

ВПЛИВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ПІДСИЛЕНИХ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Олексій ПОСТЕРНАК¹, Михайло ПОСТЕРНАК²

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹ posternak.om@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5646-6788>

² posternak.mm@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3894-1386>

Анотація. Будь-яка розрахункова модель, будучи певним чим спрощенням реального об'єкта, не враховує деякі фактори, що і призводить до неточності результатів моделювання. Похибки можуть виникати і накопичуватися на всіх етапах моделювання, їх важко передбачити в рамках застосовуваних моделей. Неповна адекватність моделей реальному об'єкту спричинює випадковий характер неточності розрахунку.

Причини неточності методів розрахунку будівельних конструкцій різноманітні. Реальну конструкцію при розрахунку замінюють системою стержнів, пластин або об'ємних елементів, надають матеріалу конструкцій ідеалізовані властивості. Ці дії можна назвати фізичним моделюванням. Потім записують систему рівнянь внутрішніх напружень, деформацій, отримані рівняння і залежності часто спрощують. Такий етап можна назвати математичним моделюванням. Сукупність фізичної і математичної моделей конструкції називають розрахунковою моделлю споруди. [9]

Неточність розрахунку може призвести до недостатнього рівня надійності конструкцій, що в свою чергу, до значних матеріальних і людських втрат. Уточнений розрахунок дозволяє зменшити такі втрати і реалізувати приховані резерви будівництва. Зауважимо, що при проектуванні конкретної споруди доводиться використовувати різні методи розрахунку, які, можливо, мають істотну неточність; необхідна також інформація про різні фактори будівництва. І часто важко визначити, які розрахунки слід уточнити в першу чергу, а також який необхідний рівень вихідної інформації. Невизначеність розрахункової моделі може бути оцінена в результаті



Олексій ПОСТЕРНАК
асистент кафедри
залізобетонних та кам'яних
конструкцій



Михайло ПОСТЕРНАК
доцент кафедри залізобетонних
та кам'яних конструкцій

випробувань або шляхом порівняння результатів розрахунку наближеної та більш точної моделі.

Ця невизначеність враховується введенням коефіцієнта надійності моделі γ_d , який враховує невизначеність розрахункової схеми та інші аналогічні обставини (наприклад, чутливість конструкції до локальних руйнувань, початкові недосконалості або підвищену швидкість зношування) та приймається як множник до розрахункового значення навантаження.

Коефіцієнт надійності моделі може бути розділений на два множники, які відображають невизначеність розрахункової моделі щодо навантажувальних ефектів γ_{sd} та несучої здатності γ_{rd} .

Коефіцієнт γ_d (або γ_{sd} і γ_{rd}) відображає фактори, які для спрощення розрахунку, передбаченого нормами, не враховуються прямим шляхом (врахування повзучості і впливу піддатливості з'єднань, пластичних властивостей матеріалу тощо). Крім того, ці коефіцієнти можуть враховувати фактори, які взагалі не розглядаються розрахунковою моделлю (агресивність середовища, вплив корозії тощо).

Ключові слова. Розрахункова модель; підсилення залізобетонних елементів; згинальні елементи; невизначеність моделі.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для перевірки запропонованих методик розрахунку несучої здатності нормальних перерізів підсилених залізобетонних згинальних елементів виконують порівняння теоретичних даних з експериментальними випробуваннями різних дослідників. Зведена таблиця 1 містить повний об'єм геометричних і міцнісних характеристик експериментальних зразків залізобетонних балок [3, 4, 5, 6,7].

Для аналізу експериментальних досліджень різних авторів підбір дослідних зразків виконували за умови подібності геометричних розмірів балок підсилення. Параметри, такі як основне армування, армування підсилення, висота підсилення, міцнісні та деформативні характеристики основного бетону і елементів підсилення відрізняються в допустимих межах для дослідження надійності.

Також присутні деякі відмінності в способі виготовлення дослідних зразків та технології підсилення. Наведено нижче загальні положення та зміст наявних експериментальних досліджень.

