

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З ПОШКОДЖЕНИМ РОБОЧИМ АРМУВАННЯМ

LOAD CARRYING ABILITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH DAMAGED PRINCIPAL REINFORCEMENT

Бліхарський З.З. аспірант, Вегера П.І. к.т.н. асистент, Шналь Т.М. к.т.н. доцент (Національний університет «Львівська політехніка» м. Львів)

Blikharskyu Z.Z. postgraduate student, Vegera P.I. PhD assistant, Shnal T.M. PhD associate professor (Lviv Polytechnic National University)

Під час тривалої експлуатації залізобетонні конструкції піддаються різноманітним впливам, внаслідок чого змінюють свої початкові геометричні та фізичні характеристики, закладені при виготовленні. Найбільш небезпечним і поширеним випадком є зменшення площі поперечного перерізу робочої арматури. В даній статті розглянуто результати експериментальних досліджень напружено-деформативного стану залізобетонних балок, в яких відбулось пошкодження розтягнутої арматури за дії навантаження низького рівня. В результаті отримано зміну характеру руйнування, досягнення фізичного розриву арматури (при вичерпанні несучої здатності), встановлено характер перерозподілу деформацій під час пошкодження армування.

The reinforced concrete structures are subject to various influences during their maintenance. As a result, their initial geometric and physical characteristics, enshrined during manufacturing, shall change. One can observe rare examinations of reinforced concrete beams with defects. The most dangerous and widespread phenomenon is the reduction of area reinforcing steel of tension reinforcement. The main factors resulting in this phenomenon are corrosion or mechanical damage of tension reinforcement area of the structures. The damages of on load structures are of particular concern of researches. The purpose of our research is to carry out experimental studies of on load reinforced concrete beams with damaged longitudinal reinforcement. For the purpose of research we have designed exploratory prototypes – six reinforced concrete beams. The tests were conducted in two stages: first stage – testing of four beams, control prototypes (without damages), was performed under dead loading. The second stage – the prototypes were damaged by making a through hole in tension reinforcement, under 0.3 loading level as compared with the destructive load value introduced to the control beam. In accordance with

research methodology, the area reinforcing steel of tension reinforcement was reduced to the equivalent area of 16 mm reinforcement in diameter, after which the beam was destroyed. Damaged beams showed an increase in load carrying ability: by 15% at 0.3 damage level as compared with the expected destructive value. Therefore, the level of loading affects the residual load carrying capacity of reinforced beams and makes it higher as compared with structures having the equivalent reinforcement characteristics. The level of destruction of damaged beams shall change in fundamental way. If the control prototypes collapse with crumbling, cracking and dropping out of concrete within the compressed area, then the tested damaged prototypes collapse sharply, with the rupture of working reinforcement. The following conclusions were made according to results of the study: the physical destruction of damaged beams shall occur in fundamental way with a rupture of working reinforcement and fracture of structures into two parts; load carrying ability of on load beams with damaged working reinforcement shall exceed the carrying ability of the beams having the same reinforcement area.

Ключові слова:

Залізобетонні балки, пошкодження, дефекти.

Reinforced concrete beam, damage, defect.

Актуальність та постановка проблеми. Залізобетон один з найпоширеніших матеріалів, який використовують при виготовленні будівельних конструкцій. В дослідженнях залізобетонних конструкцій основну увагу приділяють напружено деформованому стану елементів, без врахування процесів корозії та можливих пошкоджень елементів в процесі експлуатації. Значну небезпеку становить корозія чи пошкодження розтягнутої зони згинаних залізобетонних елементів, враховуючи, що конструкції знаходяться під постійним навантаженням. Таким чином ключовим фактором є пошкодження робочої арматури, оскільки вона сприймає розтягуючі зусилля. Вплив зменшення площі поперечного перерізу розтягнутої арматури на несучу здатність залізобетонних згинаних елементів, з врахуванням діючого навантаження, є важливим питанням, оскільки воно має значне практичне значення для визначення залишкової міцності реальних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з таких напрямків дослідження дефектів залізобетонних балок, які викликають зміну напружено деформованого стану є настання косоного згину [1]. Автори поділяють фактори на дві групи: ендогенні (характеризують внутрішній стан елемента) та екзогенні (викликані зовнішніми чинниками). В даній роботі розглянуто ендогенні фактори, вплив яких призводить до виникнення в залізобетонних конструкціях складних видів деформацій. Робоча програма передбачала дослідження двох серій балок: в першій серії,

