

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК****Клименко Є. В.**, д.т.н., професор,

klimenkoew57@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4502-8504

**Полянський К. В.**, аспірант*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

kostyapolynski@gmail.com

**Анотація.** Представлені результати проведених експериментальних досліджень напружено-деформованого стану залізобетонних балок прямокутного перерізу із закладеними штучними пошкодженнями в стиснутій зоні бетону. Під час проведення експерименту було випробувано 15 різних (та один тестовий) дослідних зразків залізобетонних балок класу з розмірами 100×200×1200 мм та робочим прогоном 1000 мм із різними пошкодженнями стиснутої зони бетону та різною величиною відносного прогону зрізу  $a_v$  (1d, 2d, та 3d) та отримані дані за якими вдалось визначити для кожного експериментального зразка напружено-деформований стан бетону та поперечної арматури. Також отримані дозволяють простежити вплив пошкоженості зразків на зміну характеру напружено-деформованого стану.

**Ключові слова:** експериментальні дослідження, залізобетонні балки, пошкодження залізобетону, похилий переріз, напружено-деформований стан, прогін зрізу.

**Вступ.** Значна кількість залізобетонних конструкцій в будівлях та спорудах експлуатується з наявними дефектами та пошкодженнями. Останні неодмінно виникають в елементах будівель та споруд з значними термінами експлуатації, елементах які зазнають аварійних впливів, зазнають зміни силового впливу. Також пошкодження виникають в елементах які знаходяться під впливом агресивного навколишнього середовища [1]. Пошкодження, найчастіше з'являються у вигляді: утворення тріщин, корозії арматури, корозії бетону, зколів бетону. Виникнення пошкоджень призводить до того, що знижуються залишкова несуча здатність елементів, змінення їх напружено-деформованого стану. Тому постає актуальним проведення теоретичних та експериментальних досліджень з встановлення дійсної роботи, напружено-деформованого стану та залишкової несучої здатності пошкоджених елементів, які дозволять розробити методики для визначення подальшої роботи елементів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням роботи пошкоджених елементів та визначенням їх напружено-деформованого стану присвячено ряд робіт. Воскобійник О. П. в своїй роботі [2] проводить дослідження впливу дефектів виготовлення та експлуатаційних пошкоджень на стан залізобетонних балок. Байда Д. М. в своїй роботі [3] досліджує роботу балок, які були частково зруйновані (була утворена система тріщин) під дією навантаження. Залишкова несуча здатність та напружено-деформований стан досліджується і в ряді робіт Клименко Є. В. та його учнів [4-6 та ін.] – досліджена поведінка пошкоджених залізобетонних колон, балок за нормальними перерізами та ін.. Всі автори вказують на те, що відбувається суттєвий вплив дефектів та пошкоджень на характер деформування залізобетонних елементів, проте дослідження пошкоджених балок саме в стиснутій приопорній (де переважає поперечна сила) зоні ще не проводились та в доступних наукових джерелах подібної інформації не знайдено.

**Мета роботи.** Навести результати експериментального дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених в стиснутій зоні залізобетонних балок.

**Методи дослідження.** Методи досліджень представляють собою проведення експериментальних випробувань пошкоджених залізобетонних балок прямокутного перерізу

під дією зосередженої сили при різних величинах прогону зрізу, а також подальші обробка та аналіз отриманих експериментальних даних.

**Основна частина.** На кафедрі будівельних конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури були проведені експериментальні дослідження щодо визначення напружено-деформованого стану та залишкової несучої здатності похилих перерізів прямокутних залізобетонних балок з заздалегідь закладеними штучними пошкодженнями стиснутої зони.

В ході проведення досліджень було випробувано 15 різних однопрогінних залізобетонних балок розмірами 100×200×1200 мм з робочим прогоном 1000 мм. Також був випробуваний тестовий зразок Б0 – копія зразку Б1. Використані матеріали для зразків наступні: бетон класу – С25/30; повздовжня робоча арматура – Ø18 мм класу А500С, монтажна повздовжня арматура та поперечна у вигляді хомутів – Ø6 мм класу А240С, що було підтверджено за результати випробування контрольних зразків (бетонних кубів та призм, а також арматурних стрижнів). Перерізи балок з розташуванням армування показано на рис. 1 та характерні розміри пошкоджень і величини прогону зрізу наведено в табл. 1.

