

УДК 624.016:69.059

## АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ІЗ ЗОВНІШНІМ ЛИСТОВИМ АРМУВАННЯМ ІЗ УРАХУВАННЯМ ДЕФОРМАЦІЙ КРУЧЕННЯ

ВОСКОБІЙНИК О. П. <sup>1\*</sup>, *д.т.н, с.н.с.*,  
 СЕМКО О. В. <sup>1\*</sup>, *д.т.н, проф.*,  
 СКИБА О. В. <sup>3\*</sup>, *аспірант*,  
 УБІЙ-ВОВК О. М. <sup>4\*</sup>, *магістрант*

<sup>1\*</sup> Науково-дослідницька частина, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, Полтава, Полтавська область, Україна, 36000, тел. +38 (050) 304-40-23, +38 (0532) 22-98-75, e-mail: [lvosko@mail.ru](mailto:lvosko@mail.ru)

<sup>2\*</sup> Кафедра архітектури та міського будівництва, тел. +38 (050) 305-09-70, e-mail: [arhimb@mail.ru](mailto:arhimb@mail.ru)

<sup>3\*</sup> e-mail: [skybaav@gmail.com](mailto:skybaav@gmail.com).

<sup>4\*</sup> e-mail: [alexbyiyovvk@mail.ru](mailto:alexbyiyovvk@mail.ru).

**Анотація. Мета.** Більшість несучих та огорожувальних будівельних конструкцій під час експлуатації фактично працюють в умовах складного деформування: косоного згину, кручення, сумісної дії згину з крученням. Сумісна дія деформацій згину з крученням на балки перекриття та покриття будівель і споруд зумовлена рядом об'єктивних чинників: однобічним (несиметричним) завантаженням під час монтажу (стадійність зведення) та експлуатації, характером прикладання тимчасових навантажень та їх розрахункових сполучень, конструктивними особливостями перерізів тощо. Неврахування під час розрахунку згинальних елементів додаткової групи напружень, зумовлених впливом деформацій кручення, суттєво занижує несучу здатність та надійність таких конструктивних елементів. **Методика.** Запропонована методика ймовірного розрахунку сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням, що базується на застосуванні методу імітаційного моделювання (Монте-Карло) уніфікованого апроксимуючого поліному їх несучої здатності, отриманого за планом чисельного експерименту. Такий підхід дозволяє врахувати вплив на показники фактичної безвідмовності сталезалізобетонних згинальних елементів сумісної дії деформацій згину та кручення. **Результати.** Проаналізовано вплив деформацій кручення на фактичну безвідмовність сталезалізобетонних ригелів із зовнішнім листовим армуванням. Співставлення результатів статистичного моделювання з даними фізичного експерименту свідчить про задовільне співпадіння (в межах одного стандарту) модельованого розподілу з несучою здатністю випробуваних зразків. **Наукова новизна.** Отримала подальшого розвитку методика ймовірного розрахунку сталезалізобетонних конструкцій, що працюють в умовах складного деформування. **Практичне значення.** Розроблені практичні методики ймовірного розрахунку сталезалізобетонних конструкцій, що зазнають сумісної дії згину з крученням, дозволяють оцінити фактичну безвідмовність такого типу конструктивних елементів у комплексі заходів із забезпечення їх надійної та безпечної експлуатації.

**Ключові слова:** сталезалізобетонні ригелі із зовнішнім листовим армуванням, сумісна дія згину з крученням, безвідмовність, метод імітаційного моделювання (Монте-Карло), чисельний експеримент, уніфікований апроксимуючий поліном

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ВНЕШНИМ ЛИСТОВЫМ АРМИРОВАНИЕМ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЯ

ВОСКОБОЙНИК Е. П. <sup>1\*</sup>, *д.т.н, с.н.с.*,  
 СЕМКО О. В. <sup>2\*</sup>, *д.т.н, проф.*,  
 СКИБА А. В. <sup>3\*</sup>, *аспірант*,  
 УБЕЙ-ВОЛК А. М. <sup>4\*</sup>, *магістрант*

<sup>1\*</sup> Научно-исследовательская часть, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, Полтава, Полтавская область, Украина, 36000, тел. +38 (050) 304-40-23, +38 (0532) 22-98-75, e-mail: [lvosko@mail.ru](mailto:lvosko@mail.ru)

<sup>2\*</sup> Кафедра архитектуры и городского строительства, тел. +38 (050) 305-09-70, e-mail: [arhimb@mail.ru](mailto:arhimb@mail.ru)

<sup>3\*</sup> e-mail: [skybaav@gmail.com](mailto:skybaav@gmail.com).