Кожна серія зразків складалася з двох або трьох балок. Усі випробування проводили за схемою однопролітної вільно опертої балки. Короткочасне навантаження прикладалось у третинах прольоту елементу до руйнування. Навантаження дослідних зразків виконували ступінчасто. Ступені навантаження прийняті рівними 0,1 від руйнуючого. На стадіях появи тріщин ступені навантаження зменшували до 0,05 від руйнуючого. Між ступенями навантажень робили витримку у 10...15 хв. для зняття відліків по приладам і стабілізації деформації. Після досягнення величини навантаження 0,8 від руйнуючого механічні прилади з балок знімали, а зразки доводили до руйнування.

Використовували вимірювальні прилади: механічні індикатори ціною поділки

0,01 мм, тензометричні датчики та компаратори з базою 200 мм - на боковій грані балки та з базою 100 мм – на розтягнутому стержні. Фізико-механічні характеристики основного бетону, бетону підсилення та зразків арматури були визначені після випробувань зразків в кількості від 6...12 шт.

Розглянутий в попередніх дослідженнях імовірнісний розрахунок дозволяє визначити коефіцієнтів надійності розрахункової моделі γ_{Rd} . в результаті використання експериментальних випробувань та порівняння їх з результатами розрахунку. Це дозволить описати різні рахункові моделі підсилених згинальних залізобетонних елементів на основі імовірнісного підходу, а також дає можливість забезпечити нормативний рівень надійності підсилених елементами різними способами. Треба зазначити, що не точність і невизначеність розрахункові моделі несе також мінливий характер, тому розрахункове значення визначити через статистичну вибірку та певним рівням забезпеченості. Наприклад в дослідження [10], де визначалось надійність методик розрахунку залізобетонних балок на поперечний зріз, коефіцієнт надійності відповідав логнормальному закону розподілу, а розрахункове значення визначають за формулою:

$$\gamma_{Rd} = \frac{1}{\mu \cdot e^{-\alpha_R \beta v}}, \quad (1)$$

де μ - середнє значення,
 v - коефіцієнт варіації,
 β - необхідний індекс безпеки

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Всі дослідні зразки авторів [3, 4, 5] являють собою залізобетонні балки прямокутного перерізу, а зразки авторів [6, 7] – таврового перерізу, армовані двома каркасами з одиночною арматурою діаметром 10 мм класу арматури А400С (А-III) [3], Ø18 А400С (А-III) [4,6,7], Ø12 та Ø20 А400С(А-III) [5]. Поперечне армування в усіх серій зразків було достатнє для запобігання руйнування за похилими перерізами. Підсиленні балки авторів [3,4,7] мали насічки на

верхній поверхні бетону основної конструкції для забезпечення кращого зчеплення з елементом підсилення. Дослідні зразки автора [4] при виготовленні були залишені спеціальні випуски поперечної арматури. В процесі навантаження зразків руйнування контактного шва не відбувалось. Дослідження всіх авторів проведені за єдиною методикою на дослідних зразках балок різних серій, в кожній з яких використаний різний матеріал підсилення. Балки: Серію БС2 автора [3] підсилювали шаром сталевібробетону без арматури підсилення; БПЗ – шаром полімербетону; БПА4 – шаром полімербетону з введенням додаткової арматури; БТ5 – шаром дрібнозернистого бетону з введенням додаткової арматури. Балки серії Б-5 автора [4]: підсилювали шаром дрібнозернистого бетону без арматури підсилення. Балки автора [5] серії Б12ДУ та Б20ДУ підсилювали шаром полімербетону з введенням додаткової арматури.

Загальна кількість випробувальних зразків різних авторів і серій складала 29 шт. Показники результати випробувань матеріалів наведені в табл.1.

Дослідження коефіцієнта невизначеності різних розрахункових моделей та методик.

