

О.П. Воскобійник, к.т.н., с.н.с., доцент, О.О. Кітаєв, магістрант  
Я.В. Макаренко, студент, Є.С. Бугаєнко, студентка

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З ДЕФЕКТАМИ ТА ПОШКОДЖЕННЯМИ, ЯКІ ВИКЛИКАЮТЬ КОСИЙ ЗГИН**

*Робота присвячена аналізу можливих дефектів і пошкоджень залізобетонних балок, які викликають у таких елементах не передбачений розрахунком косий згин. Наведена методика та результати експериментальних досліджень залізобетонних балок із дефектами виготовлення й експлуатаційними пошкодженнями.*

**Ключові слова:** залізобетонні балки, дефекти, пошкодження, косий згин.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями.** Аналіз причин аварійного руйнування несучих конструкцій будівель і споруд, проведений на основі офіційних даних [6] свідчить, що на перший план гарантування конструктивної безпеки виходять завдання вияву потенційно небезпечних ситуацій. Відповідно діагностування технічного стану об'єктів будівництва, а також своєчасне втручання в процес експлуатації шляхом проведення заходів щодо підвищення експлуатаційних якостей деградуючих будівельних конструкцій, що зазнають фізичного зношення, має одне з вирішальних значень при розв'язанні актуального завдання гарантування конструктивної безпеки будівель та споруд.

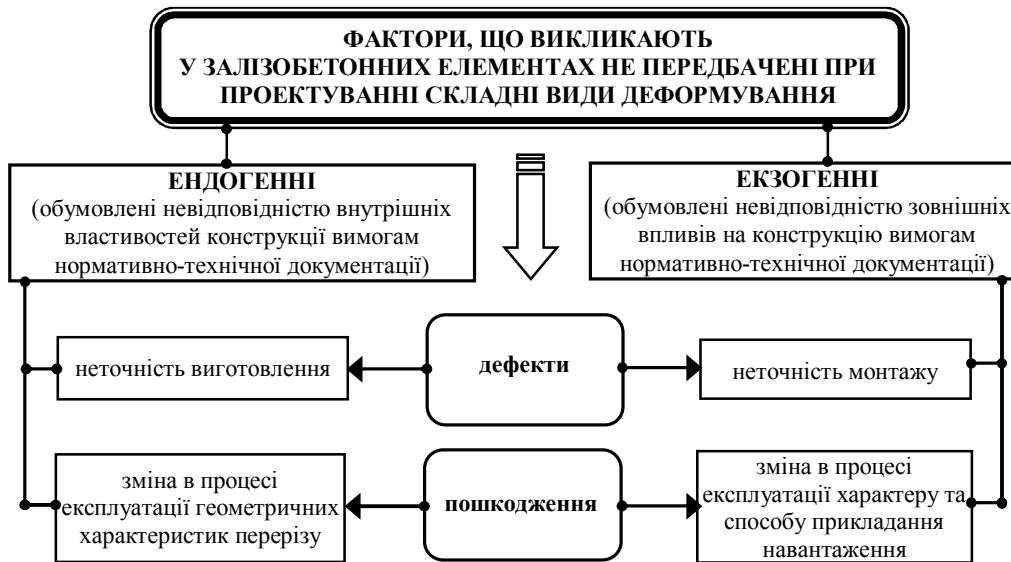
Згідно з **аналізом останніх досліджень [1] та публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми [2]**, одним із визначальних факторів при діагностуванні технічного стану несучих залізобетонних конструкцій (зокрема балкових) є наявність у них на момент обстеження пошкоджень і дефектів виготовлення. Досить часто певна сукупність дефектів та пошкоджень бетону й арматури залізобетонних конструкцій фактично призводить до роботи таких елементів в умовах складних деформацій (косий стиск та згин), що не було передбачено при проектуванні. При цьому косо прикладання навантаження значним чином змінює роботу, характер напружено-деформованого стану, міцність та деформативність залізобетонних елементів [4].

