

УДК 692.4:624.94

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260220.83.613

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ДЕКРЕМЕНТА В РЕЗУЛЬТАТЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В БАЛКАХ С ПЕТЛЕВЫМИ СТЫКАМИ

МАЛАХОВ В. В.^{1*}, к. т. н., доц.,
ВЫКИДАНЕЦ С. М.², ассист.

^{1*} Кафедра железобетонных конструкций и транспортных сооружений, Государственное высшее учебное заведение «Одесская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Дидрихсона, 4, 65000, Одесса, Украина, тел. +38(048) 729-85-80, e-mail: v.malakhov@ogasa.org.ua, ORCID ID: 0000-0002-7635-4337

² Кафедра железобетонных конструкций и транспортных сооружений, Государственное высшее учебное заведение «Одесская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Дидрихсона, 4, 65000, Одесса, Украина, тел. +38048-729-85-80, e-mail: ramos.kr02@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5643-8322

Аннотация. В связи с достаточно широким распространением сборно-монолитного железобетона в Украине возникла необходимость расширения области применения различных стыковых соединений. В частности, применение петлевых соединений арматуры, которые обеспечивают стыковку смежных монтажных блоков сборно-монолитных железобетонных элементов без применения сварочных работ, само по себе является одним из основных конструктивных решений, определяющим индустриализацию строительства, в первую очередь гидросооружений. Большая территория юго-западной и южной части Украины относится к сейсмически опасной. Применение современных вероятностных технологий на этапах проектирования и эксплуатации объектов строительства повышает точность оценок опасных сейсмических нагрузок, что, в свою очередь, позволяет оптимизировать вероятные потери от негативного воздействия землетрясений. Правильная оценка степени сейсмического воздействия зависит, в том числе, и от знания закономерности изменения логарифмического декремента в результате повреждений строительных конструкций и здания в целом. Имеющаяся информация не дает четкого понимания данной зависимости. В статье проведен анализ изменения логарифмического декремента затухания колебаний при трещинообразовании в балках с петлевым стыком, расположенным в зоне чистого изгиба, при шпоночном и бесшпоночном исполнении торцов стыкуемых элементов. Данные для анализа получены в результате эксперимента. Для достижения цели выбран силовой метод – метод мгновенного снятия нагрузки. В результате установлен характер изменения логарифмического декремента затухания колебаний балок при нарушении целостности зоны петлевого стыка. Значения декрементов колебаний в балках со шпоночными стыками были сопоставимы с аналогичными значениями, полученными для балок без стыков. В то же время абсолютные значения декрементов колебаний в результате экспериментальных исследований в балках с бесшпоночными петлевыми стыками были максимальными.

Ключевые слова: петлевой стык; стык передерия; трещинообразование; логарифмический декремент

ХАРАКТЕР ЗМІНИ ЛОГАРИФМІЧНОГО ДЕКРЕМЕНТА В РЕЗУЛЬТАТІ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БАЛКАХ ІЗ ПЕТЛЬОВИМИ СТИКАМИ

МАЛАХОВ В. В.^{1*}, к. т. н., доц.,
ВИКИДАНЕЦЬ С. М.², ассист.

^{1*} Кафедра залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, Державний вищий навчальний заклад «Одеська державна академія будівництва та архітектури», вул. Дідрихсона, 4, 65000, Одеса, Україна, тел. +38(048) 729-85-80, e-mail: v.malakhov@ogasa.org.ua, ORCID ID: 0000-0002-7635-4337

² Кафедра залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, Державний вищий навчальний заклад «Одеська державна академія будівництва та архітектури», вул. Дідрихсона, 4, 65000, Одеса, Україна, тел. +38(048) 729-85-80, e-mail: ramos.kr02@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5643-8322

Анотація. Зі значним поширенням збірно-монолітного залізобетону в Україні виникла необхідність розширення сфери застосування різних стыкових з'єднань. Зокрема, застосування петлевих з'єднань арматури, які забезпечують стикування суміжних монтажних блоків збірно-монолітних залізобетонних елементів без застосування зварювальних робіт, само по собі постає одним з основних конструктивних рішень, що визначає