Отримані експериментальні дані використані для визначення теоретичних значень несучої здатності підсилених елементів згідно методів, що описані в роботах [1,2]. Також визначають статичні характеристики розрахунку за методикою Монте-Карло, використовуючи розроблене програмне забезпечення BeamCalcReliability. Із попередніх досліджень [1,2] видно, що надійність підсилених залізобетонних елементів нижче ніж мінімальне рекомендоване нормативне значення, тому пропонується забезпечити необхідний рівень безпеки за рахунок збільшення резерву міцності елемента за допомогою розрахункового коефіцієнта невизначеності. Для цього пропонується наступна формула:

$$\gamma_{Rd} = \frac{(\gamma_n M_u^{Exp} - M_u^{Th}) \beta_i^{ex} + M_u^{Th} \beta_i}{\gamma_n M_u^{Exp} \beta_i}, \quad (2)$$

- де γ_{Rd} – коефіцієнт невизначеності розрахункової моделі,
 γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням,
 M_u^{Exp} – експериментальне значення руйнуючого згинального моменту,
 M_u^{Th} – теоретичне значення руйнуючого згинального моменту,
 β_i^{ex} – необхідне нормативне значення дальності відмови,
 β_i – фактична дальність відмови.

В таблиці 2 наведені дослідження підсилених залізобетонних балок різних авторів, теоретичні значення несучої здатності по нормальним перерізам та середньоквадратичні відхилення при розрахунку за методом граничних зусиль та деформаційною методикою.

Треба зазначити, що теоретична несуча здатність серії зразків Б20ДУ автора [5] менше ніж експериментальна. Тобто запропоновані методики недоцільні для даного випадку. Причиною цього може бути те, що досліджувані балки мають високий відсоток армування, і дані перерізи відносять до перерармованих ($x > x_R$). Також ці зразки були підсилені високоміцним полімер бетоном, діаграма деформування якого не в повній мірі відповідає ідеалізованим діаграмам стану, що використовується в розрахунку. Враховуючи ці особливості можна зробити висновок, що використання методик має певні обмеження. На рис. 1. Зображені діаграми середнього значення коефіцієнтів невизначеності моделі γ_{Rd} та значення мінливості коефіцієнтів невизначеності моделі.

Табл. 1. Зміст експериментальних досліджень підсилених залізобетонних згинальних елементів в стиснутій зоні

Table 1. Contents of experimental studies of strengthened reinforced concrete bending elements in the compressed zone.

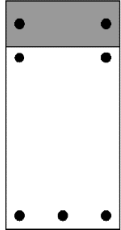
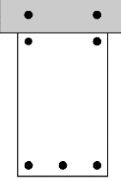
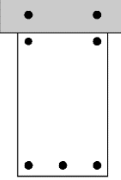
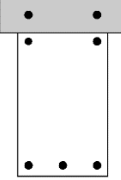
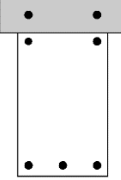
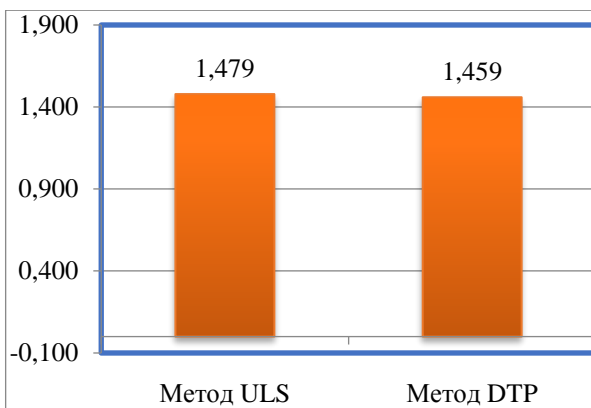
Автор досліджень	№п/п	Шифр серії	Схема армування поперечного перерізу	Розміри зразка			Висота підсилення, h_{add} , мм	Площа робочої поздовжньої арматури, мм ²			Міцність та деформативність матеріалів				
				Висота, h , мм	Ширина, b , мм	Робочий проліт, l_0 , мм		Основне армування	Додаткове	Бетон		Арматура			
										Основ-	Підси-	Основ-	Підси-		
				A_s , мм ²	A'_s , мм ²	A'_{add} , мм ²		f_c	f_c^{add}	f_y^{add}	f_y^{add}				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Задорожнікова І.В. [3]	1	БС2		200	120	1800	30	157	14	-	23,4	24,4	542 (390)	-	
	2									-				-	
	3	БПЗ								25,1		-		19,3	-
	4											-			-
	5	БПА4								25,1		101		510	
	6	БТ5								19,3		101			
	7														
	8														
Альс-хайджи	9	Б-5		200	100	1700	50	509	101	101	18,7	14,3	429 (429)	429	
	10														
	11														
	12														
Касабех [5]	13	Б12Д		200	125	2100	25	226	57	-	18,5	97	429 (252)	-	
	14	У								-					
	15	Б20Д								-					
	16	У								-					
Єрьюменко О.Ю. [6]	17	БУМ2		200	100 (180)	1800	40	509	57	57	8,93	21,8	480 (298)	298	
	18														-
	19	БУФ										25,7			
	20														-
	21	БУП										63,1			
	22														-
	23														-
	24	-													
25	-														
Валовой М.О. [7]	26	БКПТ		220	120 (210)	1800	45	509	101	25	21	22,8	492 (535)	580	
	27														-
	28	БКПІ													-
	29														-