<sup>4\*</sup> e-mail: [alexbyiyovvk@mail.ru](mailto:alexbyiyovvk@mail.ru).

**Аннотация. Цель.** Большинство несущих и ограждающих строительных конструкций во время эксплуатации фактически работают в условиях сложного деформирования: косоугольного изгиба, кручения, совместного действия изгиба с кручением. Совместное действие деформаций изгиба с кручением на балки перекрытия и покрытия зданий и сооружений обусловлена рядом объективных факторов: односторонним (несимметричным) нагружением при монтаже (стадийность сведения) и эксплуатации, характером приложения временных нагрузок и их расчетных связей, конструктивными особенностями сечений и тому подобное. Игнорирование при расчете изгибаемых элементов дополнительной группы напряжений, обусловленных влиянием деформаций кручение, существенно занижает несущую способность и надежность таких конструктивных элементов. **Методика.** Предложенная методика вероятностного расчета сталежелезобетонных балок с внешним листовым армированием, основанная на применении метода имитационного моделирования (Монте-Карло) унифицированного аппроксимирующего полинома их несущей способности, полученного по плану численного эксперимента. Такой подход позволяет учесть влияние на показатели фактической безотказности сталежелезобетонных изгибаемых элементов совместного действия деформаций изгиба и кручения. **Результаты.** Проанализировано влияние деформаций кручения на фактическую безотказность сталежелезобетонных ригелей с внешним листовым армированием. Сопоставление результатов статистического моделирования с данными физического эксперимента свидетельствует об удовлетворительном совпадении (в пределах одного стандарта) моделируемого распределения с несущей способностью испытываемых образцов. **Научная новизна.** Получила дальнейшее развитие методика вероятностного расчета сталежелезобетонных конструкций, работающих в условиях сложного деформирования. **Практическое значение.** Разработанные практические методики вероятностного расчета сталежелезобетонных конструкций, испытывающих совместное действие изгиба с кручением, позволяют оценить фактическую безотказность такого типа конструктивных элементов в комплексе мер по обеспечению их надежной и безопасной эксплуатации.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонные ригеля с внешним листовым армированием, совместное действие изгиба с кручением, безотказность, метод имитационного моделирования (Монте-Карло), численный эксперимент, унифицированный аппроксимирующий полином.

## RELIABILITY ANALYSIS OF COMPOSITE STEEL CONCRETE BEAMS WITH EXTERNAL REINFORCEMENT WITH TORSIONAL STRAIN

VOSKOBIINYK O. P.<sup>1\*</sup>, *Ph.D. Senior Researcher*,  
SEMKO O. V.<sup>2\*</sup>, *Ph.D., professor*,  
SKYBA O. V.<sup>3\*</sup>, *undergraduate student*,  
UBYY-VOVK O. M.<sup>4\*</sup>, *graduate student*

<sup>1\*</sup> Research department, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravnevyi avenues, 24, Poltava, Ukraine, 36000, telephone +38 (050) 304-40-23, +38 (0532) 22-98-75, e-mail: [lvosko@mail.ru](mailto:lvosko@mail.ru)

<sup>2\*</sup> Architecture and urban engineering, telephone +38 (050) 305-09-70, e-mail: [arhimb@mail.ru](mailto:arhimb@mail.ru)

<sup>3\*</sup> e-mail: [skybaav@gmail.com](mailto:skybaav@gmail.com).

<sup>4\*</sup> e-mail: [alexbyiyovk@mail.ru](mailto:alexbyiyovk@mail.ru).

**Abstract. Purpose.** Most of the bearing and enclosing structures during their operation work in a complex deformations: oblique bending, torsion, bending with torsion. The combined effect of bending with torsion deformations of bearing and ceiling beams of buildings and structures caused by a number of objective factors: one-sided (asymmetric) loading during the installation and operational nature of the application of temporary loads and their settlement ties, etc. **Methodology.** The proposed method of probability calculation of composite steel concrete beams with external reinforcement, based on the method of the simulation (Monte-Carlo) approximating polynomial equation and bearing capacity obtained in the range of number of the experiments. This approach allows to take into account the actual effect on the reliability of complex torsion and bending deformation structures. **Findings.** Analyzed the influence of torsional strain on the actual reliability of composite steel concrete beams with exterior sheet reinforcement. Comparison of the results of statistical modeling with experimental data claims evidence of satisfactory coincidence (within one standard) with the simulated distribution of load-bearing capacity of the test samples. **Originality.** Has been developed probabilistic method for calculation of the composite steel concrete structures that work in a complex deformations. **Practical value.** Developed practical methods of probabilistic calculation of composite structures, experiencing the combined action of bending with torsion, allow us to estimate the actual reliability and failness of this type of structural elements in a complex of measures to ensure their safe and reliable operation.