в якості дефекта, вибрано неточність монтажу арматурного каркасу, в другій – руйнування захисного шару та корозія робочої арматури. На основі отриманих даних отримано епюри перерозподілу деформацій по перерізу, з настанням косоного напружено-деформованого стану. Дослідженнях [2] стосувались імітації виникнення дефектів на межі з'єднання армування і бетону. На першому етапі аналізувались дефекти при виготовленні залізобетонних колон, з застосуванням різних типів бетонів (як за міцністю так і за типом вкладання). Решту досліджень стосувались виникненню додаткових зусиль внаслідок корозії арматури. Для імітації цього процесу використовувались додаткові стержні, які викликали зсуваюче зусилля. Отримані результати показали виникнення трьох типів дефектів: власних (наприклад пористість бетону); видимих (розвиток тріщин); та невидимих (порушення зчеплення бетону і арматури, пористість і неоднорідність міжфазного переходу між матеріалами). Дослідження згинаних залізобетонних елементів без і з сталевую фіброю, коли імітувався корозійний вплив 3% розчину натрію хлориду, при вже наявних нормальних тріщинах наведені в роботі [3]. На основі дослідних даних запропонована модель на основі методу скінчених елементів, яка враховує розкриття тріщин та вплив агресивного середовища. Особливу увагу заслуговують дослідження [4], в яких наведено експериментальні залежності падіння міцності бетону та армування внаслідок впливу навколишнього середовища. Міцність і довговічність залізобетонних конструкцій визначалась на термін 5 років, і падіння міцносних характеристик становило близько 28% для бетону і 7% - для армування.

Метою дослідження в роботі [5] було встановлення характеру поширення тріщин в залізобетонних зразках в залежності від рівня корозії. Було встановлено момент розкриття і поширення тріщин при впливі корозії, в залежності від захисного шару бетону, класу бетону та параметрів армування.

Дослідження залізобетонних елементів, в яких наявні дефекти і пошкодження, від різних чинників, є актуальною темою досліджень, проте кількість таких праць є недостатньою. Особливо мало досліджень стосуються виникненню дефектів за дії навантаження різного рівня інтенсивності.

Постановка мети і задач досліджень. На основі вище наведеного матеріалу, було поставлено наступну мету досліджень – провести експериментальні дослідження залізобетонних балок з пошкодженням робочого армування, за дії навантаження. Для досягнення поставленої мети, поставлено наступні задачі досліджень:

- провести експериментальні дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних балок, без початкового пошкодження;
- провести експериментальні дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних балок, з поетапним пошкодженням робочого

армування, за навантаження рівного 0.3 від несучої здатності контрольних зразків;

- провести випробування залізобетонних балок з площею робочого армування, яке є аналогічним до залишкової площі поперечного перерізу пошкоджених зразків.
- Порівняти отримані результати.

Методика досліджень **Матеріал та конструкція зразків.** Для виконання поставлених задач досліджень запроєктовано дослідні зразки – залізобетонні балки. Всього виготовлено 6 дослідних зразків. Балки поділено на дві серії: 1 серія – 2 залізобетонних зразка, 2 серія – 4 зразки. Розміри поперечного перерізу 200x100 мм., розрахунковий проліт 1900 мм. Усі залізобетонні балки було виконано ідентичних геометричних розмірів, відхилення становить менше 2%. Робоче армування балок виконане у вигляді 1Ø16 А 500С [6]– для зразків 1-ї серії, і 1Ø20 А 500С [6] – для зразків 2-ї серії. Арматура, яка розташована в стиснутій зоні та поперечне армування, виконане у вигляді Ø5 В 500. Загальний вигляд каркасу наведено на рис. 1. Бетон дослідних зразків належить до класу С30/35 [7].

