УДК 624.012

**З. З. Бліхарський*, П.І. Вегера, Т. М. Шналь**
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра будівельних конструкцій та мостів,
* кафедра опору матеріалів та будівельної механіки

# ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ РОБОЧОЇ АРМАТУРИ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК



**Кожна з конструкцій піддається впливам у процесі експлуатації. Внаслідок цього виникають різноманітні дефекти пошкодження цих елементів, що впливають на їх безпечну експлуатацію. Одним з таких дефектів є корозія робочого армування. Дослідження несучої здатності залізобетонних балок з контрольованими значеннями корозії або пошкодження є актуальним питанням. Наведено результати експериментальних досліджень залізобетонних балок з дефектом у розтягнутій арматурі, виконаних з та без початкового навантаження. Як дефект розглядали один отвір Ø5.6 мм. Було випробовувано 8 залізобетонних балок. Зразки поділено на дві серії: два зразки 1-ї серії та шість 2-ї. Контрольні зразки обох серій руйнувались через викришування стиснутої зони бетону. Зразки, які були пошкоджені без початкового навантаження, зруйнувались внаслідок розриву розтягнутої арматури. Такий самий тип руйнування зафіксовано під час пошкодження за експлуатаційного рівня навантаження. При випробовуванні балок з пошкодженням без рівня навантаження і з армуванням, еквівалентним до пошкодженої арматури, несуча здатність зразків фактично однакова, відхилення становить приблизно 4 %. Отже, встановлено, що такий тип пошкодження відповідає зменшенню несучої здатності зразка залежно від робочого армування. При виконанні пошкодження за певного рівня навантаження несуча здатність збільшується приблизно на 10 %. Рівень навантаження збільшує залишкову несучу здатність пошкоджених зразків.**

**Ключові слова: залізобетонні балки, дефекти, пошкодження, міцність, навантаження.**

**Z. Blikharskyy*, P. Vegera, T. Shnal**
Lviv Polytechnic National University,
Department of Building construction and bridges,
*Department of Materials Strength and Structural Mechanics

# INFLUENCE OF DEFECTS OF THE WORKING REBAR ON THE BEARING CAPACITY OF THE REINFORCED CONCRETE BEAMS



**Every construction is influenced by different factors during operation. As a result, there are various defects and damage of these elements, which affects their operating condition. One of such defects is the corrosion of the working rebar. Investigation of samples with corrosion is a complicated and labor-intensive process. Instead of corrosive effects, we perform controlled valves of damaged. In this way, we obtained experimental samples with a fixed value of reducing the diameter of the valve. The research of the bearing capacity of reinforced concrete beams with**

**controlled values of corrosion or damage is a topical issue. In this article, the results of experimental researches of reinforced concrete beams with a defect in the tensile rebar, which made with and without the initial loading, are presented. As a defect, one hole of diameter 5.6 mm was made at the middle of the rebar. Total eight concrete reinforced beams were tested. The samples were divided into two series: two samples of the first series and the sixth of the second. Two samples from each series were tested as controls. Four reinforced beams from the second series were tested as damaged samples. The reinforced concrete beams of the first and second series differ in diameter of the working rebar. Control samples of both series were destroyed due to the chipping of the compressed zone of concrete. Damage damages have changed the character of destruction compared with samples with equivalent reinforcement. The samples, which were damaged without initial loading, were destroyed due to the rupture of the tensile rebar. The same type of destruction is detected for the samples, which damaged at the operating level of loading. Bearing capacity of testing beams with damage without loading level and with equivalent reinforcement to damaged valves, is practically the same, the deviation is approximately 4 %. Thus, it was established that this type of damage corresponds to a decrease in the load bearing capacity of the sample, depending on the working rebar. When the damage is performed at a certain level of load, the bearing capacity increases by about 10 %. Therefore, the load level increases the residual bearing capacity of damaged specimens.**

**Key words: reinforced concrete beam, defects, damages, strength, loading.**

**Вступ.** Під час реконструкції споруди відновлюють та підсилюють її окремі частини. Усі конструкції, які потребують реконструкції чи підсилення, уже мають дефекти та пошкодження. Кожен дефект змінює напружено-деформований стан. Залежно від поширення дефекту, його розмірів, глибини цей вплив збільшується. Умови експлуатації залізобетонних конструкцій, впливи навколишнього середовища призводять до виникнення таких дефектів. Особливо небезпечним і водночас поширеним дефектом є корозія розтягнутої арматури. Корозія арматури відбувається у разі порушення цілісності захисного шару і продовжується, поки є доступ повітря. Оскільки усі розтягувальні зусилля в згинаних елементах сприймає робоча арматура, її дефекти та корозія безпосередньо впливають на несучу здатність елемента, тому дослідження цього питання є актуальним.