індустріалізацію будівництва, в першу чергу гідроспоруд. Велика територія південно-західної і південної частини України належить до сейсмічно небезпечної. Застосування сучасних імовірнісних технологій на етапах проектування й експлуатації об'єктів будівництва підвищує точність оцінок небезпечних сейсмічних навантажень, що, у свою чергу, дозволяє оптимізувати ймовірні втрати від негативного впливу землетрусів. Правильна оцінка ступеня сейсмічного впливу залежить в тому числі і від знання закономірності зміни логарифмічного декременту в результаті пошкодження будівельних конструкцій і будівлі в цілому. Наявна інформація не дає чіткого розуміння цієї залежності. У статті проведено аналіз зміни логарифмічного декременту загасання коливань під час утворення тріщин у балках із петльовим стиком, розташованим у зоні чистого згину, за шпонкового і безшпонкового виконання торців елементів, що стикуються. Дані для аналізу отримані за результатами експерименту. Для досягнення мети обрано силовий метод – метод миттєвого зняття навантаження. В результаті встановлено характер зміни логарифмічного декременту загасання коливань балок у разі порушення цілісності зони петльового стику. Значення декрементів коливань у балках зі шпонковими стиками можна було порівняти з аналогічними значеннями, отриманими для балок без стиків. У той же час абсолютні значення декрементів коливань у результаті експериментальних досліджень у балках із безшпонковими петльовими стиками були максимальними.

Ключові слова: петльовий стик; стик передерія; тріщиноутворення; логарифмічний декремент

NATURE OF CHANGE OF LOGARITHMIC DECREMENT AS A RESULT OF CRACKING IN THE BEAMS WITH LOOP JOINTS

MALAKHOV V.V.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
VYKYDANETS S.M.², *Assist.*

^{1*} Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities Department, State Higher Educational Institution “Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 4, Didrikhsona St., 65000, Odesa, Ukraine, tel. +38(048) 729-85-80, e-mail: v.malakhov@ogasa.org.ua, ORCID ID: 0000-0002-7635-4337

² Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities Department, State Higher Educational Institution «Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture», 4, Didrikhsona St, 65000, Odesa, Ukraine, tel. +38(048) 729-85-80, e-mail: ramos.kr02@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5643-8322

Abstract. Paying attention to the quite wide spreading of precast and cast-in-situ reinforced concrete in Ukraine, it was necessary to expand the scope of application of various butt joints. In particular, the use of loop rebar joints is itself one of the main design decisions that determines the industrial implementation of construction, primarily hydraulic structures. Loop rebar joints connect elements for assembling precast-monolithic reinforced concrete elements without the use of welding. A large territory of south-western and southern parts of Ukraine is classified as seismically dangerous. The use of modern probabilistic technologies at the design and operation stages of construction projects improves the accuracy of hazardous seismic load estimates and allows to optimize the probable losses from the negative impact of earthquakes. The proper assessment of the level of seismic impact depends on knowledge of the pattern in the logarithmic decrement changes as a result of building structures and buildings damage. Available information does not give a clear understanding of this pattern. A comparative analysis of the change in the logarithmic damping decrement of vibrations because of cracking in beams with a loop joint was carried out. The loop joint was located in the clean bending zone of beam, with keyed and keyless execution of the ends of the joined elements. The data for analysis were obtained from the experiment. We use the power method to achieve the objectives – the instant load removal method. As a result the nature of the change in the logarithmic damping decrement of the beam in case of violation of the integrity of the loop joint zone was established. The values of the logarithmic decrement in the beams with key joints were comparable with the similar values obtained for beams without joints. At the same time, the absolute values of the decrement in beams with keyless loop joints were maximum in these studies.

Keywords: loop joint; stick preorder; castellated joint; cracking; logarithmic decrement

Введение. Определение логарифмического декремента затухания колебаний жилых и общественных зданий и сооружений, а также отдельных конструкций весьма важно для правильной оценки степени сейсмического воздействия, передающегося на здание через грунт. Большое

количество отдельных исследований так и не внесло ясность в вопросы влияния отдельных конструкций и их состояния на закономерность изменения логарифмического декремента. Также логарифмический декремент затухания собственных колебаний может быть еще одной

величиною для оценки степени сохранности конструкции или здания в целом. В отдельных случаях период собственных колебаний даже после значительных повреждений может оставаться неизменным, т. к. логарифмический декремент затухания может меняться в широких пределах. В статье приведены данные, полученные при испытании железобетонных балок с петлевыми стыками при различных вариантах исполнения торцов стыкуемых элементов.

Анализ последних исследований.

