

УДК 624.016

**ПІДБІР ОПТИМАЛЬНОГО АРМУВАННЯ НОРМАЛЬНОГО ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК НА ОСНОВІ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ**

К-т техн. наук Т.А. Галінська, студент Д.М. Овсій

**ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ НОРМАЛЬНОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТАЛЕБЕТОННЫХ БАЛОК НА ОСНОВЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

К-т техн. наук Т.А. Галинская, студент Д.Н. Овсий

**SELECTION OF THE OPTIMAL THE REINFORCEMENT NORMAL RECTANGULAR SECTION COMPOSITE (STEEL-CONCRETE) BEAMS ON THE BASIS OF DEFORMATION MODEL**

Cand. of techn. sciences Т.А. Galinska, student D.N. Ovsiiy

*Запропоновано методику розрахунку оптимальної площі конструктивного приведенного сталю двотаврового профілю (КПСДП), яким армується нормальний прямокутний переріз сталобетонних балок (СББ), яка базується на основних положеннях деформаційної моделі.*

***Ключові слова:** оптимальне армування; нормальний переріз; сталобетонні балки; деформаційна модель.*

*Предложено методику расчёта оптимальной площади конструктивного приведенного сталю двутаврового профиля (КПСДП), которым армируется нормальное прямоугольное сечение сталобетонных балок (СББ), базирующейся на основных положениях деформационной модели.*

***Ключевые слова:** оптимальное армирование; нормальное сечение; сталобетонные балки; деформационная модель.*

*This article describes a method of stepwise calculating the optimum area of reduced constructive steel I-section, which is one of the supporting components of the normal rectangular section the composite steel-concrete beams, with subsequent verification of their ability to carry the load. In the first step of design carried out calculations the area and selection of a rational section I-component the normal section of composite (steel-concrete) beams, depending on its height and strength characteristics of materials. In the second step using the proposed dependencies is determined stress-strain state of a received normal beam section that will match given boundary relative deformation at the time of destruction. In the third step cross-section of the beam, which has been previously taken, verified for strength depending on the its stress-strain state at the time of destruction. The proposed method makes it possible to improve separate provisions of the rules for the design and calculation of composite beams, which are included in section 6 of Eurocode 4 and directed by solving practical engineering tasks.*

***Keywords:** optimal reinforcement; normal section; composite (steel-concrete) beams; deformation model*

**Вступ.** Оптимальне використання матеріалів є одним з найважливіших питань у сучасному будівництві. При проектуванні сталобетонних балок (СББ) важливим етапом розрахунку є підбір оптимальної площі конструктивного приведеного сталюого двотаврового профілю (КПСДП), який є їх жорстким армуванням. В той же час нормативні і рекомендовані документи по проектуванню сталезалізобетонних балок [1, 2] мають за мету виконання перевірних розрахунків для заданого перерізу відповідно до встановлених вимог. При цьому рекомендації щодо найбільш ефективному підбору перерізу в цих документах практично відсутні. Тому виникла необхідність у розробці методу розрахунку оптимальної площі армування нормального прямокутного перерізу СББ.

### **Постановка проблеми та її зв'язок із науковими та практичними завданнями.**

Діючі на сьогодні положення розрахунку сталезалізобетонних конструкцій (елементів), що згинаються, [1, 3, 4] базуються на новій концепції, яка впроваджує в практику метод граничних деформацій. В же час, запропоновані в нормах [1, 3, 4] розрахункові положення не повністю ототожнюють залежність несучої здатності сталезалізобетонної конструкції (елемента) з її напружено-деформованим станом (НДС) в момент руйнування, що призводить до переармування її окремих перерізів, тобто до використання не в повному обсязі міцностних властивостей металевої її складової. Тому необхідно удосконалити розрахункові положення чинних норм [1, 3, 4], які б дозволили створити загальну методика розрахунку і проектування сталезалізобетонних конструкцій (елементів), що згинаються, залежно від НДС їх перерізів в момент руйнування.

### **Аналіз досліджень і публікацій.**

Провідні вітчизняні науковці Ю.Г. Аметов, А.М. Бамбура, О.В. Семко, Ю.С. Слюсаренко, Л.І. Стороженко, В.Г. Тарасюк, які є співавторами розробки нині діючих нормативних документів [1], в своїх роботах [5, 6] відзначають необхідність подальшої роботи над редакцією ДБН «Сталезалізобетонні конструкції» [1]. Одним із напрямків удосконалення норм [1] є розробка конкретних практичних методів

розрахунку і проектування сталезалізобетонних конструкцій з урахуванням їх основних положень та окремих положень «Єврокоду-4» [3], що діє в країнах ЄС.