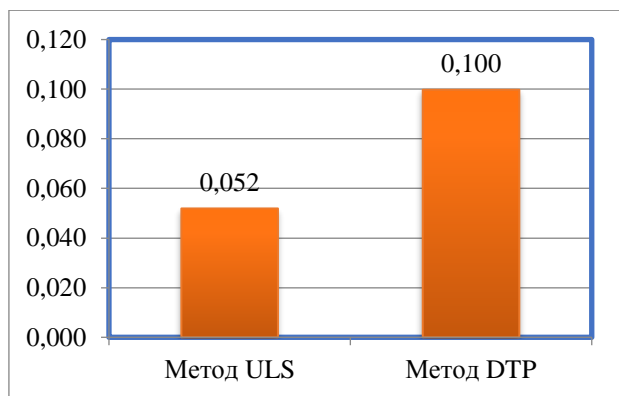
Табл. 2. Експериментальні та теоретичні значення несучої здатності підсилених залізобетонних згинальних елементів в стиснутій зоні шаром залізобетону, фібробетону та полімербетону.

Table 2. Experimental and theoretical values of bearing capacity of strengthened bending reinforced concrete elements in the compressed zone with a layer of reinforced concrete, fiber concrete and polymer concrete.

Автор досліджень	Шифр серії	Експериментальні значення руйнуючого згинального моменту M_u , кНм	Теоретична несуча здатність підсилених залізобетонних елементів за різними методиками						Різниця у відсотках методах розрахунку при розрахункових значеннях, %
			метод граничних зусиль			деформаційна методика			
			M_u , кНм			M_u , кНм			
			при середніх значеннях	при розрахункових значеннях	Середнє квадратичне відхилення	при середніх значеннях	при розрахункових значеннях	Середнє квадратичне відхилення	
Задорожнікова І.В. [3]	БС2	18.3	13.14	9.55	3.043	16.31	12.65	2.396	24,51
	БП3	18.6	13.19	9.69	3.07	16.37	12.89	2.419	24,83
	БПА4	19.2	14.66	11.81	2.938	16.05	13.05	3.1	9,50
	БТ5	17.4	14.62	11.72	2.937	16.2	12.54	3.047	6,54
Альсухайджи [4]	Б-5	39.9	37.27	30.79	6.961	38.82	31.11	6.928	1,03
Касабех [5]	Б12ДУ	22.64	15.26	12.87	2.799	19.56	16.44	2.844	21,72
	Б20ДУ	37.73	41.19	36.3	8.034	46.21	37.41	8.681	2,97
Єрмоєнко О.Ю. [6]	БУМ2	30	31	21.97	5.918	31.48	22.94	5.467	4,23
	БУФ	33.6	27.26	23.96	5.48	33.04	24.58	5.654	2,52
	БУП	37.2	39.93	27.42	7.363	40.59	21.79	5.832	-25,84
Валовой М.О. [7]	БКПТ	53.2	46.72	37.74	12.204	54.14	37.7	8.986	-0,11