Випробування балок відбувалось на спеціальній універсальній силовій установці за допомогою маслостанції та гідравлічного домкрату ДГ-50. Дослідні балки випробувались як однопрогінні вільно обперті балки, які зазнають вигину під зосередженим навантаженням. Домкрат ДГ-50 утворював зосереджену силу, яка контролювалась спеціальним манометром на насосній станції та передавав на дослідні залізобетонні балки на відстані від опори в межах заданого прогону зрізу. Деформації бетону вимірювались електротензорезисторами з базою 50 мм з величиною електричного опору 120 Ом, а деформації поперечної арматури за допомогою електротензорезисторів з базою 10 мм з величиною електричного опору 100 Ом.

За критерій руйнування дослідних балок було прийнято досягнення одного із станів: значні деформації бетону та арматури, надмірна ширина розкриття тріщин, надмірні прогини балки та значний спад і подальша неможливість підтримувати покази стрілки манометру. Всі дослідні зразки були зруйновані за похилим перерізом. Результати зафіксованої граничної поперечної сили та граничних деформацій бетону і поперечної арматури наведено в табл. 1. та на рис. 2.

Отримані дані деформацій бетону дозволяють простежити зміни напружено-деформованого стану. Граничні деформації бетону зі зменшенням прогону зрізу зменшуються, а також при утворенні пошкоджень. Збільшення куту пошкодження призводить до збільшення граничних деформацій. Характер розвитку деформацій пошкоджених зразків показано на рис. 2 (тут при обриві лінії на графіку або тензорезистор виходив з ладу, або досягались дуже великі деформації, які не здатен реєструвати вимірювальний прилад). Також, можна побачити те, як в пошкоджених зразках змінюється положення нейтральної вісі (рис. 3) – вона повертається у бік пошкодження і стає майже паралельна фронту пошкодження, зміна кута нахили нейтральної вісі простежується при всіх величинах відносного прогону зрізу. Положення нейтральної на рис. 3 отримано на максимальних ступенях навантаження, де працювали усі тензорезистори. Для пошкоджених елементів, що згинаються в роботах авторів Клименко Є. В. та ін. [5, 6] також була простежена залежність такої зміни положення нейтральної вісі.

Граничні деформації поперечної арматури вказують на те, що при руйнуванні в зразках була досягнута межа текучості, крім зразків з найбільшою площею пошкодження та пошкоджених зразків з найменшим прогоном зрізу (зразки Б5, Б10, Б12...Б15).

Також, дані свідчать, що в межах кожного відносного прогону зрізу відбувається зниження залишкової несучої здатності при утворенні та збільшенні об'єму пошкоджень. Отримані дані дозволяють виявити залежності, які надають можливість для розробки пропозицій щодо розрахунку пошкоджених балок.

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Таблиця 1 – Характеристики дослідних зразків, значення граничних деформації бетону  $\epsilon_c^u$ , поперечної арматури  $\epsilon_s^u$  та граничної поперечної сила  $V_u$

Шифр зразка	Глибина пошкодження $a_l$ , мм	Кут пошкодження $\beta$ , °	Величина прогону зрізу, $a_v$	Граничні деформації бетону $\epsilon_c^u \cdot 10^{-5}$	Граничні деформації поперечної арматури $\epsilon_s^u \cdot 10^{-5}$	Гранична поперечна сила $V_u$ , кН
Б0 (тестовий зразок)	0	0	3d	162	559	59,59
Б1	0	0		148	512	59,59
Б2	50	30		283	323	57,14
Б3	50	60		401	402	48,16
Б4	100	30		377	287	47,35
Б5	100	60		200	36	24,49
Б6	0	0	2d	163	712	87,98
Б7	50	30		119	302	65,97
Б8	50	60		177	285	61,58
Б9	100	30		150	204	48,38
Б10	100	60		152	24	37,39
Б11	0	0	1d	41	260	131,36
Б12	50	30		49	184	124,45
Б13	50	60		86	41	116,15
Б14	100	30		45	64	103,71
Б15	100	60		69	144	88,5