Данные, приведенные различными авторами относительно зависимости логарифмического декремента от жесткости здания или конструкции в отдельности, несколько отличаются друг от друга. Однако при этом общий закон изменения логарифмического декремента от жесткости здания (конструкции) сохраняется. Отмечается зависимость логарифмического декремента затухания колебаний от повреждения и трещин конструкций. Также в более ранних исследованиях указано, что логарифмические декременты в зданиях при землетрясении, как правило, значительно больше, чем декременты, определенные при вибрационном методе. Это объясняется значительным увеличением доли участия

грунта в системе грунт–здание. Авторы указывают на возможность регулировать величину логарифмического декремента затухания колебаний при проектировании зданий и сооружений при условии знания закона изменения данной величины [1; 5].

Цели исследования. Знание закона изменения логарифмического декремента колебаний конструкций с петлевыми стыками позволит осуществлять удовлетворительное прогнозирование виброустойчивости такой конструкции [3]. Ввиду малоизученности вопроса было принято решение исследовать изменения логарифмического декремента затухания колебаний при трещинообразовании в балках с петлевым стыком, расположенным в зоне чистого изгиба, при шпоночном и бесшпоночном исполнении торцов стыкуемых элементов.

Объекты и методы исследования.

Железобетонные экспериментальные балки размерами 10×15×120 см с петлевыми стыками в середине пролета были изготовлены в лаборатории кафедры железобетонных и каменных конструкций ОГАСА. Зона петлевого стыка бетонировалась во вторую очередь. Грани стыкуемых элементов выполнены со шпонками и без шпонок (рис. 1).

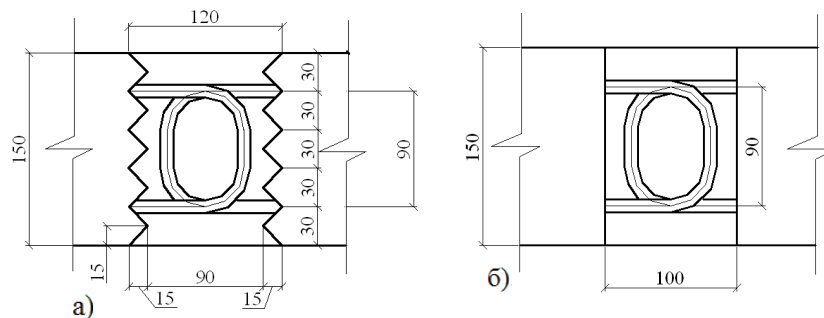


Рис. 1. Схемы петлевых стыков экспериментальных образцов:
а – шпоночный стык; б – бесшпоночный стык

Армирование опытных железобетонных балок выполнено двумя сварными пространственными каркасами с изогну-

тыми цельными стержнями Ø10A400C и двумя анкерными стержнями Ø10A400C в зоне стыка (рис. 2).

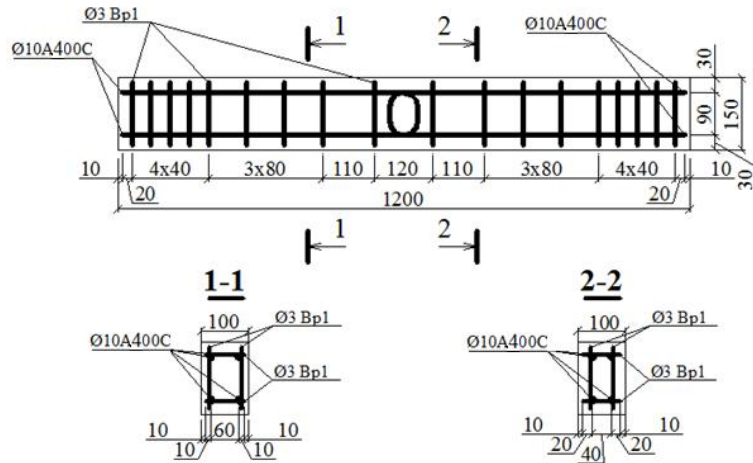


Рис. 2. Схема армирования опытных железобетонных балок

Указанная цель достигалась силовым методом – методом мгновенного снятия нагрузки [2; 4]. Измерения проводились трижды: на балках без повреждений и с трещинами, возникшими в зоне петлевого стыка после статического нагружения-разгрузки при величине

нагрузки, составляющей 0,5 и 0,9 от разрушающей [6]. Схема испытания опытных образцов приведена на рисунке 3. Схема распространения трещин по боковым поверхностям балок при максимальной статической нагрузке F_u показана на рисунке 4.