За останні роки в роботах вчених Бабича Є.М. [7], Барашикова А.Я. [8], Бамбури А.М. [9], Митрофанова В.П. [10], Павлікова А.М. [11], Рогового С.І. [12] методи розрахунку залізобетонних конструкцій (елементів) зазнали подальшого розвитку на основі деформаційного моделі, яка враховує реальні діаграми роботи бетону і арматури. В той же час методи розрахунку сталезалізобетонних конструкцій (елементів) за рівнем розвитку значно відстають від методів розрахунку залізобетонних, які впроваджують у практику розрахунку з використанням деформаційної моделі роботи бетону. Для підвищення ефективності та більш широкого розповсюдження сталезалізобетонних конструкцій (елементів) необхідне удосконалення теорії і методів їх розрахунку. Вище викладене визначило актуальність теми дослідження, її важливе народногосподарське значення.

**Мета дослідження** полягає в розробці методу розрахунку оптимальної площі конструктивного приведеного сталюого двотаврового профілю (КПСДП), яким армується нормальний прямокутний переріз сталобетонних балок (СББ).

### **Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.**

Методика підбору оптимального перерізу КПСДП ( $A_a$ ) (жорсткого армування) нормального прямокутного перерізу СББ (див. рис.1), що згинається, базується на основних положеннях, які викладені в роботі [13]. Оптимальну площу перерізу КПСДП ( $A_a$ ), яким армується нормальний прямокутний переріз СББ пропонується визначати в такій послідовності:

- визначаємо площу перерізу КПСДП ( $A_a$ ) за наступними залежностями, задавшись вихідними величинами: розмірами перерізу балки  $h$ ,  $b$  і  $C_z$ ; міцностними характеристиками бетону і сталей:  $E_c$ ,  $E_a$ ,  $\epsilon_{cu}$  і  $\epsilon_{au}$ ; співвідношенням величин висоти захисного шару бетону ( $C_z$ ) до загальної висоти СББ ( $h$ )  $\Delta_c$ ;

- співвідношенням висот перерізів КПСДП і балки:  $\Delta_h = h_a/h$ :

$$A_a = A_c \times \mu_{opt}; \quad (1)$$

$$\mu_{opt} = (1 - \Delta_\epsilon) / \{ \alpha_a \times [2 - (\Delta_h + 2\Delta_c) \times (1 + \Delta_\epsilon)] \} \quad (2)$$

де  $\Delta_\epsilon = \epsilon_{cu} / \epsilon_{au}$  – коефіцієнт співвідношення величин граничних відносних деформацій відповідно бетону ( $\epsilon_{cu}$ ) і КПСДП ( $\epsilon_{au}$ );  $\Delta_h = h_a/h$  – коефіцієнт співвідношення величин висоти КПСДП ( $h_a$ ) до загальної висоти СББ ( $h$ );  $\Delta_c = C_z/h$  – коефіцієнт співвідношення

величини висоти захисного шару бетону ( $C_z$ ) до загальної висоти СББ ( $h$ );  $\mu_{opt} = A_a/A_c$  – оптимальний коефіцієнт армування конструктивним приведеним сталевим двотавровим профілем нормального перерізу СББ;  $A_c = h \times b$  – площа нормального перерізу СББ;  $\alpha_a$  – коефіцієнт співвідношення модулів пружності конструктивної сталі ( $E_a$ ) та бетону ( $E_c$ ), який визначається за формулою:

$$\alpha_a = E_a / E_c, \quad (3)$$

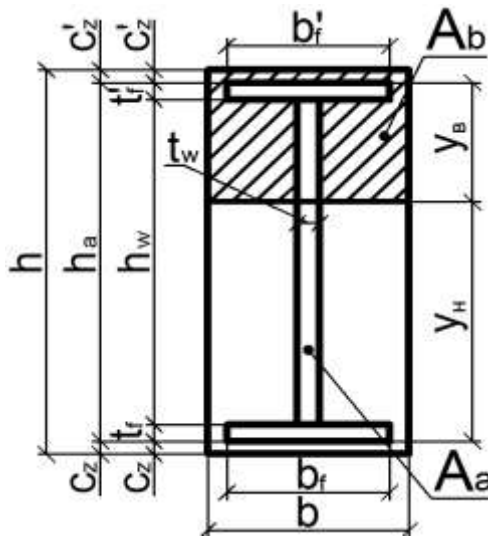


Рис.1. Загальний прямокутний приведений переріз СББ

В результаті розрахунків були отримані числові залежності між безрозмірними коефіцієнтами співвідношень  $\Delta_\epsilon$ ,  $\Delta_h$ ,  $\Delta_c$  і добутком  $\alpha_a \mu_{opt}$ . Так значення добутку  $\alpha_a \mu_{opt}$  залежно від величин коефіцієнтів співвідношень  $\Delta_h$  та  $\Delta_\epsilon$  для нормального приведенного прямокутного перерізу СББ при