**Огляд наукових джерел і публікацій.** Одним з найпоширеніших дефектів є неточне влаштування металевого каркаса [1]. Такі дефекти належать до ендогенних, отриманих під час виготовлення елементів. Неточний монтаж каркаса призводить до зміни напружено-деформованого стану, і з чистого згину отримуємо косий згин. Так значно зменшується їх несуча здатність. Іншим дефектом є корозія арматури та відшарування захисного шару в залізобетонних балках. На основі проведених досліджень отримано епюри перерозподілу деформацій та напружень. У роботі [2] наведено результати досліджень залізобетонних балок, пошкоджених під час одночасної дії навантаження та агресивного середовища. На підставі отриманих результатів запропоновано методику розрахунку міцності нормальних перерізів балок, пошкоджених корозією. Порівняно експериментальні та теоретичні величини міцності. Найнебезпечнішим дефектом для таврових та двотаврових залізобетонних балок є корозія стиснутої полички [3]. Як дефект розглянуто часткове та повне зменшення стиснутої полички. Отримані результати показали, що залежно від величини дефекта змінюються несуча здатність та характер руйнування дослідних зразків. Вплив корозії арматури на рівновагу внутрішніх сил та на сумісну деформацію бетону та арматури досліджено [4]. Корозію арматури імітували так, щоб було руйнування внаслідок руйнування нормальних та похилих перерізів, роздроблення бетону на кінцях елементів і проковзування розтягнутої арматури. Тобто дослідження залізобетонних балок із пошкодженнями є актуальним питанням, яке має практичну цінність.

**Мета і завдання дослідження**. На основі проаналізованих джерел у цій роботі поставлено мету: дослідити вплив пошкоджень розтягнутої арматури, отриманих за певного рівня навантаження, на міцність залізобетонних балок.

Поставленої мети дослідження досягають виконанням таких завдань досліджень:

– випробування залізобетонних балок без пошкодження, з різними діаметрами робочого армування як контрольних зразків;

– дослідження залізобетонних балок з контрольованим значенням пошкодження розтягнутої арматури, без початкового рівня навантаження;

– дослідження залізобетонних балок з контрольованим значенням пошкодження розтягнутої арматури, за рівня навантаження 0,5 від очікуваного руйнівного навантаження контрольних зразків;

– аналіз та порівняння отриманих результатів.

**Конструкція дослідних зразків.** Для досягнення поставлених задач було запроектовано та виготовлено 8 залізобетонних балок. Зразки поділено на дві серії: два зразки 1-ї серії та шість зразків 2-ї серії. Дослідні балки прямокутного поперечного перерізу розмірами 200×100 мм завдовжки 2100 мм. Зразки 1-ї та 2-ї серії ідентичних геометричних розмірів, відхилення менше за 2 %. Для зразків 1-ї серії робоче армування виконано у вигляді 1Ø16 А 500С [5], і 1Ø20 А 500С [5] – для зразків 2-ї серії. Стиснуту та поперечну арматуру виготовлено з дроту Ø5 В 500 і є ідентичною для зразків обох серій. Залізобетонні балки виготовлені з бетону класу С30/35 [6]. Основні геометричні розміри та розміщення внутрішнього армування наведено в роботі [7].

Усі дослідні зразки промарковано так: БЗ – контрольна балка, або БП – балка пошкоджена; перша цифра – номер серії, друга цифра – номер дослідного зразка. Наприклад, БЗ 1.2 означає, що випробувано другу контрольну балку з 1-ї серії. Індекс 0.5 означає рівень, за якого виконувалось пошкодження, прийнятий від отриманого руйнівного, для звичайних балок.