Keywords: composite steel concrete beams with an external sheet reinforcement, the combined effect of bending with torsion, reliability, simulation method (Monte Carlo), numerical experiment, unified approximated polynomial equation.

### Вступ

Як відомо, більшість несучих та огорожувальних будівельних конструкцій під час експлуатації фактично працюють в умовах складного деформування: косоного згину, кручення, сумісної дії згину з крученням тощо. Сталезалізобетонні конструкції, зокрема згинальні елементи (балки), що останнім часом знаходять все ширше застосування в сучасних умовах будівництва України, з цієї точки зору не виняток. Адаже сумісна дія деформацій згину з крученням на балки перекриття та покриття будівель і споруд зумовлена рядом об'єктивних чинників: однобічним (несиметричним) завантаженням під час монтажу (стадійність зведення) та експлуатації, характером прикладання тимчасових навантажень та їх розрахункових сполучень, конструктивними особливостями перерізів тощо [7, 11, 15].

Поміж тим, проблемі забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд останнім часом приділяється все більше уваги як у вітчизняних, так і закордонних дослідженнях [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 14]. Проте, як свідчить **огляд останніх джерел досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, детерміністичний та ймовірнісний розрахунок сталезалізобетонних балок суттєво ускладнюється порівняно з традиційними сталевими згинальними елементами** (врахування кручення та сумісної дії згину з крученням для яких є по собі доволі складною задачею механіки твердого деформованого тіла). Адаже, такі конструктивні елементи мають комплексний переріз, компоненти якого (прокатна сталь та бетон), як правило, розподілені по висоті. Тому, навіть, при згині розрахунок комплексних конструкцій потребує застосування ітераційних підходів або чисельного інтегрування, що є складною математичною задачею, яку доволі важко розв'язати в рамках інженерної методики.

Таким чином, розроблення методики врахування під час ймовірнісного розрахунку сталезалізобетонних (СЗБ) балок їх складного напружено-деформованого стану, є на сьогодні **невирішеною частинною загальною науковою проблемою забезпечення надійної експлуатації сталезалізобетонних конструкцій.**

### Мета

Зважаючи на це, метою даних досліджень є формулювання загальних підходів, принципів та передумов ймовірнісного розрахунку сталезалізобетонних балок, що працюють в умовах складного напружено-деформованого стану, зокрема при сумісній дії згину з крученням.

### Інженерна методика детерміністичного розрахунку сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням, що працюють в умовах сумісної дії згину з крученням

На сьогодні в чинних нормативних документах з питань проектування сталезалізобетонних конструкцій [4, 5, 13] відсутні чіткі рекомендації щодо їх розрахунку в умовах роботи в складному напружено-деформованому стані, зокрема при сумісній дії згину із крученням.

Загалом, практична інженерна методика розрахунку такого типу комплексних конструкцій наведена лише в [6], відповідно якої для сталезалізобетонних балок коробчастого перерізу із зовнішнім листовим армуванням (рис. 1) вертикальне навантаження, що сприймається балкою можна визначити як:

$$F_u^{th} = (1/e) \cdot f_c \cdot b_1 \cdot 0,5x + f_c \cdot A_{a1} \cdot (x - a_1) + f_c (W_{pl} + x^2 t_w) + f_y A_{a2} \cdot x, \quad (1)$$

$$x = (2f_y r t_w + f_y A_{a2} - f_y A_{a1}) / (b f_c + 2f_c t_w), \quad (2)$$

де  $f_c$  – міцність бетону;  $f_y$  – міцність сталі;  $t_w$  – товщина горизонтальної стінки;  $W_{pl}$  – пластичний момент опору сталевій частини;  $e$  – ексцентриситет прикладання навантаження;  $A_{a1}$ ,  $A_{a2}$  – площа перерізу сталюого профілю відповідно стиснутої та розтягнутої зони;  $b_1$  – ширина перерізу залізобетонної ділянки.