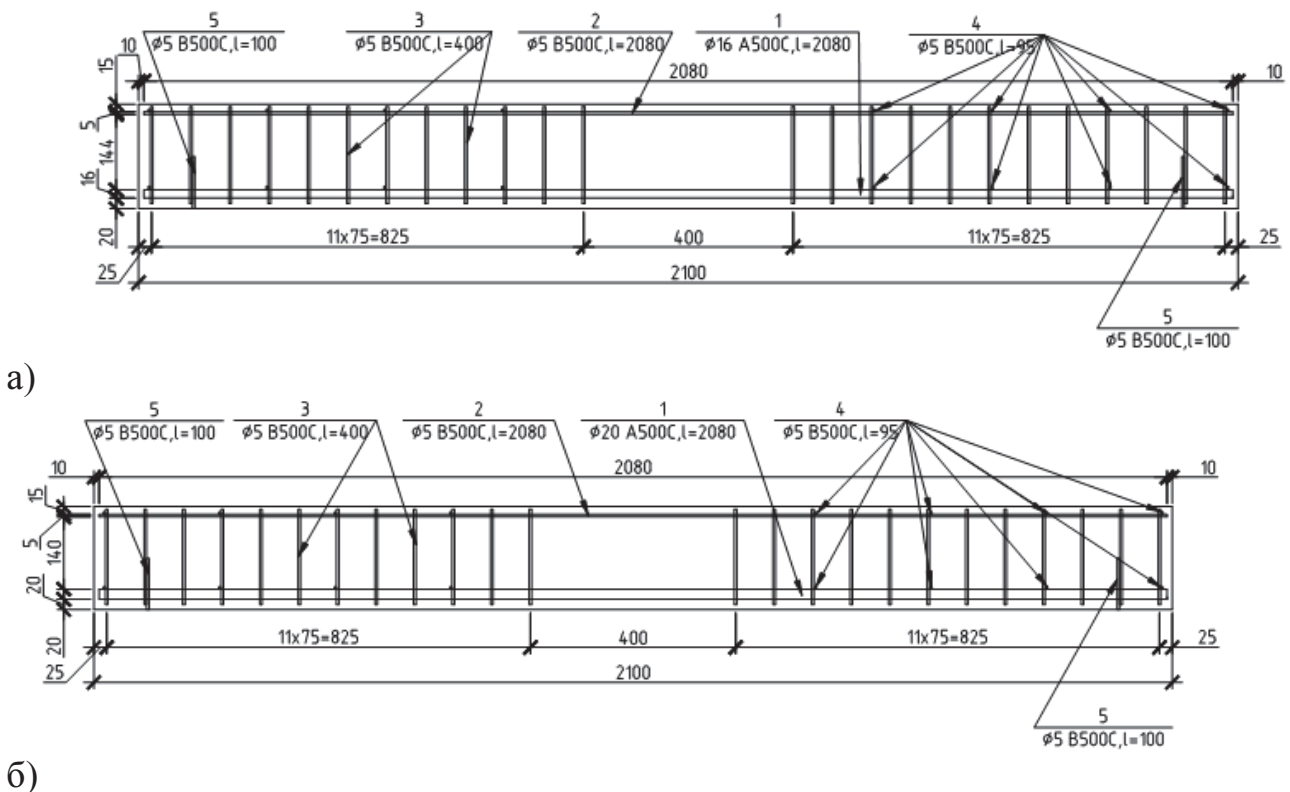


Рис. 1. Армування дослідних зразків: а) 1-ї серії; б) 2-ї серії

Для зручності балки маркуються наступним чином БЗ – контрольна балка, або БП – балка пошкоджена; перша цифра – номер серії, друга цифра – номер дослідного зразку. Для прикладу БЗ 1.2 означає, що випробувано

другу балку з 1-ї серії. Індекс 0.3 означає рівень, при якому виконувалось пошкодження, прийнятий від отриманого руйнівного, для звичайних балок.