Таким чином, аналіз впливу наявних дефектів та пошкоджень залізобетонних балок і дійсного характеру їх роботи під навантаженням при діагностуванні технічного стану є **не розв'язаною раніше частиною загальної проблеми, котрій присвячується стаття.**

**Основна мета статті** – експериментальні дослідження впливу дефектів та пошкоджень залізобетонних балок при діагностуванні технічного стану.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Розглянемо фактори, вплив яких зумовлює виникнення в залізобетонних балках, що знаходяться в експлуатації, не передбачених при проектуванні складних видів деформацій, а саме косоного згину. Відповідно до визначень, прийнятих у нормах із питання оцінювання технічного стану будівельних конструкцій [3], відхилення якості, форми або фактичних розмірів елементів та конструкцій від вимог нормативно-технічної чи проектної документації, які виникають при проектуванні, виготовленні та монтажі, називаються дефектами. Пошкодження, згідно з нормами [3], – це відхилення від первісного рівня якості елементів та конструкцій, що виникає під час експлуатації або аварії.

Фактори, які викликають у згинальних залізобетонних елементах, що знаходяться в експлуатації, не передбачені при проектуванні деформації косоного згину внаслідок впливу наявних дефектів і пошкоджень, можна поділити на ендогенні (характеризують внутрішні властивості конструкції) та екзогенні, зумовлені характером силових впливів (способом та характером прикладання навантаження). Структурно-логічна схема виникнення в процесі експлуатації косоного згину залізобетонних балок наведена на рис. 1.

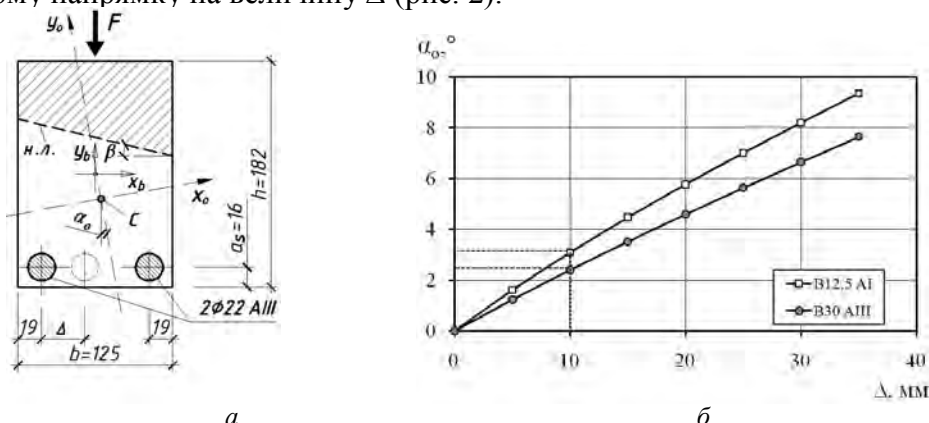


*Рисунок 1 – Структурно-логічна схема виникнення  
в процесі експлуатації косою згину залізобетонних балок*

У рамках даних досліджень за мету ставилося проаналізувати вплив лише ендогенних факторів, які зумовлюють зміну характеру роботи та напружено-деформованого стану залізобетонних балок, що знаходяться в експлуатації. Розглянемо їх більш детально.

До дефектів неточності виготовлення слід віднести відхилення габаритних геометричних розмірів і викривлення балок (дефекти виготовлення опалубки), відмінність фактичного та проектного положення робочої арматури, неоднорідність (мінливість фізико-механічних властивостей) бетону в межах конструктивного елемента. До найбільш розповсюджених видів пошкоджень залізобетонних елементів належать сколювання захисного шару бетону, корозія арматури, механічні пошкодження (вирізи, вибоїни, сколювання). Сукупність цих факторів призводить до зміни геометричних характеристик нормального перерізу залізобетонної балки – зміщення положення центру ваги та повороту головних осей інерції. Унаслідок цього лінія дії силової площини не збігається з головною віссю інерції, яка змінила своє положення, а отже, виникає косою згинання.

Розглянемо один з ендогенних типів дефектів, наявність яких викликає в залізобетонних елементах косою згин, а саме, вплив зміщення поздовжньої арматури в поперечному напрямку на величину  $\Delta$  (рис. 2).