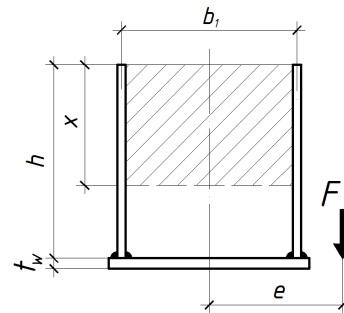


Рис. 1. Розрахункова схема поперечного перерізу сталезалізобетонного ригеля / Cross-section of the composite steel concrete beam

Проте ці рекомендації жодним чином не враховують роботу конструктивних елементів при сумісній дії згину з крученням.

Тому авторами пропонується розрахунок міцності СЗБ балки виконувати як для суцільного однорідного пружного тіла, що має переріз приведений до сталюого відповідно до схеми, наведеної на рисунку 2. При цьому враховується площа перерізу усього зовнішнього листового армування ( $A_{s,f}$ ) та повна площа перерізу бетонного заповнення ( $A_{c,f}$ ), помножена на співвідношення модуля деформації бетону ( $E_{cm}$ ) до модуля пружності сталі ( $E_s$ ), тобто приведена площа перерізу ( $A_{c,red}$ ):

$$A_{c,red} = \alpha_E \cdot A_{c,f}, \quad (3)$$

де,  $A_{c,red}$  – приведена до сталі розрахункова площа бетону;  $A_{c,f}$  – фактична площа перерізу бетону;  $\alpha_E$  – коефіцієнт приведення:

$$\alpha_E = \nu \cdot E_{cm} / E_s, \quad (4)$$

де  $E_{cm}$  – середнє значення початкового модуля пружності бетону;  $\nu$  – коефіцієнт пружних характеристик бетону, що відповідно рекомендації [6] приймається рівним 0,85 при короточасній та 0,4 при довготривалій дії навантаження.

Таким чином, зовнішню силу, що сприймає ригель при сумісній дії згину із крученням, можна визначити за формулою:

$$F_u^{th} = \left( f_y^2 / (I^2 / (16 W_{u,red}^2) + e^2 / W_{kp,red}^2) \right)^{1/2}, \quad (5)$$

де  $W_{u,red}$  – момент опору приведенного перерізу при згині, що визначається відповідно схеми на рисунку 2, а як для коробчастого перерізу;

$W_{kp,red}$  – момент опору приведенного перерізу при крученні шляхом розташування приведенної до сталі площі бетону у центрі ваги елемента, як це показано на схемі на рисунку 2, б

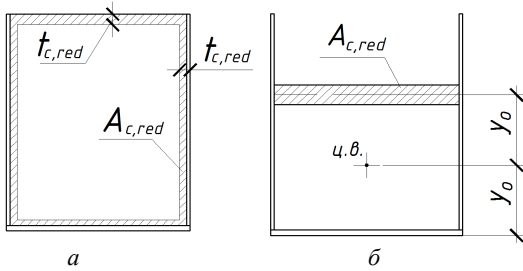


Рис. 2.— Схеми формування приведенного перерізу / Formation schemes of estimated cross-section : a – при сприйнятій деформації згину / a – in perception of the bending strain; б – те ж для деформацій кручення / b – in perception of torsional strain

Такий підхід, звісно, не дозволяє повною мірою врахувати всіх особливостей напружено-деформованого стану комплексного елемента: утворення тріщин в розтягнутому бетоні, його нелінійні властивості тощо. Проте розроблений підхід може бути рекомендований проектувальникам як інженерний наближений метод попереднього розрахунку, а подальше уточнення параметрів напружено-деформованого стану сталезалізобетонних балок, що працюють при дії згину з крученням, доцільно виконувати, використовуючи метод скінчених елементів.

**Проектний аналіз випадкової величини ексцентриситету прикладання зовнішнього навантаження**

Аналіз умов роботи сталезалізобетонних ригелів (балок) із зовнішнім листовим армуванням у складі сталезалізобетонних каркасів громадських та промислових будівель свідчить (рис. 3), що такі конструктивні елементи зазнають деформацій кручення не лише під час монтажу (у випадку одностороннього прикладання навантаження під час встановлення панелей перекриття), а й на стадії експлуатації (навіть для середніх елементів перекриття, що завантажені з двох боків, рис. 4).

В цьому випадку ригель перекриття сприймає навантаження від власної ваги вищерозташованих конструкцій, а також корисне навантаження, що передається з відповідної вантажної площі. Зважаючи на випадкову природу цих навантажень в свою чергу має місце виникнення випадкових ексцентриситетів прикладання вертикальної сили, що сприймається балками внаслідок стохастичної нерівномірності їх завантаження.