**Програма та методика експериментальних досліджень.** Залізобетонні балки випробовували за програмою, наведеною в табл. 1.

*Таблиця 1*

**Програма експериментальних досліджень**

<table>
<tr><th>№ з/п</th><th>Шифр дослідної балки</th><th>Клас бетону</th><th>Робоче армування</th><th>Опис дослідного зразка</th></tr>
<tr><td>1.</td><td>БЗ 1.1</td><td rowspan="8">С30/35</td><td rowspan="2">1Ø16 А500С</td><td rowspan="2">контрольні зразки<br>(без пошкодження)</td></tr>
<tr><td>2.</td><td>БЗ 1.2</td></tr>
<tr><td>3.</td><td>БЗ 2.3</td><td rowspan="6">1Ø20 А500С</td><td rowspan="2">контрольні зразки<br>(без пошкодження)</td></tr>
<tr><td>4.</td><td>БЗ 2.4</td></tr>
<tr><td>5.</td><td>БП 2.5-0.0</td><td rowspan="2">зразки з одним отвором<br>Ø5.6 мм у розтягнутій арматурі, без початкового рівня навантаження</td></tr>
<tr><td>6.</td><td>БП 2.6-0.0</td></tr>
<tr><td>7.</td><td>БП 2.7-0.5</td><td rowspan="2">зразки з одним отвором<br>Ø5.6 мм у розтягнутій арматурі за початкового рівня навантаження 0.5</td></tr>
<tr><td>8.</td><td>БП 2.8-0.5</td></tr>
</table>

Дослідження проводили, прикладаючи статичне навантаження двома зосередженими силами. Два зразки з 1-ї та 2-ї серій випробовували як контрольні (без пошкоджень). Наступні два зразки з 2-ї серії випробовували так:

– виконували пошкодження висвердлюванням одного отвору Ø3 мм. Збільшували діаметр отвору по 0.5 мм до Ø5,6 мм. При такому пошкодженні залишковий діаметр арматури відповідає Ø16 мм;

– поетапно, згідно з методикою дослідження [7], зразки доводили до фізичного руйнування.

Останні два зразки випробовували так:

– поетапно прикладали навантаження до рівня 0.5 від очікуваного руйнівного значення контрольних зразків;

– виконували пошкодження висвердлюванням отвору, як для балок, пошкоджених без навантаження;

– доводили зразок до руйнування аналогічно до 1 етапу.

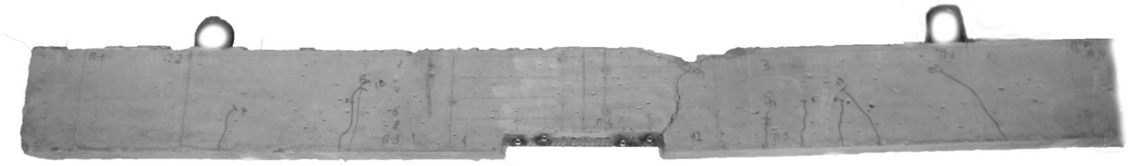
На кожному етапі після збільшення діаметра отвору фіксували покази приладів, розташованих, як наведено в роботі [7].

Методику та схему розташування приладів наведено в роботі [7].

**Експериментальні дослідження.** Дослідні зразки випробовували прикладанням статичного навантаження аж до настання фізичного руйнування.

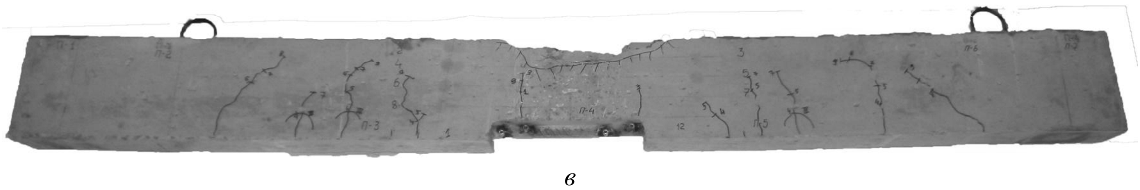
Контрольні зразки 1-ї та 2-ї серій руйнували викришуванням стиснутої зони бетону в центральні частині балки. Загальний вигляд випробуваних зразків наведено на рис. 1.