відсутності захисного шару бетону в його нижній розтягненій зоні, тобто коли  $C_z=0$  і коефіцієнт  $\Delta_c=0$ , приведені в табл. 1. Корегування величини добутку  $\alpha_a \mu_{opt}$  при  $C_z > 0$ ,  $\Delta_c > 0$  залежно від висоти захисного шару бетону  $C_z$  здійснюється за допомогою коефіцієнта  $k_c$ , який приведений в табл. 2:

$$\alpha_a \mu_{opt} (\text{при } \Delta_c > 0) = k_c \cdot \alpha_a \mu_{opt} (\text{при } \Delta_c = 0). \quad (4)$$

визначаємо розміри перерізу конструктивного приведенного сталевго двотаврового профілю (КПСДП):

визначаємо товщину стінки ( $t_w$ ) за формулою або задаємо її величину:

$$t_w = Q / h_a; \quad h_a = \Delta_h \times h; \quad (5)$$

визначаємо значення безрозмірних коефіцієнта розподілення матеріалу (сталі) по двотавровому перерізу ( $m$ ) та коефіцієнта ( $\delta$ ):

$$m = t_w h_a / A_a; \quad \delta = \sqrt{6 / (m \times (3 - 2m))}; \quad (6)$$

визначаємо значення оптимального моменту опору двотаврового перерізу КПСДП ( $W_a^{opt}$ ):

$$W_a^{opt} = A_a / (\delta^2 t_w); \quad (7)$$

приймаємо переріз двотавра із прокатного профілю, враховуючи попереднє прийняте значення висоти перерізу  $h_a$ . При неможливості прийняття перерізу КПСДП із прокатного двотавра визначаємо розміри складеного перерізу КПСДП за залежностями:

$$h_w = 2 t_w h_a^3 / 3 W_a;$$

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

$$h_f = (h_a - h_w) / 2;$$

$$b_f = (A_a - h_w t_w) / h_f \quad (8)$$

$$A_a = 2 \cdot h_f \cdot b_f + h_w \cdot t_w \geq A_a^{omm}; \quad (9)$$

визначивши розміри перерізу КПСДП, перевіряємо умову:

Таблиця 1

Значення добутку  $\alpha_a \mu_{opt}$  при коефіцієнті співвідношення  $\Delta_c=0$  залежно від величин коефіцієнтів співвідношень  $\Delta_h$  та  $\Delta_\varepsilon$

$\Delta_h \backslash \Delta_\varepsilon$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,05	0,501	0,531	0,564	0,601	0,644	0,693	0,751	0,819	0,900	1,00
0,06	0,496	0,526	0,559	0,596	0,639	0,689	0,747	0,816	0,899	1,00
0,07	0,491	0,521	0,554	0,592	0,635	0,685	0,743	0,813	0,897	1,00
0,08	0,486	0,516	0,549	0,587	0,630	0,680	0,740	0,810	0,895	1,00
0,09	0,481	0,511	0,544	0,582	0,625	0,676	0,736	0,807	0,893	1,00
0,10	0,476	0,506	0,539	0,577	0,621	0,672	0,732	0,804	0,891	1,00
0,11	0,471	0,501	0,534	0,572	0,616	0,667	0,728	0,800	0,889	1,00
0,12	0,466	0,495	0,529	0,567	0,611	0,663	0,724	0,797	0,887	1,00
0,13	0,461	0,490	0,524	0,562	0,606	0,658	0,720	0,794	0,885	1,00
0,14	0,456	0,485	0,519	0,557	0,601	0,653	0,715	0,790	0,883	1,00
0,15	0,451	0,480	0,514	0,552	0,596	0,649	0,711	0,787	0,881	1,00
0,16	0,446	0,475	0,508	0,547	0,592	0,644	0,707	0,784	0,879	1,00
0,17	0,441	0,470	0,503	0,542	0,587	0,639	0,703	0,780	0,876	1,00
0,18	0,436	0,465	0,498	0,537	0,582	0,635	0,698	0,777	0,874	1,00
0,19	0,431	0,460	0,493	0,531	0,577	0,630	0,694	0,773	0,872	1,00
0,20	0,426	0,455	0,488	0,526	0,571	0,625	0,690	0,769	0,870	1,00
0,21	0,420	0,449	0,483	0,521	0,566	0,620	0,685	0,766	0,867	1,00
0,22	0,415	0,444	0,477	0,516	0,561	0,615	0,681	0,762	0,865	1,00
0,23	0,410	0,439	0,472	0,511	0,556	0,610	0,676	0,758	0,862	1,00
0,24	0,405	0,434	0,467	0,505	0,551	0,605	0,671	0,754	0,860	1,00
0,25	0,400	0,429	0,462	0,500	0,545	0,600	0,667	0,750	0,857	1,00
0,26	0,395	0,423	0,456	0,495	0,540	0,595	0,662	0,746	0,855	1,00
0,27	0,390	0,418	0,451	0,489	0,535	0,590	0,657	0,742	0,852	1,00
0,28	0,385	0,413	0,446	0,484	0,529	0,584	0,652	0,738	0,849	1,00
0,29	0,379	0,408	0,440	0,478	0,524	0,579	0,647	0,733	0,846	1,00
0,30	0,374	0,402	0,435	0,473	0,519	0,574	0,642	0,729	0,843	1,00