Таким чином, випадкова величина ексцентриситету прикладання вертикального навантаження може бути підрахована як:

$$\tilde{e}_o = \frac{\tilde{N}_{E1}\tilde{e}_1 + \tilde{N}_{E2}\tilde{e}_2}{\tilde{N}_{E1} + \tilde{N}_{E2}}, \quad (6)$$

де  $\tilde{e}_1$  та  $\tilde{e}_2$  – випадковий ексцентриситет прикладання навантаження з лівого та з правого боку елемента, зумовлений допусками монтажу, тобто власне геометричними параметрами конструкцій;

$\tilde{N}_{E1}$  та  $\tilde{N}_{E2}$  – сумарне випадкове навантаження з лівого та з правого боку елемента відповідно, що складається із власної ваги вищерозташованих конструкцій та корисного навантаження, що сприймається ними.



Рис. 3. Виробнича будівля із сталезалізобетонним перекриттям із застосуванням ригелів із зовнішнім листовим армуванням / Industrial building with composite steel concrete ceiling with external reinforced beams

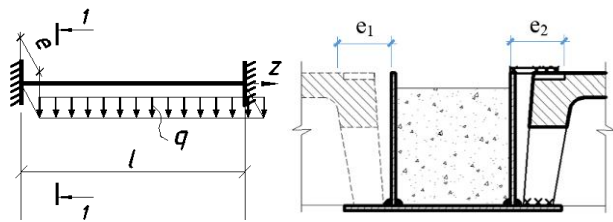


Рис. 4. Схема завантаження сталезалізобетонного ригеля / Loading scheme of composite steel concrete beam

Застосувавши метод статистичних випробувань (Монте-Карло) доволі просто отримати параметри розподілу випадкової величини ексцентриситету  $e_o$ .

**Методика та результати ймовірного розрахунку сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням, що працюють в умовах сумісної дії згину з крученням**

Одним із масивів вихідних даних для виконання ймовірного розрахунку сталезалізобетонних конструкцій слугують статистичні дані щодо параметрів розподілу їх несучої здатності, тобто значення випадкової величини максимального зовнішнього навантаження.

Внаслідок відсутності достатньої кількості репрезентативних вибірок експериментальних даних для отримання параметрів розподілу несучої здатності доцільним є використання методу імітаційного моделювання (Монте Карло).

Випадкова величина несучої здатності СЗБ балок є функціонально пов'язаною із трьома розглядуваними випадковими величинами:

$$\tilde{F}_u = f(\tilde{e}; \tilde{f}_c; \tilde{f}_y), \quad (7)$$

де  $\tilde{e}$  – випадкова величина ексцентриситету прикладання зовнішнього навантаження;

$\tilde{f}_c, \tilde{f}_y$  – випадкові величини міцності матеріалів: бетону та сталі.

В рамках даних досліджень авторами пропонується для отримання параметрів розподілу несучої здатності СЗБ балок застосувати метод непрямого статистичного моделювання уніфікованого апроксимуючого полінома, обчисленого за планом чисельного експерименту, вигляду

$$F_u^{th} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2, \quad (8)$$

де  $x_1 \dots x_3$  – варійовані параметри;

$a_{ij}$  – коефіцієнти рівняння регресії.

Для чисельного експерименту був використаний ортогональний план Бокса-Бенкіна з дробовими репліками на 15-ть значень, який має мінімальну кількість спостережень, та дозволяє отримати незалежні коефіцієнти математичної моделі з урахуванням впливу трьох факторів, що варіюються на трьох рівнях:

$$\begin{aligned} \text{нижньому: } x_{n,i} &= x_{m,i} - n\sigma_{x,i}; \\ \text{нульовому: } x_{o,i} &= x_{m,i}; \\ \text{верхньому: } x_{v,i} &= x_{m,i} + n\sigma_{x,i}, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $x_{m,i}$  та  $\sigma_{x,i}$  – відповідно середнє значення та середньоквадратичне відхилення  $i$ -ої випадкової величини (незалежної змінної);

$n$  – кількість стандартів нормального розподілу  $i$ -ої випадкової величини.

Таким чином, прийняті рівні варіювання випадкових величин під час виконання чисельного експерименту відповідно (8), а також результати проведених розрахунків наведені в таблицях 1 – 2.

Як свідчать діаграми Парето, наведені на рисунку 5, статистично значущим фактором впливу на розглядувану функцію відгуку (несучу здатність) є лише лінійні члени рівняння (8).