Руйнування супроводжувалось розламом залізобетонних балок на дві частини та пошкодженням поздовжньої арматури.

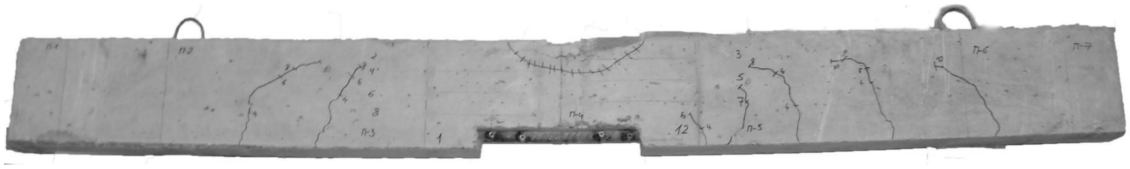


*а*

*б*



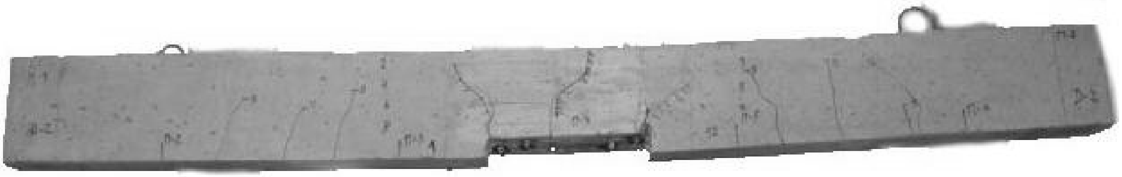
*в*



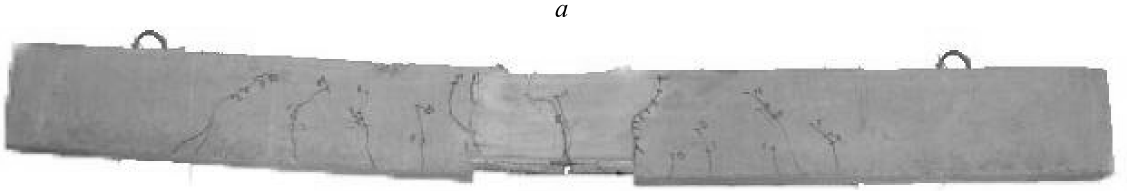
*г*

*Рис. 1. Характер руйнування контрольних балок серії 1 БЗ 1.1 (а), БЗ 1.2 (б) та серії 2, зразки БЗ 2.3 (в), БЗ 2.4 (г)*

Зразки 2-ї серії, які випробовували з пошкодженнями, змінили характер руйнування. Залізобетонні балки БП 2.5-0.5 та БП 2.6-0.5 руйнувались різко з розривом арматури (рис. 2).

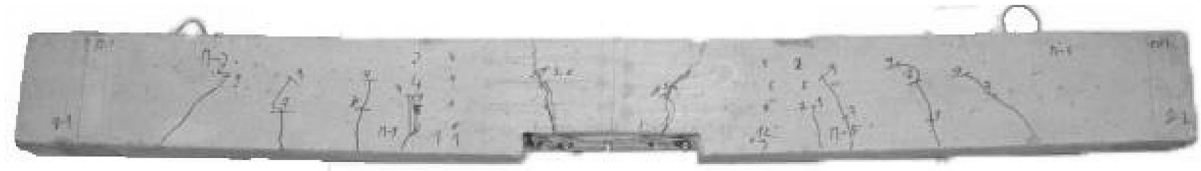


*а*

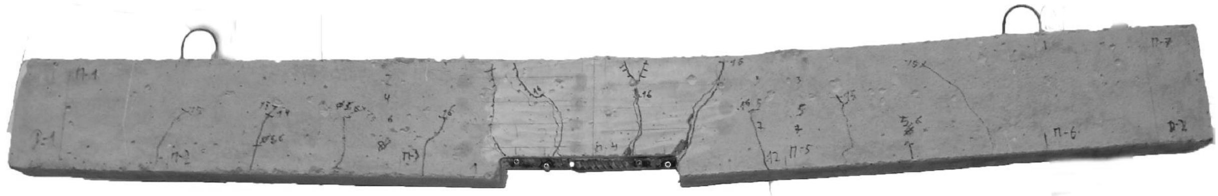


*б*

*Рис. 2. Характер руйнування зразків серії 2 БП 2.5-0.0 (а) та БП 2.6-0.0 (б) з частковим пошкодженням розтягнутого армування отвором діаметром 5.6 мм, виконаним без дії навантаження*