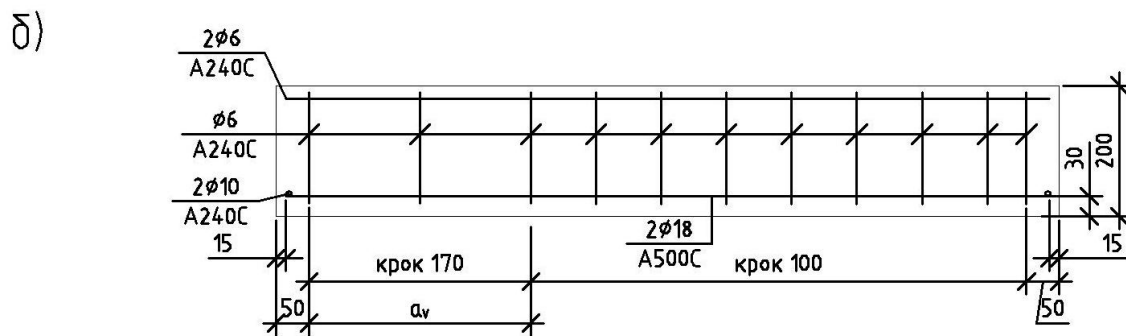
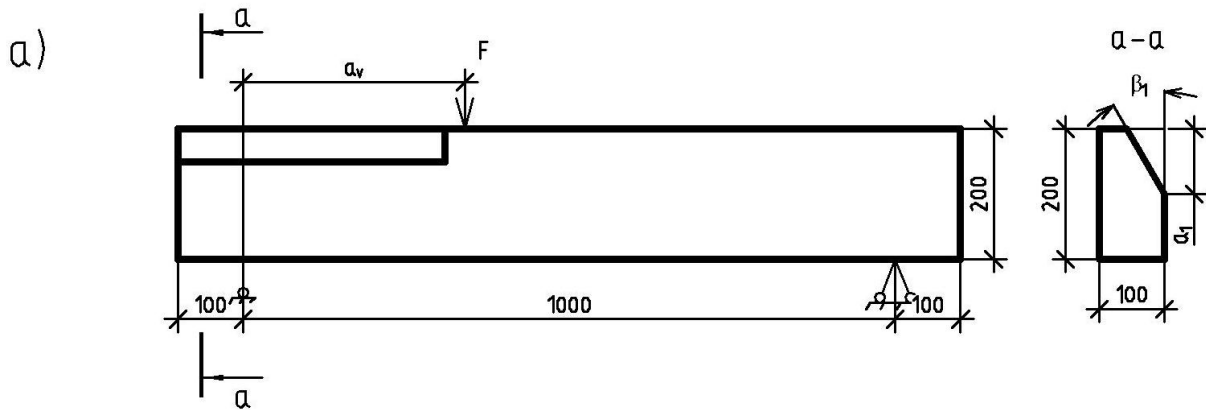