а



б

Рис.1. Результати розрахунків:

а – середнє значення коефіцієнтів невизначеності моделі γ_{Rd} ;

б – Значення мінливості коефіцієнтів невизначеності моделі γ_{Rd} .

Fig.1. Calculation results:

a - the average value of the uncertainties of the model γ_{Rd} ;

b - The value of the variability of the uncertainty coefficients of the model γ_{Rd}

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Провівши аналіз досліджень, отримали наступні результати:

1. Середнє значення коефіцієнтів невідзначеності моделі за деформаційною теорією за наявними експериментальними даними становить 1,479, а за методом граничних зусиль – в межах 1,459.

2. Застосування γ_{rd} – коефіцієнта невідзначеності розрахункової моделі, дозволяє зменшити похибки і реалізувати приховані резерви.

3. Розрахунок надійності підсилених елементів за деформаційною теорією є більш пріоритетним при проектуванні.

4. Значення несучої здатності підсилених залізо-бетонних елементів за різними методиками методом граничних зусиль та деформаційною методикою потребує врахування методу підсилення

ЛІТЕРАТУРА

1. Журавський О.Д., Постернак М.М., Постернак О.М. Ефективність та надійність підсилених залізобетонних балок. / *Нові технології в будівництві Наук.-техн. журнал К., НДІБВ, Вип. 31, 2016, с.33-37*
2. Постернак М.М., Постернак О.М. Рациональний вибір підсилення залізобетонних балок з врахуванням надійності. / *Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник.К., КНУБА, -Вип. 61. 2016р. с.450-455*
3. Задорожнікова І.В. Підсилення стиснутої зони сучасними матеріалами для відновлення експлуатаційних якостей залізобетонних конструкцій: / І. В. Задорожнікова; // Монографія - Луц. нац. техн. ун-т. - Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2010. - 138 с.
4. Салех А.К., Мухамед Х., Регии Т, Мурашко Л.А. Некоторые результаты исследований железобетонных балок с физически неоднородной скатой зоной бетона // *Тезисы докладов 53-й научнопрактической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. - К. КИСИ, 1992. – С. 77-78.*
5. Касасбех А. Прочность и жесткость железобетонных изгибаемых элементов, усиленных полимербетоном / *Касасбех Абдельмажид, Мурашко Л.А. // Монография. – К.: КГТУСА, 1998. – 60 с.*
6. Валовой О.І., Єрмоменко О.Ю. Міцнісні та деформативні характеристики залізобетонних балок, підсилених ефективними матеріалами // *Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг, 2005. - Вип..7. - С.178 - 182.*
7. Валовой М.О. Вплив повторних навантажень на міцність, деформативність та тріщинотійкість підсилених залізобетонних балок із бетонів на відходах збагачення залізних руд / М.О. Валовой // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Вип. 18. – Рівне : НУВГП, 2009. – С. 7–13*
8. Валовой О.І., Валовой М.О.,Єрмоменко О.Ю. Ймовірнісний підхід в оцінці надійності будівельних конструкцій./*Гірничий вісник: зб.наук. пр./ДВНЗ «Криворізький національний університет» - Кривий ріг,2013 с. 113-115.*
9. Усаковський С.Б. Прикладные задачи теории надежности сооружений.О новой парадигме теории расчета сооружений: / *монография. –К.: КНУСА, 2014. – 56 с.*
10. Nadolski V. Model uncertainties in resistance of steel members./ *Nadolski V., Sykora M // Safety and Reliability of Complex Engineered Systems /Zürich – 2015 – p. 4189-4192.*
11. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд, // - Київ, "Укрархбудінформ" 2017. – 36 с.
12. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – *Мінрегіонбуд України. Київ, 2011. 71с.*
13. ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування– *Мінрегіонбуд України. Київ, 2011. 166с.*
14. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010 Еврокод 2 Проектування залізобетонних конструкцій Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд. // - Київ, "Укрархбудінформ" 2012. – 312 с.
15. ДСТУ Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. // - Київ, "Укрархбудінформ" 2017. – 68 с.
16. Колякова В. Про вимоги щодо статей, які публікуються у збірнику наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика» // *Зб. наук праць Будівельні конструкції. Теорія і практика..- Київ: вип.6,2020.-С. 114-118.*