Методика експериментальних досліджень. Залізобетонні балки випробовувались статичним навантаженням, яке прикладалось за схемою «чистий згин». Зусилля передавалось з допомогою гідравлічної станції, гідравлічним домкратом, в 1/3 прольоту балки. Навантаження на балку прикладали таким чином, щоб його площина співпадала з центром ваги перерізу балки, згідно вимог [8]. Загальний вигляд дослідного зразка, змонтованого на стенді, наведено на рис 2.

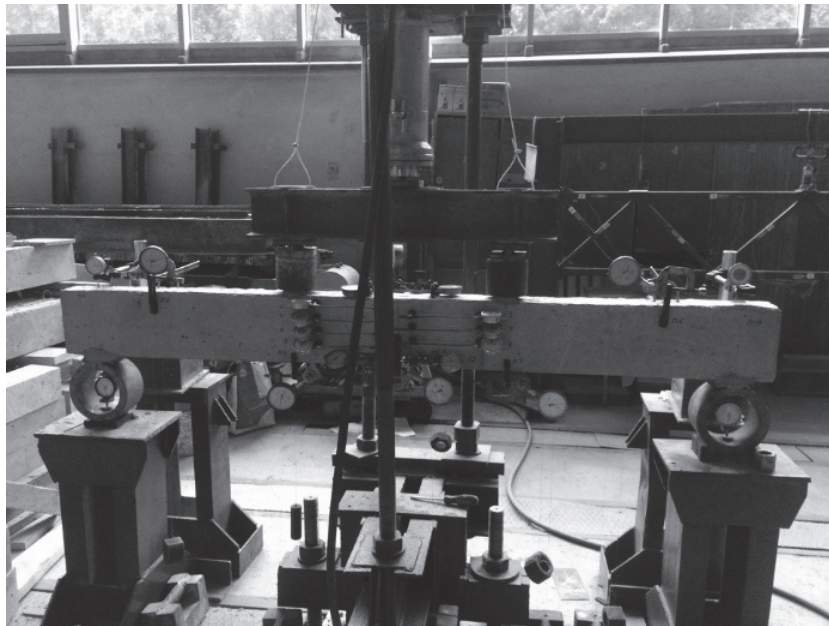


Рис. 2. Загальний вигляд дослідних зразків, змонтованих на стенді

Випробування проводились в два етапи: на першому етапі проводили випробування чотирьох балок у якості контрольних (без пошкодження) на дію статичного навантаження. На другому етапі зразки пошкоджували шляхом влаштування наскрізних отворів в розтягнутій арматурі, при дії навантаження рівня 0.3 від руйнівного значення контрольної балки. Більш детально методика випробування описана в праці [9].

Результати експериментальних досліджень.

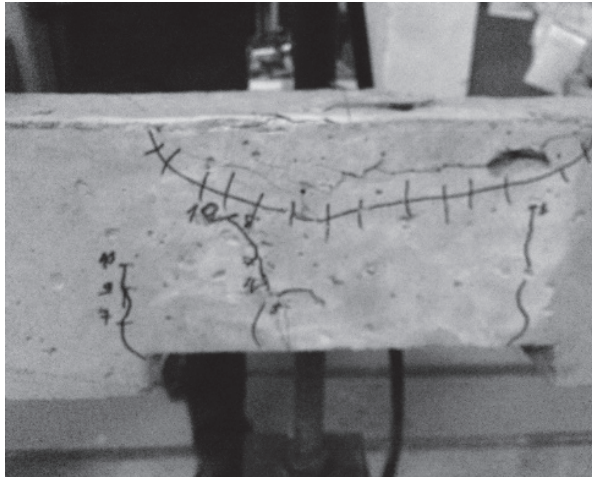
За критерій вичерпання несучої здатності прийнято наступні умови [10]:

- Втрата рівноваги між внутрішніми і зовнішніми зусиллями;
- Руйнування стиснутого бетону при досягненні фібровими деформаціями граничних значень ε_{cu1} , ε_{cu2} , або розрив усіх розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій ε_{ud} .