Рис. 1. Нахил нейтральної вісі в пошкоджених зразках

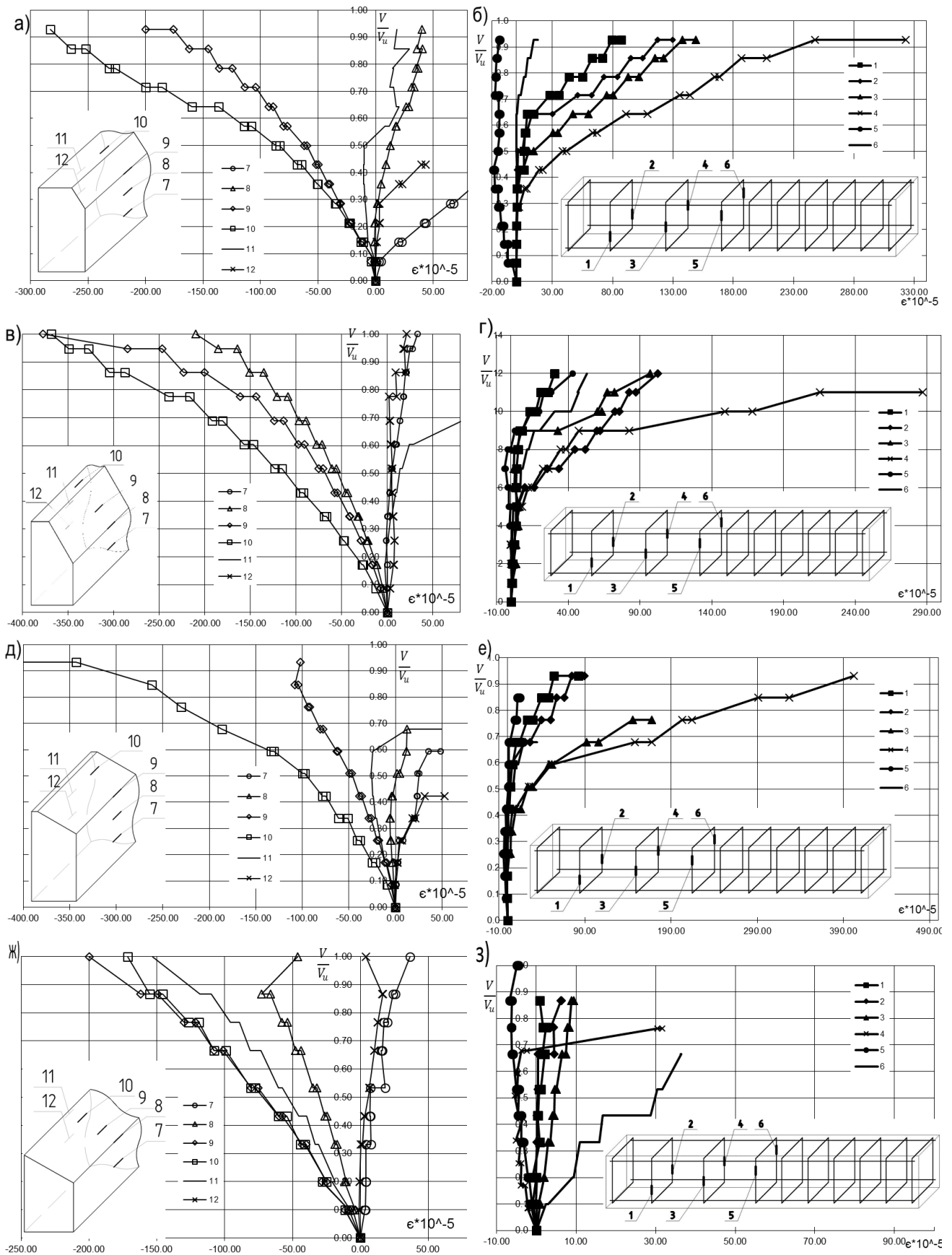


Рис. 2. Розвиток деформацій в пошкоджених зразках:  
 а, в, д, ж – деформації бетону в зразках Б2, Б3, Б4, Б5 відповідно;  
 б, г, е, з – деформації поперечної арматури в зразках Б2, Б3, Б4, Б5 відповідно;  
 1...12 – порядкові номери тензорезисторів