REFERENCES

1. **Zhuravskiy O.D., Posternak M.M., Posternak O.M.** Efektyvnist ta nadiinist pidsylenykh zalizobetonnykh balok. / *Novi tekhnolohii v budivnytstvi Nauk.-tekh. zhurnal K., NDIBV, Vyp. 31, 2016, s.33-37*
2. **Posternak M.M., Posternak O.M.** Ratsionalnyi vybir pidsylennia zalizobetonnykh balok z vrakhuvanniam nadiinosti. / *Misto-buduvannia ta terytorialne planuvannia: Nauk.-tekh. zbirnyk.K., KNUBA, -Vyp. 61. 2016r. s.450-455*
3. **Zadorozhnikova I.V.** Pidsylennia stysnutoi zony suchasnymi materialamy dlia vidnovlennia ekspluatatsiinykh yakosti zalizobetonnykh konstruksii: / *I. V. Zadorozhniko-va; // Monohrafiia - Luts. nats. tekhn. un-t. - Lutsk : RVV LNTU, 2010. - 138 s.*
4. **Salekh Aly Kaid, Mukhamed Khail, Rehy Tuloj, Murashko L.A.** Nekotorye rezultaty yssledovanyi zhelezobetonnykh balok s fizychesky neodnorodnoi skatoi zonoj betona // *Tezysy dokladov 53-y nauchno-praktycheskoi konferentsyy professorsko-prepodavatelskoho sostava, aspyrantov y studentov. - K.: KYSY, 1992. - S. 77-78.*
5. **Kasasbekh Abdelmazhyd.** Prochnost y zheshtkost zhelezobetonnykh yzghybaemykh elementov, usylenykh polymerbetonom / *Kasas-bekh Abdelmazhyd, Murashko L.A. // Monoh-rafiya. - K.: KHTUSA, 1998. - 60 s.*
6. **Valovoi O.I., Yeromenko O.Iu.** Mitsnisni ta deformatyvni kharakterystyky zalizobetonnykh balok, pidsylenykh efektyvnymy materialamy // *Visnyk Kryvorizkoho tekhnichnoho universytetu. Zbirnyk naukovykh prats. - Kryvyi Rih, 2005. - Vyp..7. - S.178 - 182.*
7. **Valovoi M.O.** Vplyv povtornykh navan-tazhen na mitsnist, deformatyvnist ta trishchynostiikist pidsylenykh zalizobetonnykh balok iz betoniv na vidkhodakh zbahachennia zaliznykh rud / *M.O. Valovoi // Resursoeko-nomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy : zb. nauk. pr. - Vyp. 18. - Rivne : NUVHP, 2009. - S. 7-13*
8. **Valovoi O.I., Valovoi M.O., Yeromenko O.Iu.** Ymovirnisnyi pidkhid v otsyntsi nadiinosti budivelnnykh konstruksii. / *Hirnychiy visnyk: zb.nauk. pr./DVNZ «Kryvorizkyi natsionalnyi universytet» - Kryvyi rih, 2013 s. 113-115.*
9. **Usakovskiy S.B.** Prykladnye zadachy teoryi nadezhnomy sooruzheniy. O novoi paradyhmy teoryi rascheta sooruzheniy: / *monohrafiya. -K.: KNUSA, 2014. - 56 s.*
10. **V.Nadolski .** Model uncertainties in resistance of stell members. / *Nadolski V., Sykora M // Safety and Reliability of Complex Engineered Systems /Zürich – 2015 – p. 4189-4192.*
11. **DBN V.1.2-14:2018.** Zahalni pryntsyypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud, // - Kyiv, "Ukrarkhbudinform" 2017. – 36 s.
12. **DBN V.2.6-98:2009.** Konstruksii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. – *Minrehionbud Ukrainy. Kyiv, 2011. 71s.*
13. **DSTU B.V.2.6-156:2010** Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhkoho betonu. Pravylya proektuvannia– *Minrehionbud Ukrainy. Kyiv, 2011. 166s.*
14. **DSTU-N B EN 1992-1-1:2010.** Evrokod 2 Proektuvannia zalizobetonnykh konstruksii Chastyna 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud. // *Kyiv, "Ukrarkhbudinform" 2012. – 312*
15. **DSTU B V.3.1-2:2016** Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhualnykh budivelnnykh konstruksii ta osnov budivel i sporu. // - *Kyiv, "Ukrarkhbudinform" 2017. – 68 s.*
16. **V. Koliakova** Pro vymohy shchodo statei, yaki publikuiutsia u zbirnyku naukovykh prats «Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka» // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka. Zb. nauk prats.- Kyiv: vyp.6,2020.-S. 114-118.*