*а*



*б*

*Рис. 3. Характер руйнування зразків серії 2 БП 2.7-0.5 (а) та БП 2.8-0.5 (б) з частковим пошкодженням розтягнутого армування отвором діаметром 5.6 мм, виконаним за дії навантаження*

**Результати експериментальних досліджень.** За критерій вичерпання несучої здатності прийнято такі умови [8]:

– втрата рівноваги між внутрішніми і зовнішніми зусиллями;

– руйнування стиснутого бетону при досягненні фібровими деформаціями граничних значень $\varepsilon_{cu1}$, $\varepsilon_{cu2}$, або розрив усіх розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій $\varepsilon_{ud}$.

Для контрольних зразків 1-ї та 2-ї серії вичерпання несучої здатності відбулось внаслідок досягнення стиснутою зоною бетону граничних значень. Для зразків з пошкодженою арматурою вичерпання несучої здатності відбулось внаслідок розриву розтягнутої арматури із досягненням у них граничних значень.

На першому етапі досліджували несучу здатність пошкоджених балок, в яких відбулось пошкодження арматури Ø20 до Ø16 (робоча арматура зразків 1-ї серії) висвердлюванням отвору посередині балки Ø5.6 мм.

Результати експериментальних досліджень наведено в табл. 2.

Контрольні зразки 2-ї серії показали несучу здатність, вищу на 58 % порівняно зі зразками 1-ї серії. Зразки, пошкоджені без початкового рівня навантаження, показали несучу здатність, дуже близьку за значенням до зразків 1-ї серії. Отже, пошкодження імітувало зменшення діаметра арматури з Ø20 до Ø16 доволі точно. За рівня навантаження 0.5 від очікуваного руйнівного контрольних зразків несуча здатність є більшою на 18 %. Тобто, рівень навантаження впливає на несучу здатність зразків, які піддаються пошкодженням.

*Таблиця 2*

**Несуча здатність дослідних зразків**

| Шифр дослідної балки | Клас бетону | Робоче армування | Несуча здатність з/б балки, $M_{Ed}$, кН·м | Середнє значення несучої здатності, $\overline{M_{Ed}}$, кН·м | Ефект пошкодження $\frac{\overline{M_{Ed}}}{\overline{M_{Ed}^{БЗ1}}}$ | Ефект пошкодження $\frac{\overline{M_{Ed}}}{\overline{M_{Ed}^{БЗ2}}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| БЗ 1.1 | C30/35 | 1Ø16 A500C | 19.00 | 18.91 | – | 0.63 |
| БЗ 1.2 | | | 18.82 | | | |
| БЗ 2.3 | | 1Ø20 A500C | 31.14 | 29.91 | 1.58 | – |
| БЗ 2.4 | | | 28.67 | | | |
| БП 2.5-0.0 | | | 19.28 | 19.71 | 1.04 | 0.66 |
| БП 2.6-0.0 | | | 20.13 | | | |
| БП 2.7-0.5 | | | 21.45 | 22.34 | 1.18 | 0.75 |
| БП 2.8-0.5 | | | 23.23 | | | |

**Висновки.**

1. Контрольні зразки руйнуються крихко з викришуванням стиснутої зони бетону, тоді як пошкоджені – з розривом розтягнутої арматури;

2. Дослідні зразки з пошкодженням без початкового рівня навантаження показали однакову несучу здатність порівняно з контрольними зразками 1-ї серії. Відхилення є меншим за 4 %.

3. Залізобетонні балки, які пошкоджені за рівня навантаження 0.5 від несучої здатності контрольних зразків, показали несучу здатність, на 18 % більшу від контрольних зразків 2-ї серії.

