій;
- біоушкодження ділянок конструкцій;
- корозію металевих конструкцій.

Найбільша частина дефектів пов'язана з навмисним руйнуванням конструкцій, яке здійснювалось для вилучення металу. Характерні дефекти такого типу показані на рисунках 3–5.

Дефектів, які пов'язані з порушенням технології формування конструкцій стін (непробетоновані місця у конструкціях та «холодні» шви бетонування) на порядок менше. Один з таких дефектів наведено на рисунку 6.



Рис. 3. Руйнування бетону конструкцій стін, вилучення арматури та корозія металевих конструкцій



Рис. 4. Руйнування бетону конструкцій стін та вилучення арматури



Рис. 5. Руйнування бетону конструкцій стін та вилучення арматури



Рис. 6. Непробетоновані місця у конструкціях та «холодні» шви бетонування

Через значну кількість дефектів, пов'язаних із втручанням в окремі конструкції будинку, виникає необхідність отримання інформації про наявність чи відсутність процесів деформування конструкцій всього будинку. Найбільш

ефективно (за параметром оптимізації – мінімальні затрати та найбільша адекватність відображення змін) цю задачу може розв'язати модернізована методика застосування ультразвукових приладів неруйнівного контролю.

В межах застосування цієї методики формується центральна система трилатерації для проведення вимірів за різними напрямками (рис. 7).

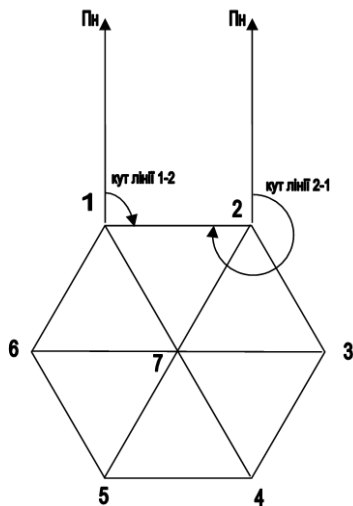


Рис. 7. Схема центральної системи трилатерації

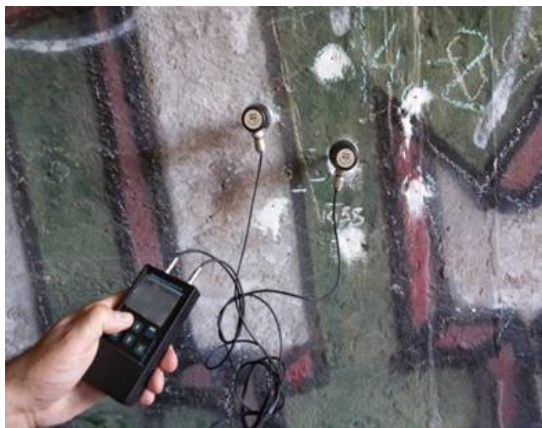


Рис. 8. Розміщення реперних точок та вимірювання часу поширення ультразвукових коливань із застосуванням приладу Novotest ІПСМ

Згідно з центральною системою трилатерації формуються зони проведення вимірювань. В цих зонах формувались по 7 реперних точок (рис. 8) для встановлення приймальників-випромінювачів ультразвуку.

У процесі дослідження вимірюється час поширення ультразвукових коливань та

відстані між реперними точками. Будь-які вимірювання завжди супроводжуються похибками. При цьому в процесі вимірювання математично пов'язаних величин виникають нев'язки, які спричиняють неоднозначність визначення дійсних елементів у лінійно-кутових мережах. Результати врівноважень дозволяють усувати нев'язки, визначати імовірніші значення елементів мережі і виконувати оцінювання їх точності.

Врівноваження може виконуватись корелатним або параметричним методами, в яких застосовуються принципи способу найменших квадратів.

Параметричний спосіб дозволяє отримати в результаті врівноваження значення вихідних параметрів, які безпосередньо пов'язані з вимірними величинами. За допомогою корелатного способу спочатку отримують додаткові множники, які називають корелатами, а потім потрібні величини як їх функції.

Обидва способи врівноваження дають абсолютно однакові результати, але можуть мати різну трудомісткість при розв'язуванні однієї і тієї ж задачі.

Параметричний метод більш універсальний і саме його алгоритм використано у дослідженні.

Швидкість поширення ультразвукових коливань визначена із застосуванням приладу Novotest ІПСМ (серійний № 012.138.0519) відповідно до посібника з експлуатації цього приладу. Призначення приладу (рис. 8): вимірювання міцності бетону та цегли, глибини тріщин, дефектоскопія будівельних конструкцій.