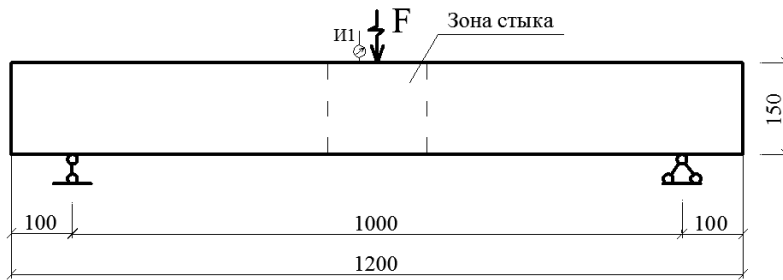


Рис. 3. Схема загрузки опытных образцов с расстановкой приборов

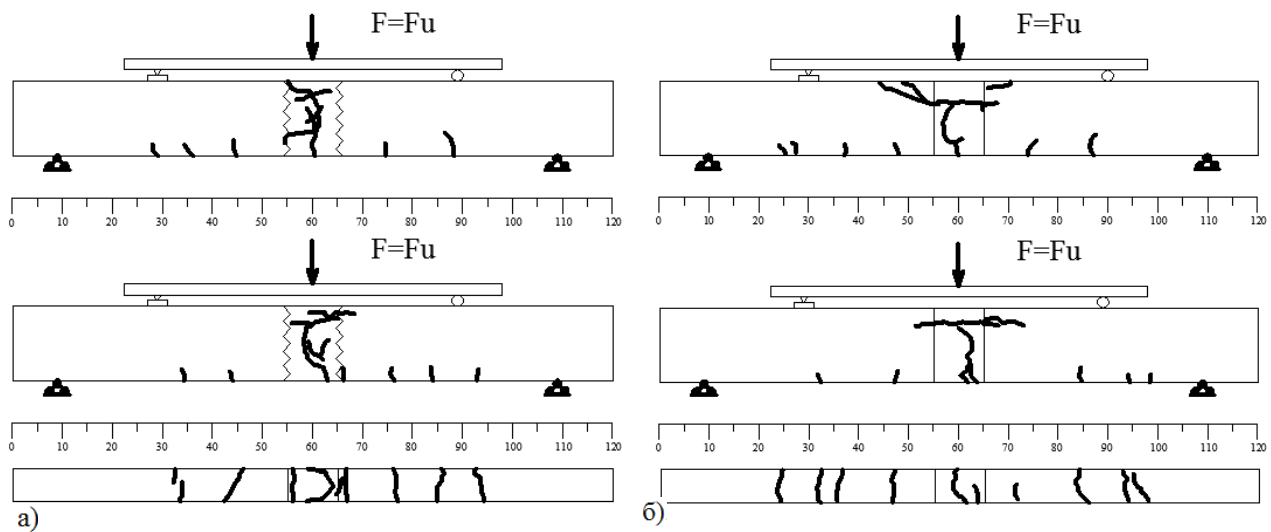


Рис. 4. Схема распространения трещин по боковым поверхностям: а – балка со шпоночным стыком; б – балка с бесшпоночным стыком

Результаты исследования. Анализ изменения количественных динамических характеристик экспериментальных образцов заключался в том числе в определении фактических декрементов

колебаний (рис. 5). Для балок без повреждений со шпоночными петлевыми стыками логарифмический декремент изначально был в пределах 0,1424...0,2019.

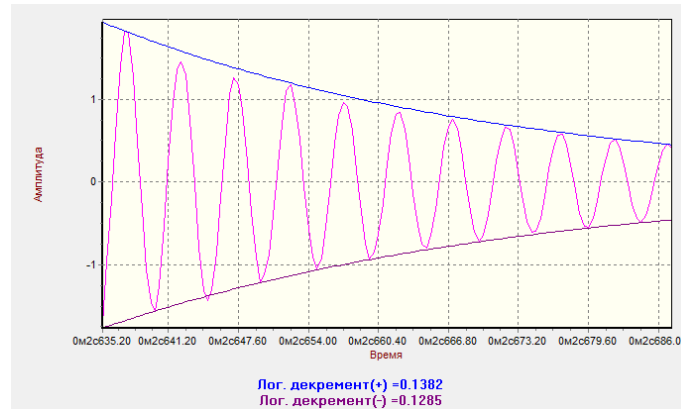


Рис. 5. Логарифмический декремент колебаний, определенный при помощи системы сейсмомониторинга

После образования трещин в зоне петлевого стыка в результате статического нагружения величиной 0,5 от разрушающей нагрузки и последующей разгрузки абсолютные значения декрементов затухания колебаний увеличились до значений в 0,2707...0,3519. В результате трещинообразования от статической нагрузки величиной 0,9 от разрушающей с последующим разгрузением логарифмический декремент затухания колебаний изменился до значений в 0,3975...0,4904.