*Рисунок 2 – Зміна геометричних параметрів перерізу залізобетонних балок унаслідок впливу дефектів їх виготовлення:*

*а – розрахункова схема приведенного перерізу; б – залежність кута нахилу головних осей приведенного перерізу від величини однічного зміщення центра ваги робочої арматури для бетонів різної міцності*

У цьому випадку має місце незбіг площини зовнішнього силового впливу з головними осями приведенного перерізу ( $x_0, y_0$ , рис. 2), незважаючи на те, що навантаження прикладається по осі симетрії бетонного перерізу балки ( $y_b$ ). Таким чином, поворот головних осей приведенного перерізу ( $\alpha_0$ ) призводить до фактичної роботи залізобетонних елементів з розглядуваним видом дефектів виготовлення в умовах косоного згину. Отримані графіки залежності кута нахилу головних осей приведенного перерізу від величини зміщення центра ваги робочої арматури (на прикладі балки прямокутного перерізу) для бетонів різної міцності наведені на рис. 2. Аналіз одержаних залежностей свідчить, що одностороннє зміщення центра ваги арматури в межах допусків виготовлення залізобетонних елементів [5] призводить до нахилу силової площини в межах  $2,5 \dots 3^\circ$  (пунктирна лінія на рис. 2). При цьому залізобетонні елементи з бетонів низьких класів за міцністю більш чутливі до якості виготовлення.

З метою аналізу впливу на напружено-деформований стан залізобетонних згинальних елементів вищеперелічених факторів ми виконали експериментальні дослідження лабораторних зразків із дефектами та пошкодженнями, які моделюють роботу залізобетонних балок, що знаходяться в експлуатації.

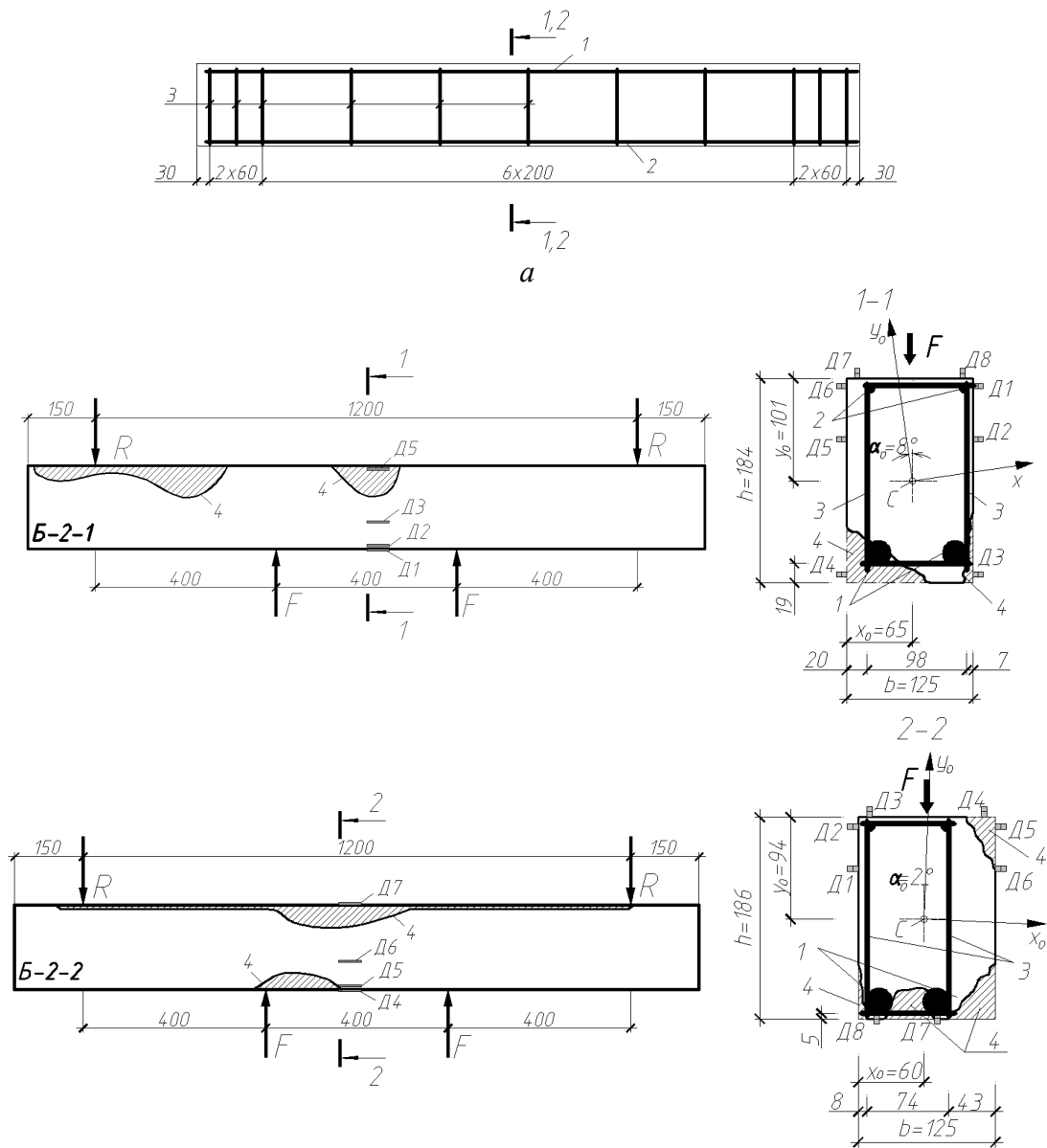
Розроблена програма експерименту передбачала випробування двох серій зразків (Б-1 та Б-2) залізобетонних балок прямокутного перерізу з дефектами виготовлення (неточність установлення арматурних каркасів) і пошкодженнями (руйнування захисного шару бетону та корозія робочої арматури). Дослідні зразки серій Б-1 і Б-2 різнилися армуванням (були запроєктовані різноміцними за нормальним і похилим перерізами) та ступенем експлуатаційних пошкоджень. Для проведення досліджень була використана лабораторна база й методика проведення лабораторних робіт із дослідження міцності залізобетонних балок за нормальним і похилим перерізами кафедри ЗБіКК та ОМ ПолтНТУ.