Під час досліджень прилад використовували в режимі вимірювання часу поширення ультразвукових коливань. Виміри проводили з інтервалом 70 діб. Виконано три серії вимірювань часу поширення ультразвукових коливань. Реперні зони облаштовано на першому, третьому, п'ятому, сьомому, дев'ятому та одинадцятому поверхах. Результати вимірів та розрахунків для реперної зони третього поверху наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати вимірів та розрахунків для реперної зони третього поверху

№ п.п.	Напрямок	Довжина (редуковане значення), мм	Дирекційний кут, рад	Час, мс			Швидкість, м/с		
				№ виміру			№ виміру		
				1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12	115.3 839	1.553 498	44.1	44.7	45.1	2 616	2 583	2 556
2	13	208.5 084	0.704 299	73.5	73.8	74.6	2 837	2 824	2 796
3	14	221.9 331	1.244 764	82.6	83.8	83.4	2 687	2 647	2 661
4	15	210.0 952	0.203 064	71.1	72.2	71.8	2 955	2 912	2 927
5	16	112.8 864	0.825 492	39.1	39.6	39.6	2 887	2 853	2 853
6	17	108.8 474	1.236 430	40.9	41.7	41.9	2 661	2 611	2 597
7	23	143.7 541	1.263 153	54.6	55.5	55.3	2 633	2 590	2 601
8	24	216.8 086	0.205 706	75.3	76.2	76.1	2 879	2 846	2 849
9	25	260.8 663	0.649 350	93.0	94.2	93.4	2 805	2 769	2 793
10	26	213.3 158	1.193 665	80.0	81.3	81.1	2 666	2 625	2 630
11	27	131.6 426	0.649 791	44.8	45.9	45.3	2 938	2 867	2 906
12	34	115.6 351	0.862 416	41.2	42.2	42.0	2 807	2 740	2 755
13	35	213.3 473	1.232 682	79.9	81.1	81.1	2 670	2 629	2 631
14	36	248.8 181	1.333 669	95.4	96.5	96.4	2 608	2 578	2 582
15	37	127.3 134	1.315 183	46.6	47.8	47.8	2 732	2 663	2 666
16	45	113.5 406	1.531 473	44.0	45.2	44.5	2 580	2 514	2 549
17	46	203.9 597	0.856 036	73.3	73.6	74.3	2 783	2 771	2 747
18	47	113.0 931	0.318 014	39.0	39.9	39.3	2 900	2 834	2 875
19	56	135.4 438	0.304 342	45.6	46.5	46.1	2 970	2 910	2 935
20	57	129.2 238	0.648 899	45.0	45.9	45.8	2 872	2 813	2 820
21	67	121.5 492	0.217 764	40.6	41.2	41.5	2 994	2 953	2 932

Наведені в таблиці 2 дані демонструють незначні відхилення від середнього значення (найбільше відхилення не перевищує 1,5 %), що свідчить про стабільний стан конструкцій.

Такі відхилення можна пояснити похибкою приладу вимірювання та відмінністю у температурно-вологісному режимі під час проведення окремих

вимірювань. Тобто стан конструкцій будівлі можна кваліфікувати як задовільний.

Висновки

Розроблена методика періодичного контролю властивостей бетону конструкцій демонструє невисоку складність виконання робіт та достатню надійність отриманих результатів, що дозволяє запропонувати її для визначення технічного стану експлуатованих конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. ДСТУ б В. 2.7-220:2009 [Введене вперше (зі скасуванням ГОСТ 22690-88); чинний з 2010-09-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 20 с. (Національний стандарт України).
2. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій: ДСТУ б В. 2.7-223:2009. [Введене вперше (зі скасуванням ГОСТ 22690-88); чинний з 2010-09-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 12 с. (Національний стандарт України).
3. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності : ДСТУ б В. 2.7-226:2009. [Введене вперше (зі скасуванням ГОСТ 17624-87); чинний з 2010-09-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 27 с. (Національний стандарт України).
4. Колохов В. В. Некоторые аспекты применения методов неразрушающего контроля свойств бетона. *Theoretical Foundations of Civil Engineering : Polish-Ukrainian Transactions : conference*. Варшава, 2012. Вып. 20. С. 443–448.
5. Kolokhov V., Savytskyi M., Sopilniak A., Gasii G. Book Chapter. Time Measurement of Ultrasonic Vibrations Extension in Concrete of Different Compositions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol 73. Pp. 95–102. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_11