При испытании балок с бесшпоночным стыком до приложения статической нагрузки логарифмический декремент был зафиксирован в пределах 0,1793...0,1941. При нарушении целостности зоны петлевого стыка в результате статического нагружения величиной 0,5 от разрушающей нагрузки и последующей разгрузки абсолютные значения декрементов затухания колебаний увеличились до значений в 0,2776...0,3415. В результате трещинообразования в балках с бесшпоночным стыком от статической нагрузки величиной 0,9 от разрушающей с последующим разгрузением логарифмический декремент затухания колебаний изменился до значений в 0,4224...0,4786.

Для сравнения также были испытаны балки без стыков. По результатам испытания приращение значений

декремента колебаний происходило от величин в 0,1421...0,1949 для балок без трещин до значений 0,2626...0,3016 и 0,3814...0,4516 для балок после образования трещин в результате статического нагружения и последующей разгрузки силой, величиной 0,5 и 0,9 от разрушающей нагрузки соответственно. Изменения логарифмического декремента в результате трещинообразования в зоне петлевого стыка для экспериментальных балок приведены в таблице 1.

Рассматривая относительные величины декрементов затухания колебаний, можно отметить увеличение декрементов для балок со шпоночными стыками в 1,75 раза после восприятия балками статических нагрузок в размере 0,5 от разрушающей и в 2,40 раза после восприятия экспериментальными образцами нагрузок в размере 0,9 от разрушающей. Для балок с бесшпоночными стыками декремент колебаний менялся в 1,65 и в 2,35 раза соответственно. Для балок без стыков декременты затухания колебаний увеличились в 1,83 раза после восприятия балками статических нагрузок в размере 0,5 от разрушающей и в 2,56 раза после восприятия экспериментальными образцами нагрузок в размере 0,9 от разрушающей.

Таблиця 1

Изменения логарифмического декремента колебаний балок по результатам эксперимента

Балки по серии	Балки со шпоночным стыком			Балки с бесшпоночным стыком			Балки без стыка		
Наим. балки	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Логарифмический декремент колебаний балок								
Без трещин	0.1487	0.1966	0.2019	0.1941	0.1923	0.1793	0.1421	0.1949	0.1519
После восприятия статической нагрузки, величиной в 0,5 от разрушающей	0.303	0.3519	0.3053	0.3415	0.2776	0.317	0.3016	0.3346	0.2626
После восприятия статической нагрузки, величиной в 0,9 от разрушающей	0.4244	0.4904	0.3975	0.4329	0.4746	0.4224	–	0.4516	0.3814

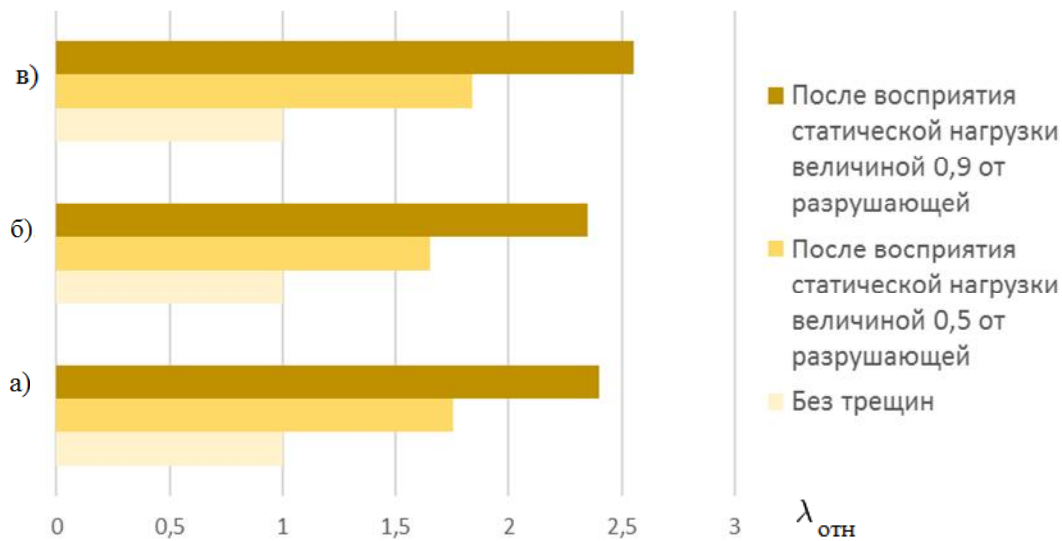


Рис. 6. Относительное увеличение значений декрементов колебаний в экспериментальных балках в ходе испытаний : а – со шпоночным стыком; б – с бесшпоночным стыком; в – в балках без стыка

Выводы. Установлен характер изменения логарифмических декрементов затухания колебаний в балках со шпоночными и бесшпоночными петлевыми стыками в результате развития трещин в области петлевого стыка.