Таблиця 1

Таблиця вихідних даних / Table of the output parameters

Випадкові параметри	Рівень варіювання		
	«-1»	«0»	«+1»
Ексцентриситет $e$ , см	23,5	22,5	21,5
Міцність бетону $f_c$ , МПа	19,346	28,256	37,166
Міцність сталі $f_y$ , МПа	259,64	328,04	396,44

Таблиця 2

Значення функції відгуку (зосередженої сили F) за планом Бокса-Бенкена / Meaning of the response function (force F) due to Box-Benken Plan

Номер спостереження з/п	Значення варіюваних			Функція відгуку $F_u^{th}$ , кН
	$e$ , см	$f_c$ , МПа	$f_y$ , МПа	
1	23,5	22	353	25,236
2	23,5	13,16	285	24,526
3	22,5	22	285	26,711
4	22,5	22	285	26,711
5	22,5	30,84	353	26,984
6	21,5	22	217	27,413
7	23,5	30,84	285	26,568
8	23,5	22	217	26,483
9	22,5	13,16	217	26,183
10	21,5	30,84	285	28,515
11	22,5	22	285	25,864
12	21,5	22	353	26,821
13	22,5	13,16	353	24,397
14	21,5	13,16	285	25,957
15	22,5	30,84	217	27,943

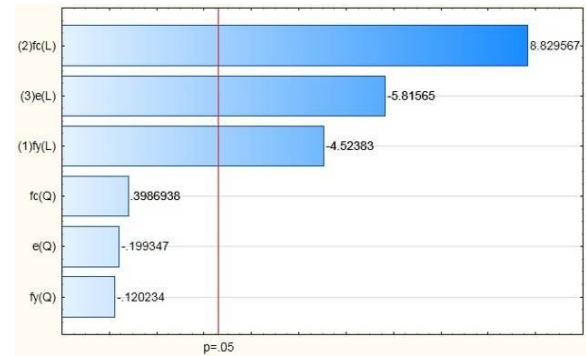


Рис. 5. Діаграма Парето ефектів / Pareto chart of effects

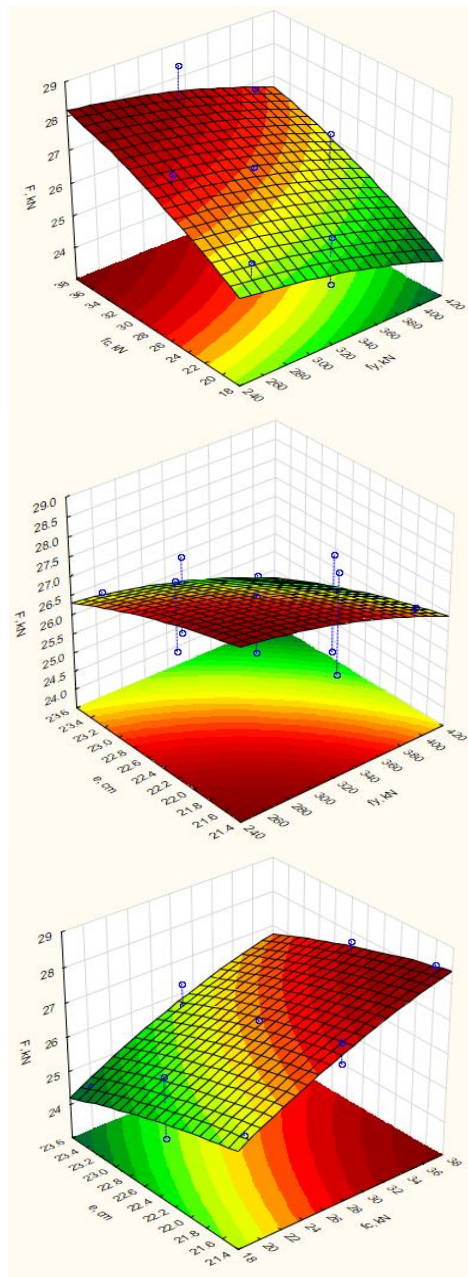


Рис. 6. Поверхні взаємодії випадкових варіюваних параметрів та несучої здатності СЗБ балок / The surface of the dependences of random variables and bearing capacity of composite beams

Отримані поверхні взаємодії випадкових варійованих параметрів міцності матеріалів і ексцентриситету прикладання навантаження (незалежних змінних) та несучої здатності балок (функції відгуку) наведені на рисунку 6.