Дослідні зразки першої серії (Б-1) моделювали роботу залізобетонних балок із незначним ступенем експлуатаційних пошкоджень, технічний стан яких при візуальному обстеженні згідно з вимогами [3] може бути кваліфікований як задовільний (стан II). Армування зразків серії Б-1 було запроєктовано таким чином, щоб дослідити міцність балки за нормальним перерізом у зоні чистого згину, при цьому виключалася можливість руйнування за похилим перерізом завдяки встановленню значної кількості поперечної арматури.

Дослідні зразки другої серії (Б-2, рис. 3, 4) моделювали роботи залізобетонних балок, що мають дефекти виготовлення та значні корозійні пошкодження (втрати площі поперечного перерізу робочої арматури

>10 %). Армування зразків серії Б-2 було виконане таким чином, щоб виключити можливість руйнування балки за нормальним перерізом. З метою дослідження виникнення в реальних умовах косоного згину через неточність встановлення арматури по відношенню до осі симетрії бетонного перерізу центр ваги розтягнутої арматури був зміщений на (13 мм – зразок Б-2-1 та 35 мм – зразок Б-2-2). При цьому програмою експерименту було передбачено дослідження роботи таких елементів у два етапи. Випробування дослідного зразка на першому етапі передбачали його руйнування по похилому перерізу (поблизу однієї з опор), що моделювало виникнення аварійного технічного стану залізобетонної балки, яка знаходиться в експлуатації. На другому етапі виконувалося підсилення похилого перерізу пошкодженої через силові впливи ділянки балки шляхом установлення металевої обойми (рис. 4). Після цього дослідний зразок випробовувався повторно з метою дослідження роботи підсилених залізобетонних балок, що знаходяться в експлуатації. На обох етапах випробування виконувалося вимірювання деформацій та прогинів у нормальному перерізі дослідного зразка. З метою моделювання процесів фізичного зносу залізобетонних елементів при їх тривалій експлуатації в експериментальних дослідженнях були використані зразки віком більше 10 років, які зберігалися в умовах, наближених до експлуатаційних. Унаслідок цього в залізобетонних балках були зафіксовані наявні пошкодження захисного шару бетону та корозія арматури, що зумовило послаблення нормального перерізу.

Таким чином, метою проведення випробувань серії дослідних зразків Б-2 було отримання експериментальних даних про напружено-деформований стан і міцність за нормальним перерізом залізобетонного елемента з дефектами та пошкодженнями за умов забезпечення його несучої здатності на стадії проектування.