Для контрольних зразків БЗ 1.1 та БЗ 2.3 руйнування дослідних зразків відбувалось внаслідок відшарування стиснутої зони бетону, в той час як деформації розтягнутого армування були близькими до граничних. Для контрольних зразків 2-ї серії руйнування відбулось по стиснутій зоні бетону, оскільки зразки були запроектовані з більшою несучою здатністю

розтягнутої зони, для можливості виконання пошкодження. Розрив арматури в контрольних дослідних зразках не спостерігався.

Для пошкоджених балок різко змінюється характер руйнування. Якщо контрольні зразки, 1-ї і 2-ї серії руйнуються крихко з розтріскуванням і випадінням бетону стиснутої зони (рис.3.а), то зразки випробувані з пошкодженням руйнуються з розривом робочого армування (рис.3.б).



а)

б)

Рис. 3. Характер руйнування дослідних зразків: а) БЗ 2.3; б) БП 2.5-0.3

Несуча здатність контрольних балок становила $M_{Ed}=18.91$ кНм – для балок 1-ї серії та $M_{Ed}=29.91$ кНм. для 2-ї серії відповідно (табл. 1).

Згідно методики досліджень, площа поперечного перерізу розтягнутої арматури зменшувалась до еквівалентної площі арматури $\varnothing 16$, при рівні навантаження 0.3 від очікуваного руйнівного значення контрольних зразків 2 серії. Пошкодження виконувалось у вигляді одного наскрізного отвору по центрі балки $\varnothing 5.6$ мм. На час виконання пошкоджень рівень навантаження залишався сталим. Після чого балку поетапно доводили до вичерпання несучої здатності.

Несуча здатність зразків 1-ї серії становить 63% від контрольних зразків 2-ї серії. Тоді як несуча здатність пошкоджених зразків 2-ї серії зменшилася на 27% при рівні пошкодження 0.3 від очікуваного руйнівного значення контрольних зразків 2 серії.

При порівнянні несучої здатності зразків 2-ї серії з контрольними зразками 1-ї серії несуча здатність балок БЗ 2.3 та БЗ 2.4 більша на 58%. Пошкоджені балки показали дещо менше збільшення несучої здатності: на 15% при рівні пошкодження 0.3 від очікуваного руйнівного значення. Отже рівень навантаження впливає на залишкову несучу здатність залізобетонних балок та вона є вищою ніж в елементах з еквівалентними характеристиками армування.

Таблиця 1.

Несуча здатність дослідних балок

Шифр дослідної балки	Клас бетону,	Робоче армування	Несуча здатність з.б. балки, M_{Ed} , кН·м	Середнє значення несучої здатності, M_{Ed} , кН·м	Ефект пошкодження $\frac{M_{Ed}}{M_{Ed}^{B31}}$	Ефект пошкодження $\frac{M_{Ed}}{M_{Ed}^{B32}}$
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 2.5-0.3			22.61	21.69	1.15	0.73
БП 2.6-0.3		20.76				

Висновки. На основі вище наведеного можна зробити наступні висновки:

- фізичне руйнування пошкоджених балок, відбувається різко з розривом робочої арматури, та розломом елемента на дві частини;
- несуча здатність балок з пошкодженим робочим армуванням при дії навантаження, є більша від несучої здатності балок з еквівалентним, по площі, армуванням;
- несуча здатність балок збільшується з збільшенням рівня при якому виконувалось пошкодження.

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. Soylev T.A. Corrosion of reinforcement in relation to presence of defects at the interface between steel and concrete /T.A. Soyler, R. Francois// Journal of materials in civil engineering. – 2005. – Vol. 17, Issue 4 – P.447-455.

3. Mitchel A. Experimental investigation of the relation between damage at the concrete-steel interface and initiation of reinforcement corrosion in plain and fibre reinforced concrete /A. Mitchel, A.O.S. Solgaard, B.J. Pease, M.R. Geiker, H.Stang, J.F. Olesen// Corrosion Science. – 2013. – Vol.77. – P.308-321.