Наименьшее приращение декремента колебаний в абсолютных значениях показали испытания железобетонных балок, выполненных со шпоночным стыком. В то же время абсолютные значения декрементов колебаний в результате экспериментальных исследова-

ний в балках с бесшпоночными петлевыми стыками были максимальными.

Значения декрементов колебаний в балках со шпоночными стыками и в балках без стыков сопоставимы друг с другом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бородкин Н. Н. Динамические характеристики конструктивных элементов горношахтного оборудования на основе композитов с железосодержащими отходами. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2009. Вып. 1. С. 193–200.
2. ДСТУ Б.В.2.6.-7-95 (ГОСТ 8829-94). Конструкції будинків і споруд. Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантажуванням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості [чинні від 1995-16-11]. Вид. офіц. Київ : Держкомітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 34 с. URL : http://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY4/dstu_b_v.2.6-7-95.PDF (Національний стандарт України).
3. Кутузов Б., Эквист Б., Вартапов В., Совмен В. Безопасность сейсмического и воздушного воздействия массовых взрывов. Москва : Издательство Московского государственного горного университета, 2004. 147 с.
4. Саргсян А. Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций : монография. Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2013. 549 с.
5. Шапиро Г., Захаров В. К определению логарифмического декремента затухания колебания жилых и общественных зданий. Москва : Жилищное строительство, 1968. Вып. 1. С. 20-22.
6. Malakhov V. V., Vykydanets S. M. The character of cracking in the beams with loop joints. *Вісник ОДАБА*. 2018. Вип. 71. С. 37–41.

REFERENCES

1. Borodkin N.N. *Dinamicheskie kharakteristiki konstruktivnykh elementov gornoshakhtnogo oborudovaniya na osnove kompozitov s zhelezosoderzhashhimi otkhodami* [Dynamic characteristics of structural elements of mining equipment based on composites with iron-containing waste]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvenny'e nauki* [Bulletin of Tula State University. Natural Sciences]. 2009, iss. 1, pp. 193–200. (in Russian).
2. DSTU B.V.2.6.-7-95 (GOST 8829-94). *Konstrukci`yi budinkiv i sporud. Virobi budivel`ni` betonni ta zalizobetonni zbirni. Metodi viprobuvan` navantazhuvannyam. Pravila oczi`nki micznosti, zhorstkosti ta trishhinostijkosti* [Construction of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete construction products. Test methods for loading. Rules for assessing strength, stiffness and fracture toughness]. [Valid since 1995-16-11]. Official edition. Kyiv: State Committee of Ukraine for Urban Development and Architecture, 1997, 34 p. (National Standard of Ukraine). (in Ukrainian).
3. Kutuzov B., E`kvist B., Vartanov V. and Sovmen V. *Bezopasnost` sejsmicheskogo i vozdushnogo vozdeystviya massovykh vzryvov* [Safety of seismic and air impact of mass explosions]. Moscow : Publishing House of Moscow State Mining University, 2004, 147 p. (in Russian).
4. Sargsyan A.E. *Dinamika i sejsmostojkost` sooruzhenij atomnykh stancij* [Dynamics and seismic stability of nuclear power plants]. Sarov : RFYaCz-VNII E`F, 2013, 549 p. (in Russian).
5. Shapiro G. and Zakharov V. *K opredeleniyu logarifmicheskogo dekrementa zatukhaniya kolebaniya zhily`kh i obshhestvenny`kh zdaniy* [To the determination of the logarithmic decrement of damping oscillations of residential and public buildings]. Moscow : Housing construction, 1968, iss. 1, pp. 20–22. (in Russian).
6. Malakhov V.V. and Vykydanets S.M. The character of cracking in the beams with loop joints. *Visnik ODABA* [Bulletin of OSACEA]. 2018, iss. 71, pp. 37–41.

Надійшла до редакції : 13.01.2020.