б

Рисунок 3 – Конструкція та схема розташування дефектів та пошкоджень дослідних зразків залізобетонних балок серії Б-2:

а – схема армування дослідних зразків; б – схема розташування дефектів і пошкоджень та розміщення вимірювальних приладів при випробуванні дослідних зразків; 1 – поздовжня робоча арматура  $\varnothing 22$  А-III;

2 – поздовжні стрижні каркаса  $\varnothing 10$  А-I; 3 – поперечні стрижні  $\varnothing 6$  А-I; 4 – пошкодження захисного шару бетону; Д1...Д8 – електротензорезистори

На рис. 3 показана конструкція дослідних зразків серії Б-2, схема випробування й підраховані геометричні характеристики (положення та кут нахилу головних осей) перерізу з урахуванням наявних дефектів і пошкоджень. При цьому слід відмітити, що в процесі завантаження балки, внаслідок прояву непружних властивостей бетону та розвитку нормальних тріщин, буде спостерігатися зміщення центра ваги перерізу та зміна кута нахилу головних осей.



Рисунок 4 – Вигляд дослідних зразків серії Б-2

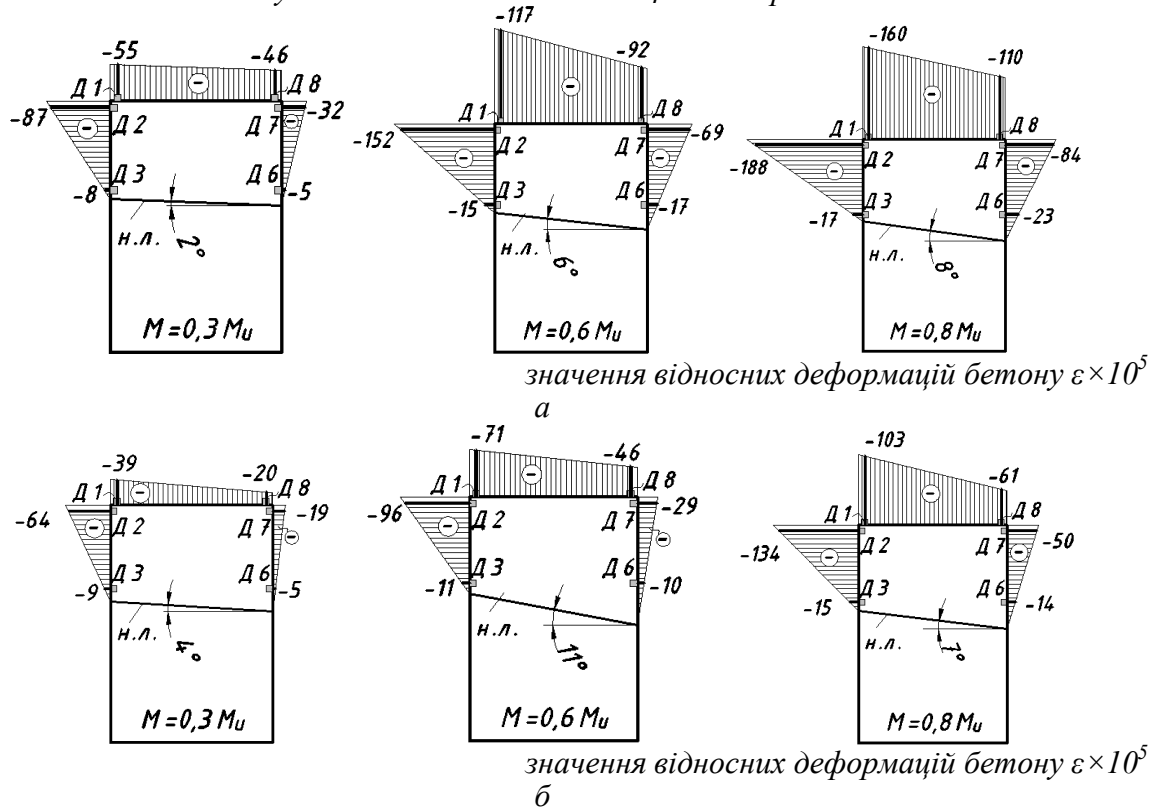


Рисунок 5 – Епюри деформацій у стиснутій зоні бетону та кут нахилу нейтральної лінії зразка Б-2-1 за показаннями електротензорезисторів:

а – при випробуванні без підсилення сталевую обоймою;

б – повторне випробування після виконання підсилення сталевую обоймою

Це у свою чергу спричиняє зміну кута між лінією дії сили (яка прикладається вертикально) та головною віссю перерізу, тобто фактично призводить до зміни кута нахилу силової площини в процесі завантаження. Тому визначене для приведенного перерізу значення кута  $\alpha_0$  (з використанням коефіцієнта приведення  $n=E_s/E_b$ , рис. 3, б) будемо вважати початковим розрахунковим кутом нахилу силової площини.

Результати проведених випробувань дослідних зразків, що мали суттєві дефекти виготовлення та корозійні пошкодження (серія Б-2), підтверджують їх фактичну роботу на косий згин, про що свідчать епюри деформацій, побудовані за результатами тензометричного вимірювання (рис. 5). Так, наприклад, експериментально визначений кут нахилу нейтральної лінії дослідного зразка Б-2-1 (при початковому розрахунковому куті нахилу силової площини, зумовленому поворотом головних осей перерізу) на різних стадіях завантаження становив 2–11°. Стиснута зона бетону при цьому мала трапецієподібну форму. Зафіксована зміна положення та кута нахилу нейтральної лінії при завантаженні (рис.5) пояснюється розвитком нормальних тріщин у розтягнутій зоні й проявом пружно-пластичних властивостей бетону. Із цієї ж причини кут нахилу нейтральної лінії при повторному випробуванні балки був дещо більшим. Крім того, слід зауважити, що внаслідок



впливу значних корозійних пошкоджень розтягнутої арматури (послаблення нормального перерізу) балка Б-2-2 зруйнувалася крихко, одночасно по обох перерізу.

**Висновки.** Проведені в рамках даної роботи дослідження свідчать про суттєвий вплив дефектів виготовлення й експлуатаційних пошкоджень залізобетонних балок на характер їх дійсної роботи під навантаженням. Виявлені закономірності необхідно враховувати при оцінюванні та встановленні категорії технічного стану залізобетонних елементів, що знаходяться в експлуатації.

#### Література

1. Воскобійник, О. П. Типологічне порівняння дефектів та пошкоджень залізобетонних, металевих та сталезалізобетонних балкових конструкцій / О. П. Воскобійник // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2010. – № 662. – С. 97–103.

2. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: атлас схем и чертежей / А.И. Мальганов, В.С. Плевков, А.И. Полищук. – Томск: Том. ун-т, 1990. – 456 с.

3. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України. – К., 1997.

4. Павліков, А. М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косозавантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії / А. М. Павліков. – Полтава, 2007. – 258 с.

5. СНиП 3.03.01–87 Несущие и ограждающие конструкции / Госстрой СССР; ЦИТП Госстроя СССР. – М., 1988. – 192 с.

6. Четверик, Н.П. Совершенствование порядка проведения строительного контроля как процедуры, оказывающей влияние на безопасность объектов капитального строительства / Н. П. Четверик // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. – М., 2010. – Вып. 9. – С. 129–140.

Надійшла до редакції 03.03. 2011

© О.П. Воскобійник, О.О. Кітаєв, Я.В. Макаренко, Є.С.Бугаєнко

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ДЕФЕКТАМИ И ПОВРЕЖДЕНИЯМИ, КОТОРЫЕ ВЫЗЫВАЮТ КОСОЙ ИЗГИБ

*Работа посвящена анализу дефектов и поврежденных железобетонных балок, которые вызывают в таких элементах не предусмотренный расчетом косой изгиб. Приведена методика и результаты экспериментальных исследований железобетонных балок с дефектами изготовления и эксплуатационными повреждениями.*

**Ключевые слова:** железобетонные балки, дефекты, повреждения, косой изгиб.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH DEFECTS AND DAMAGES THAT CAUSE THE SKEW BENDING

*The article says about the analysis of defects and damages of reinforced concrete beams to cause a skew bending in such elements which is not concerned by calculation. The technique and experimental results of reinforced concrete beams with manufacturing defects and operational damages are given.*

**The key words:** reinforced concrete beams, defects, damages, skew bending.