*1. Воскобійник О. П. Експериментальні дослідження залізобетонних балок з дефектами та пошкодженнями, які викликають косий згин /О. П. Воскобійник, О. О. Кітаєв, Я. В. Макаренко, Є. С. Бугаєнко// Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – 2011. – Вип. 1 (29). – С.87–92. 2. Біліхарський З. Я. Теоретичні основи визначення впливу корозії на несучу здатність та прогнозування залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій / З. Я. Біліхарський, Р. Є. Хміль, Р. В. Вашкевич, Р. Ф. Струк // Теорія і практика будівництва. – 2009. – № 655. – С. 13–18. 3. Клименко Є. В. Характер руйнування пошкоджених таврових балок / Є. В. Клименко, О. С. Чернєва, А. М. Ісмаєл // Теорія і практика будівництва. – 2013. – 755. – С. 179–183. 4. Cairns J. Behaviour of concrete beams with exposed reinforcement // J. Cains, Z. Zhao // Proceedings of the institution of civil engineers: structures and bridges. – 1993. – Vol. 99, Issue 2. – P.141–154. 5. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови: ДСТУ 3760:2006 [чинний від 2006-12-11]. – К.: Інститут чорної металургії НАН України, 2006. – 28 с. (Національний стандарт України). 6. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 84 с. (Національний стандарт України). 7. Турчин Б. Р. Методика досліджень залізобетонних балок з пошкодженнями отриманими за дії навантаження / Б. Р. Турчин., З. З. Біліхарський, П. І. Вегера, Т. М. Шналь // Теорія і практика будівництва. – 2017. – № 877. – С. 213–218. 8. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону.: ДСТУ Б. В.2.6-156:2010 [чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118с. (Національний стандарт України).*

## *References*

*1. Voskobiynyk O. Kitayev P.. O., Makarenko Ya. V., Buhayenko Ye. S., (2011). Eksperymental'ni doslidzhennya zalizobetonnykh balok z defektamy ta poshkodzhennyamy yaki vyklykayut' kosyy zhyn [Experimental investigations of reinforced concrete beams with defects and damages that cause skew bends] Zbirnyk naukovykh prats' (haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo). Vyp.1 (29). P. 87–92 [in Ukrainian]. 2. Blikharskyi Z. Ya. Khmil R. Ye., Vashkevych, R. V., Struk R. F. (2009). Teoretychni osnovy vyznachennia vplyvu korozii na nesuchu zdatnist ta prohnozuvannia zalyshkovoho resursu zalizobetonnykh konstruktsii [Theoretical basis for determining the impact of corrosion on bearing capacity and forecasting the residual resource of reinforced concrete structures] Teoriia i praktyka budivnytstva. No. 655. P. 13–18. [in Ukrainian]. 3. Klymenko Ye. V. Chernieva O. S., Ismaiel A. M. (2013). Kharakter ruinuvannia poshkodzhenykh tavrovykh balok. [The character of the destruction of damaged t-profile beams] Teoriia i praktyka budivnytstva. Vyp. 755. P. 179–183. [in Ukrainian]. 4. Cairns J. Zhao Z. (1993). Behaviour of concrete beams with exposed reinforcement. Proceedings of the institution of civil engineers: structures and bridges. Vol. 99, Issue 2. P. 141–154. 5. Prokat armaturnyy dlya zalizobetonnykh konstruktsiy. Zahal'ni tekhnichni umovy. [Reinforcement hire for reinforced concrete constructions. General specifications] (2006). DSTU 3760:2006 Kiev: Building norms of Ukraine [in Ukrainian]. 6. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia [Construction of houses and buildings. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions]. (2011). DBN V.2.6-98:2009 from 1th July 2011. Kiev: Building norms of Ukraine [in Ukrainian]. 7. Turchin, B. R., Bliharskii, Z. Z., Vegera, P. I. & Shnal T. M., (2017). Metodyka doslidzhen zalizobetonnykh balok z poshkodzhenniamy otrymanymy za dii navantazhennia [Research methodology of reinforced beams with damages under the action of a load]. Her. of Lviv Polytechnic National University. No. 877. P. 213–218 [in Ukrainian]. 8. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi z vazhkoho betonu). [Concrete and reinforced concrete construction from heavy concrete] (2011) DBN V.2.6-98:2009. – [chynnyy vid 2011-06-01]. – K.: Minrehionbud Ukrayiny. – 118 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny). [in Ukrainian].*