THE INFLUENCE OF THE NON-DETERMINISTIC DESIGN MODEL OF THE REINFORCED BENDING ELEMENTS

*Oleksiy POSTERNAK,
Mykhailo POSTERNAK*

Summary. Any design model, being a certain simplification of the real object, does not take into account some factors, which leads to inaccuracy of simulation results. Errors can arise and accumulate at all stages of modeling, it is difficult to predict them in the framework of the models used. Incomplete adequacy of models to the real object entails random nature of calculation inaccuracy.

The reasons for the inaccuracy of the calculation methods of building structures are various. The real structure is replaced by a system of rods, plates or volumetric elements, the material of structures is given idealized properties. These actions can be called physical modeling. Then write down a system of equations of internal stresses, strains, the resulting equations and dependencies are often simplified.

This stage can be called mathematical modeling. The combination of physical and mathematical models of the structure is called a design model of the structure. [9]

Inaccurate calculation can lead to an insufficient level of structural reliability, which in turn leads to significant material and human losses. A corrected calculation makes it possible to reduce such losses and to realize the hidden reserves of construction. Note that in the design of a particular structure have to use different methods of calculation, which may have a significant inaccuracy; information about the various factors of construction is also necessary. And it is often difficult to determine which calculations should be specified first, as well as what level of background information is needed.

The uncertainty of the calculation model can be estimated by testing or comparing the calculation results of the approximate model and the more accurate model. This uncertainty is taken into account by introducing a model reliability factor γ_d , which takes into account the uncertainty of the design scheme and other similar circumstances (e.g. sensi-

tivity of the structure to local failure, initial imperfections or increased rate of wear) and is taken as a multiplier to the calculated load value.

The model reliability coefficient can be divided into two multipliers that reflect the uncertainty of the design model regarding the load effects γ_{sd} and the load carrying capacity γ_{Rd} .

The coefficient γ_d (or γ_{sd} and γ_{Rd}) reflects factors which are not taken into account directly in order to simplify the calculation provided for by the standards (consideration of creep and the influence of the joints' yielding, plastic properties of the material, etc.). In addition, these coefficients may take into account factors that are not considered by the calculation model at all (aggressiveness of the environment, the effect of corrosion, etc.).

Keywords . Calculation model, reinforcement of reinforced concrete elements, bending elements, model uncertainty.

Стаття надійшла до редакції 13.05.2022