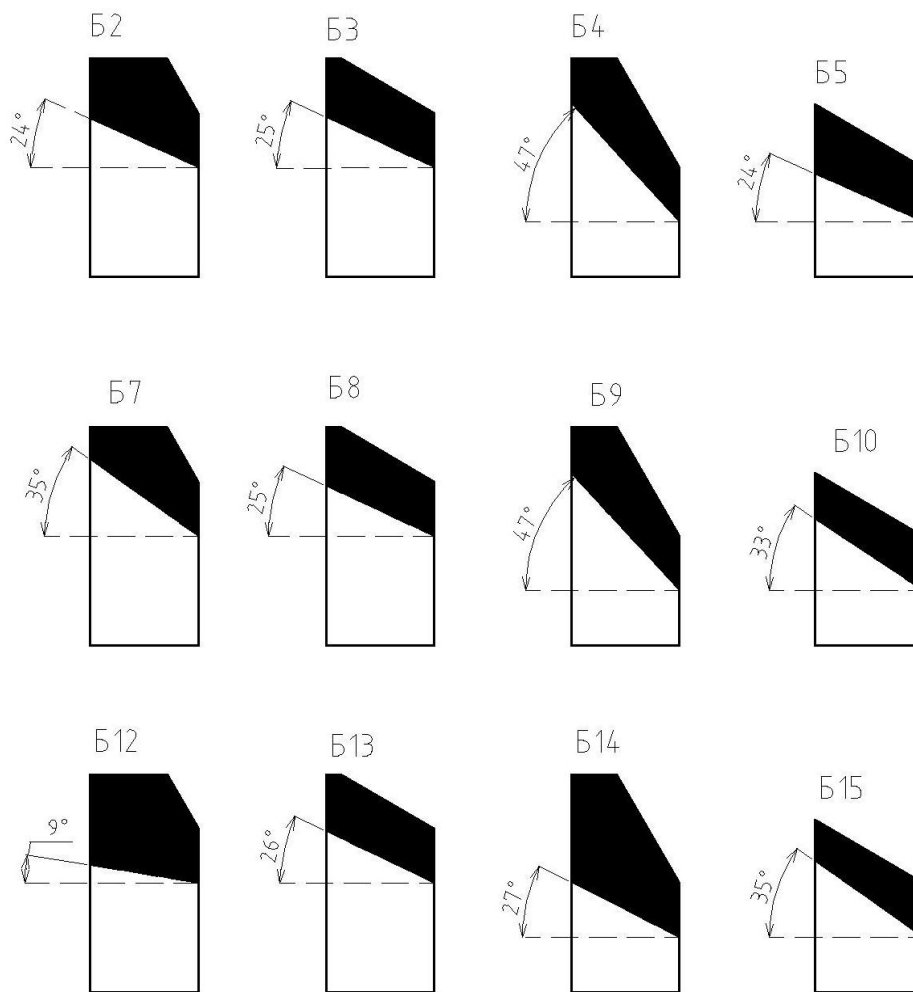


Рис. 3. Нахил нейтральної осі в пошкоджених зразках

### Основні висновки:

1. Проведено експериментальні дослідження визначення напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних балок прямокутного перерізу та отримані дані граничних зусиль та відповідних деформацій бетону та поперечної арматури в зразках.

2. За результатами експериментальних досліджень вдалось встановити, що зменшення прогону зрізу призводить до зменшення граничних деформацій бетону, утворення пошкоджень також призводить до зменшення деформацій бетону і деформацій арматури. Пошкодження призводять до нахилу нейтральної осі.

3. Отримані дані напружено-деформованого стану показують дійсну роботу пошкоджених залізобетонних балок, що руйнуються за похилими перерізами та є корисними для розробки методик з визначення залишкової несучої здатності похилих перерізів пошкоджених залізобетонних балок прямокутного перерізу.

### Література

1. Бліхарський З. Я. Залізобетонні конструкції в агресивному середовищі та за дії навантаження та їх підсилення: монографія / З. Я. Бліхарський – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 296 с.

2. Експериментальні дослідження залізобетонних балок з дефектами та пошкодженнями, які викликають косий згин / [Воскобійник О. П., Кітаєв О. О., Макаренко Я. В., Бугаєнко Є. С.] // Зб. наук праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип. 1(29). – С. 87–92.

3. Байда Д. М. Залишкова несуча здатність залізобетонних балок після їх часткового

руйнування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / Байда Денис Миколайович, – Київ, 2005. – 20 с.

4. Клименко Е. В. Влияние поврежденности на прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов / Е. В. Клименко, Е. А. Острая // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 46. – С. 175–180.

5. Klymenko I. Capacity of damaged reinforced concrete beams : Monograph / Ievgenii Klymenko, Arez Mohammed Ismael. – Odessa, OSACEA, 2017. – 162 p.

6. Клименко Е. В. Работа поврежденных железобетонных колонн / Е. В. Клименко, Т. А. Крутько. – Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2014. – 137 с.

### References

- [1] Z.Ya. Blikharskyi, *Zalizobetonni konstruktsii v ahresyvnomu seredovyshchi ta za dii navantazhennia ta yikh pidsylennia: monohrafiia*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2011.
- [2] O.P. Voskobiinyk, O.O. Kitaiev, Ya.V. Makarenko, Ye.S. Buhaienko, "Eksperymentalni doslidzhennia zalizobetonnykh balok z defektamy ta poshkodzhenniamy, yaki vyklykaiut kosyi zghyn", *Zb. nauk prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo)*, Poltava: PoltNTU, Vol. 1(29), pp. 87–92, 2011.
- [3] D.M. Baida, Zalyshkova nesucha zdatnist zalizobetonnykh balok pislia yikh chastkovoho ruinuvannia: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.23.01 "Budivelni konstruktsii, budivli ta sporudy". Kyiv, 2005.
- [4] Ye.V. Klimenko, "Vlyianie povrezhdennosti na prochnost i deformativnost izghibaemykh zhelezobetonnykh elementov", *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, Vol. 46, pp. 175–180, 2012.
- [5] Ye. Klymenko, Arez Mohammed Ismael, *Capacity of damaged reinforced concrete beams : Monograph*. Odessa, OSACEA, 2017.
- [6] E.V. Klimenko, T.A. Krutko, *Rabota povrezhdennykh zhelezobetonnykh kolonn*. Odesa: Odeska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury, 2014.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Клименко Е.В., д.т.н., профессор,  
klimenkoew57@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4502-8504