4. Ismail M. Compressive strength loss and reinforcement degradations of reinforced concrete structures due long-term exposure /M. Ismail, B. Muhammad, M.E. Ismail// Construction and building materials. – 2010. – Vol. 24. – P.898-902.

5. Al-Harthy Ali S. Concrete cover cracking caused by steel reinforcement corrosion /Ali S. Al-Harthy, Mark G. Stewart, Jonh Mullard// Magazine of concrete research. – 2011. – Vol.63, Issue 9. – P.655-667.

6. 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).

7. 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. – 84с. – (Національний стандарт України).

8. Вироби бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробовувань навантажуванням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості.: ДСТУ Б В.2.6-7-95. - [чинний від 2009-12-22]. – К.: Укрархінформбуд України, 1997. – 42с.- (Національний стандарт України).

9. Турчин Б. Р., Бліхарський З. З., Вегера П. І., Шналь Т. М. Методика досліджень залізобетонних балок з пошкодженнями отриманими за дії навантаження // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. – 2017. – № 877. – – С. 213–218.

10. 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).

1. Voskobiynyk O.P. Eksperymental'ni doslidzhennya zalizobetonnykh balok z defektamy ta poshkodzhennyamy yaki vyklykayut' kosyy z-hyn /O.P. Voskobiynyk, O.O. Kitayev, Ya.V. Makarenko, Ye.S. Buhayenko// Zbirnyk naukovykh prats' (haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo). – 2011. – Vyp.1 (29). – S.87-92.

2. Soylev T.A. Corrosion of reinforcement in relation to presence of defects at the interface between steel and concrete /T.A. Soyler, R. Francois// Journal of materials in civil engineering. – 2005. – Vol. 17, Issue 4 – P.447-455.

3. Mitchel A. Experimental investigation of the relation between damage at the concrete-steel interface and initiation of reinforcement corrosion in plain and fibre reinforced concrete /A. Mitchel, A.O.S. Solgaard, B.J. Pease, M.R. Geiker, H.Stang, J.F. Olesen// Corrosion Science. – 2013. – Vol.77. – P.308-321.

4. Ismail M. Compressive strength loss and reinforcement degradations of reinforced concrete structures due long-term exposure /M. Ismail, B. Muhammad, M.E. Ismail// Construction and building materials. – 2010. – Vol. 24. – P.898-902.

5. Al-Harthy Ali S. Concrete cover cracking caused by steel reinforcement corrosion /Ali S. Al-Harthy, Mark G. Stewart, Jonh Mullard// Magazine of concrete research. – 2011. – Vol.63, Issue 9. – P.655-667.

6.Prokat armaturnyy dlya zalizobetonnykh konstruktsiy. Zahal'ni tekhnichni umovy: DSTU 3760:2006 [chynnyy vid 2006-12-11]. –К.: Instytut chornoyi metalurhiyi NAN Ukrayiny, 2006. – 28 s. - (Natsional'nyy standart Ukrayiny).

7. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia: DBN V.2.6-98:2009. – [Chynnyi vid 2011-06-01]. – К.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 84s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).

8. Vyroby betonni ta zalizobetonni zbirni. Metody vyprovovuvan' navantazhuvannyam. Pravyla otsinky mitsnosti, zhorstkosti ta trishchynostiyskosti.: DSTU B V.2.6-7-95. - [chynnyy vid 2009-12-22]. – К.: Ukrarkhinformbud Ukrayiny, 1997. – 42s.- (Natsional'nyy standart Ukrayiny).

9. Turchyn B. R., Blikharskyi Z. Z., Vehera P. I., Shnal T. M. Metodyka doslidzhen zalizobetonnykh balok z poshkodzhenniamy otrymanymy za dii navantazhennia // Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika". Serii: Teoriia i praktyka budivnytstva. – 2017. – № 877. – – S. 213–218

10. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi z vazhkoho betonu.: DSTU B.V.2.6-156:2010. - [chynnyy vid 2011-06-01]. - К.: Minrehionbud Ukrayiny, 2011. – 118s. - (Natsional'nyy standart Ukrayiny).