За допомогою підбраної апроксимуючої функції виду (8) було виконане статистичне моделювання для обсягу вибірки  $10^6$  кількості чисельних моделей (випробувань). Отримані таким чином гістограма розподілу несучої здатності СЗБ балок для середніх значень варійованих параметрів наведена на рисунку 7, а.

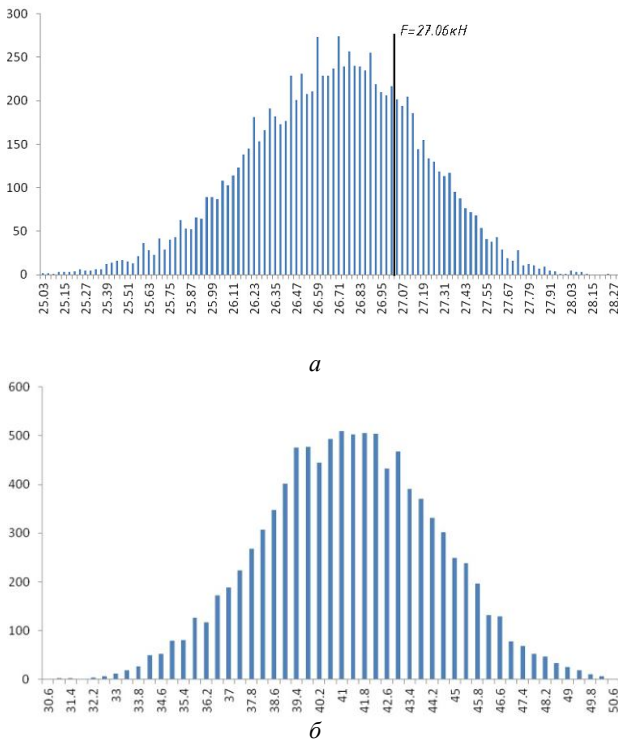


Рис. 7. Гістограми розподілу проектної несучої здатності СЗБ балок / Histogram of bearing capacity distribution of composite beams:

а – з урахуванням кручення / а – in perception of torsional strain; б – за формулою (1) при прямому згині / b – perception (1) of bending strain

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Бамбура, А. М. Точність та надійність розрахункового апарату за ДСТУ В В.2.6-156:2010 / А. М. Бамбура, О. В. Дорогова // Строительство. Материаловедение. Машиностроение : сб. науч. трудов. – Дн-ск : ПГАСА, 2012. – Вып. 65. – С. 14–18.

Bambura A. M. Tochnist ta nadiynist rozrachynkovogo aparaty za DSTU B V.2.6-156: 2010 / A. M. Bambura, O. V. Dorogova // Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie : Sbor nauchnyh trydovs. – Day-ck : PGASA, 2012. – Vol. 65. – pp. 14–18.

[http://pgasa.dp.ua/a/international%20conferences/inovacii/archi ve/vipusk\\_65\\_2012.pdf](http://pgasa.dp.ua/a/international%20conferences/inovacii/archi ve/vipusk_65_2012.pdf)

2. Воскобийник, О. П. Комплексні методи керування ризиками під час експлуатації будівель та споруд / О. П. Воскобийник // Металеві конструкції. – 2013. – Том 19. – №3. – С. 183–189.

Voskobiynyk O.P., Kompleksni metody keruvannya rizukamu pid chas ekpluatatsii budivel ta sporud / O.P.

На рисунку 7, б наведена гістограма проектного розподілу несучої здатності аналогічних балок, розрахованих без урахування кручення за формулою (1).

Згідно з результатами експериментальних досліджень, руйнуюче навантаження для дослідних зразків сталезалізобетонних балок становила  $F = 27,06$  кН.

За результатами проведення процедури Монте-Карло були підраховані відповідні значення забезпеченості несучої здатності СЗБ балок ( $\beta_R$ ), що являє собою кількість стандартів, на яку відрізняється середнє значення несучої здатності ( $F_{um}$ ) елемента від відповідного розрахункового значення ( $F_n$ ) при детермінованому значенні навантажувального ефекту ( $S = det$ ) та відповідних значень ймовірності відмови ( $Q$ ) такого типу конструкції. Співставлення результатів статистичного моделювання з результатами фізичних експериментів свідчить про задовільне співпадіння (в межах одного стандарту) модельованого розподілу з несучою здатністю випробуваних зразків.