Полянский К. В., аспирант  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
kostyapoljanski@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлены результаты проведенных экспериментальных исследований по определению влияния повреждений сжатой зоны бетона на напряженно-деформированное железобетонных балок прямоугольного сечения в которых преобладает поперечная сила. Во время проведения эксперимента, было испытано 15 различных (и один тестовый образец Б0 – двойник образца Б1) однопролетных свободно опертых железобетонных балок. Размеры балок 1200×100×200 мм, величина рабочего пролета составила 1000 мм. В балках предварительно были заложены искусственные повреждения в сжатой зоне бетона (в пределах пролета среза) разной высоты и с разным углом наклона относительно грани балки. Также для исследования влияния относительного пролета среза используются разные его величины  $a_v$  ( $1d$ ,  $2d$ , и  $3d$ ). По испытаниям контрольных образцов были определены характеристики использованных материалов: бетон – класса С25/30, рабочая продольная арматура – Ø 18 класса А500С, конструктивная продольная и

поперечная арматура в виде вязаных хомутов – Ø 6 класса A240C. Все балки были разрушены по наклонному сечению. По результатам экспериментальных исследований получены данные предельных деформаций бетона и поперечной арматуры для каждого образца, анализируя какие удалось установить, что уменьшение пролета среза приводит к уменьшению предельных деформаций бетона, образование повреждений также приводит к смещению деформаций бетона и деформаций арматуры. Повреждения приводят к наклону нейтральной оси – она поворачивается в сторону повреждения и становится почти параллельной фронту повреждения. Полученные данные напряженно-деформированного состояния показывают действительную работу поврежденных образцов в приопорных участках и могут быть использованы при разработке методик по определению остаточной несущей способности наклонных сечений железобетонных балок.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, железобетонные балки, повреждения железобетона, наклонное сечение, напряженно-деформированное состояние, пролет среза.

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF DAMAGED REINFORCED CONCRETE BEAMS

**Klymenko Ye.V.**, Doctor of Engineering Science, Professor,  
klimenkoew57@gmail.com, ORCID: 0000 0002 4502 8504

**Polianskyi K.V.**, post-graduate student  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
kostyapolyanski@gmail.com

**Abstract.** The article reports on the results of the experimental studies to determine the influence of concrete damages in compressed zone of rectangular cross-section reinforced concrete beams on their stress-strain state. During the tests 15 different (and one test sample B0 – twin of sample B1) single-span freely supported experimental samples of reinforced concrete beams were tested. The dimensions of the beams were 1200×100×200 mm; value of the working span was 1000 mm. In the beams the artificial damages of the compressed zone (within shear span limits) of concrete are laid in advance in different sizes with different angles relative to the edge of the beam. Also for the research of the shear span are used its different sizes  $a_v$  ( $1d$ ,  $2d$ , and  $3d$ ). According to tests of control samples, the characteristics of the materials used were determined: concrete – grade C25/30; working longitudinal reinforcement – Ø 18 mm of grade A500C; constructive longitudinal reinforcement and transverse reinforcement in the form of links – Ø 6 mm of grade A240C. All samples were destroyed along an inclined section. According to the results of experimental studies, the data of ultimate deformations of concrete and transverse reinforcement for each sample were obtained, analyzing which it was possible to establish that reducing the shear span leads to a decrease in the ultimate strain of concrete, the formation of damage also leads to a shift of concrete strain and strain of reinforcement. Damages lead to a tilt of the neutral axis – it turns in the direction of the damage and becomes almost parallel to the damage front. The obtained data of the stress-strain state show the actual work of damaged samples in the support sections and may be used in the development of methods for determining the residual bearing capacity of inclined sections of reinforced concrete beams.

**Keywords:** experimental investigations, reinforced concrete beams, damages in reinforced concrete, inclined section, shear span, stress-strain state.

Стаття надійшла 4.09.2019