6. Kolokhov V., Sopilniak A., Gasii G., Kolokhov A. Structure material physic-mechanical characteristics accuracy determination while changing the level of stresses in the structure. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7 (4.8). Pp. 74–78. URL: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27217>
7. Колохов В. В., Колохов О. В. Зміна часу поширення ультразвукових коливань у бетоні за зміни умов проведення вимірювань. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 2. С. 95–104.
8. Колохов В. В., Колохов О. В. Деякі аспекти вимірювання часу поширення ультразвукових коливань у бетоні. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 3. С. 58–65.
9. Колохов В. В., Кожанов Ю. О., Зезюков Д. М. Вплив рівня напруги на швидкість розповсюдження ультразвукових коливань у бетоні конструкцій. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 1. С. 49–57.
10. Kolokhov Victor, Savytskyi Mykola, Sopilniak Artem. Stress-strain state of the local area in the building element with structural defect. *Journal of Engineering Science*. Vol. XXVIII, № 1. Technical University of Moldova, 2021. Pp. 111–116. URL: https://jes.utm.md/wp-content/uploads/sites/20/2021/04/JES-1-2021_111-116.pdf
11. ДСТУ-Н Б В.1.2-18. 2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2017. 43 с.

REFERENCES

1. *DSTU B V.2.7-220:2009. Betony. Vyznachennya mitsnosti mekhanichnymy metodamy neruynivnoho kontrolyu* [DSTU b V. 2.7-220:2009. Building materials. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of non-destructive testing]. Introduced for the first time (with cancellation of GOST 22690-88); effective from 2010-09-01. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010, 20 p. (National Standard of Ukraine). (in Ukrainian).
2. *DSTU b V. 2.7-223:2009. Budivel'ni materialy. Betony metody vyznachennya mitsnosti za zrazkamy, vidibrany z konstruksiy* [DSTU b B. 2.7-223:2009. Building materials. Concrete methods for determining the strength of samples taken from structures]. Introduced for the first time (with the abolition of GOST 22690-88); valid from 2010-09-01. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010, 12 p. (National Standard of Ukraine). (in Ukrainian).
3. *DSTU B V.2.7-226:2009. Betony. Ul'trazvukovyy metod vyznachennya mitsnosti* [DSTU B B.2.7-226:2009. Concrete. Ultrasonic method for determining the strength]. Effective from 2010-09-01. Kyiv : SE Ukrakhbudinform, 2010, 27 p. (National Standard of Ukraine). (in Ukrainian).
4. Kolokhov V.V. *Nekotorye aspekty primeneniya metodov nerazrushayuscheho kontrolya svoystv betona* [Some aspects of the application of methods of non-destructive testing of concrete properties]. Theoretical Foundations of Civil Engineering : Polish-Ukrainian Transactions : conf. Vol. 20, Warsaw, 2012, pp. 443–448. (in Russian).
5. Kolokhov V., Savytskyi M., Sopilniak A. and Gasii G. Book Chapter. Time Measurement of Ultrasonic Vibrations Extension in Concrete of Different Compositions Lecture Notes in Civil Engineering. 2020, vol. 73, pp. 95–102. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_11.
6. Kolokhov V., Sopilniak A., Gasii G. and Kolokhov A. Structure material physic-mechanical characteristics accuracy determination while changing the level of stresses in the structure. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018, vol. 7 (4.8), pp. 74–78. URL: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27217>.
7. Kolokhov V.V. and Kolokhov O.V. *Zmina chasu poshyrennya ul'trazvukovykh kolyvan' u betoni za zminy umov provedennya vymiryuvan'* [Change of propagation time of ultrasonic oscillations in concrete with changes in measurement conditions]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2019, no. 2, pp. 95–104. (in Ukrainian).
8. Kolokhov V.V. and Kolokhov O.V. *Deyaki aspekty vymiryuvannya chasu poshyrennya ul'trazvukovykh kolyvan' u betoni* [Some aspects of measuring the propagation time of ultrasonic vibrations in concrete]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2019, no. 3, pp. 58–65. (in Ukrainian).
9. Kolokhov V.V., Kozhanov Yu.O. and Zeziukov D.M. *Vplyv rivnya napruhy na shvydkist' rozpovsyudzhennya ul'trazvukovykh kolyvan' u betoni konstruksiy* [Influence of stress level in concrete constructions at ultrasound speed]. *Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2019, no. 1 (249–250), pp. 49–57. (in Ukrainian).
10. Kolokhov Victor, Savytskyi Mykola, Sopilniak Artem. Stress-strain state of the local area in the building element with structural defect. *Journal of Engineering Science*. Vol. XXVIII, no. 1. Technical University of Moldova, 2021, pp. 111–116. URL: https://jes.utm.md/wp-content/uploads/sites/20/2021/04/JES-1-2021_111-116.pdf
11. *DSTU-N B V.1.2-18. 2016. Nastanova shchodo obstezhennya budivel' i sporud dlya vyznachennya ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu* [DSTU-N B V.1.2-18. 2016. Instructions on the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition]. Kyiv : SE UkrNDNC, 2017, 43 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 12.02.2024.