#### Висновки

Пропонується методика ймовірнісного розрахунку сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням, що базується на застосуванні методу імітаційного моделювання (Монте-Карло) уніфікованого апроксимуючого полінома їх несучої здатності, отриманого за планом чисельного експерименту. Такий підхід дозволяє врахувати вплив на фактичні показники безвідмовності не лише міцнісних властивостей матеріалів, а також й випадкову величину ексцентриситету прикладання навантаження. Співставлення результатів статистичного моделювання з результатами фізичних експериментів свідчить про задовільне співпадіння (в межах одного стандарту) модельованого розподілу з несучою здатністю випробуваних зразків.

Voskobiynyk // Metalevi konstruktsii. – 2013. – Том 19. – №3. – pp. 183–189.

<http://donnasa.org/inform.php?lng=u&pid=194&art=1867>

3. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : на заміну ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4868-84 ; чинний з 2009 – 12-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.

DBN V.1.2.-14-2009. Zagalni pryncypy zabezpechennia nadiynosti ta konstruktivnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnyh konstruktysiy ta osnov : na zaminy HOST 27751, ST SYV 3972-83, ST SYV 3973-83, ST SYV 4417-83, ST SYV 4868; chynnui z 2009-12-12.-K.: Minregionbud Ukrainy, 2009. pp 37.

4. ДБН В.2.6-160:2010. Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення : чинний з 2011–09-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.

DBN V.2.6.-160:2010. Konstryktyi budinkiv I sporyd. Stalezalizobetonni konstryktsii. Osnovni polozhennia : chynnui z 2011-09-01. – K.: Minregionbud Ukrainy, 2011. pp 55.

5. ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010. Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1994-1-1:2004, IDN) : чинний з 2013-06-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 159 с.

DSTU-N B EN 1994-1-1:2010. Eurocode 4. Proektyvannia stalezalizobetonnykh kostryktsiy. Chastyna 1-1. Zagalni pravyla I pravyla dlia sporud (EN 1994-1-1:2004, IDN) : chynnui z 2013-06-01. – K. : Minregionbud Ukrainy, 2012. pp 159.

6. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой. – М. : Стройиздат, 1978. – 55 с.

Rukovodstvo po proekturovanuy zhelezobetonnykh kostryktsiy s zhestkoi armaturoi. – M. : Stroizdat. 1978. – pp 55.

7. Семко, О. В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій : монографія / О. В. Семко, О. П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с.

Semko, O. V. Keryvanya ruzukamu pru proektyvanny ta ehplyatacii stalezalizobetonnykh konstruksiy / O. V. Semko, O. P. Voskoboynik.; monographia – Poltava : PoltNTU, 2012. – 514 p.

8. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций / Г. Шпете ; пер. с нем. О. О. Андреева. – М.: Стройиздат, 1994. – 288 с. – Перевод. изд.: Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. – ISBN 5-274-01208-6.

Shpete, H. Nadezhnost nesuschykh stroutelnykh konstruksiy / G. Shpet; Per. s nem. O. O. Andreeva. - M. : Stroizdat, 1994. pp 94. – Perevod izdania.: Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. - ISBN 5-274-01208-6.

AISC. (2003). Design Guide for Serviceability Design Considerations for Steel Buildings, Second Edition. American Institute of Steel Construction, Inc. Chicago, IL.

9. Choi S-K. Reliability-based Structural Design / S-K. Choi, V. R. Grandhi, R. A. Canfield // Springer-Verlag. – London Limited, 2010. – 306 p.

10. Crisinel, M, & Marimon, F (2004). A new simplified method for the design of composite slabs. Journal of Constructional Steel Research, 60. – pp. 481–491.

11. EN 1990:2002 Eurocode: Basis of structural design. – Brussels: CEN, 2001. – 89 p.

12. Eurocode 4. Common Unified Rules for Composite Steel and Concrete Structures European Committee for Standardization. (CEN) ENV. 1994 – 1-1:1992. – 180 p.

13. ISO 2394, 1998. General principles on reliability for structures. – 2nd edn. – Geneve, Switzerland: ISO – 73 p.

14. Semko V. Complex experimental investigation into light steel and steel-concrete composite structures made of Z-shaped sections under compound stress / V. Semko, O. Voskobiinyk, D. Prokhorenko, A. Skyba, K. Shumeiko // Metal constructions. – 2014. – Vol. 20. – №1. – P. 65–76.

[http://donnasa.org/publish\\_house/journals/mk/2014-1/06\\_semko\\_voskobiinyk\\_skyba\\_shumeiko\\_prokhorenko.pdf](http://donnasa.org/publish_house/journals/mk/2014-1/06_semko_voskobiinyk_skyba_shumeiko_prokhorenko.pdf)

Статья поступила в редколлегию 07.04.2015