Проводимо перевірку несучої здатності нормального перерізу СББ за залежністю:

$$M_u \geq M, \quad (10)$$

де  $M_u$  – несуча здатність нормального перерізу СББ, яка визначається залежно від його напружено-деформованого стану (НДС) за методикою, яка приведена у статті [13], в наступній послідовності.

На першому етапі розрахунку несучої здатності нормального приведенного прямокутного перерізу СББ перевіряємо умову:

$$\alpha_a \mu \geq k_c \times \alpha_a \mu_{opt}. \quad (11)$$

Якщо умова задовольняється, то тоді НДС нормального прямокутного перерізу СББ відповідає НДС за випадком “в”, а якщо

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

ні – то НДС за випадком “а”, які приведені на рис.2. При умові  $\alpha_a\mu = k_C \times \alpha_{a\mu_{\text{опт}}}$  – НДС перерізу СББ відповідає безпосередньо НДС за випадком “б” (рис. 2).

Таблиця 2.

Значення коефіцієнта  $k_C$ , який корегує значення добутку  $\alpha_a\mu_{\text{опт}}$  залежно від коефіцієнта співвідношення  $\Delta_c$  при коефіцієнтах співвідношень  $\Delta_h$  і  $\Delta_e$

$\Delta_c$	$\Delta_c$	$\Delta_h$									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,05	0,03	1,034	1,036	1,039	1,042	1,045	1,048	1,052	1,057	1,064	1,071
	0,06	1,071	1,076	1,081	1,087	1,093	1,101	1,111	1,122	1,136	1,153
	0,1	1,125	1,133	1,142	1,153	1,166	1,181	1,199	1,221	1,249	1,284
	0,16	1,216	1,231	1,249	1,270	1,295	1,325	1,362	1,408	1,467	1,547
	0,2	1,285	1,307	1,332	1,362	1,398	1,442	1,497	1,568	1,661	1,792
0,1	0,03	1,036	1,039	1,041	1,044	1,048	1,052	1,057	1,063	1,070	1,079
	0,06	1,075	1,080	1,086	1,092	1,100	1,109	1,120	1,134	1,150	1,172
	0,1	1,132	1,141	1,152	1,164	1,179	1,196	1,218	1,244	1,278	1,324
	0,16	1,229	1,246	1,267	1,291	1,321	1,356	1,401	1,458	1,535	1,642
	0,2	1,303	1,328	1,358	1,393	1,436	1,489	1,557	1,647	1,772	1,957
0,15	0,03	1,038	1,041	1,044	1,047	1,051	1,056	1,061	1,068	1,077	1,088
	0,06	1,079	1,085	1,091	1,098	1,107	1,118	1,131	1,146	1,167	1,194
	0,1	1,139	1,149	1,161	1,176	1,192	1,213	1,238	1,271	1,313	1,371
	0,16	1,243	1,262	1,286	1,314	1,348	1,391	1,445	1,517	1,616	1,763
	0,2	1,323	1,351	1,385	1,426	1,477	1,541	1,626	1,742	1,911	2,179
0,2	0,03	1,040	1,043	1,046	1,050	1,054	1,060	1,066	1,074	1,085	1,099
	0,06	1,083	1,089	1,096	1,105	1,115	1,127	1,142	1,161	1,186	1,220
	0,1	1,146	1,158	1,171	1,188	1,207	1,231	1,261	1,300	1,353	1,429
	0,16	1,257	1,279	1,306	1,338	1,378	1,429	1,495	1,585	1,716	1,923
	0,2	1,343	1,375	1,414	1,462	1,522	1,600	1,706	1,857	2,091	2,500
0,25	0,03	1,042	1,045	1,048	1,053	1,058	1,064	1,071	1,081	1,094	1,111
	0,06	1,087	1,094	1,102	1,111	1,122	1,136	1,154	1,176	1,207	1,250
	0,1	1,154	1,167	1,182	1,200	1,222	1,250	1,286	1,333	1,400	1,500
	0,16	1,271	1,296	1,327	1,364	1,410	1,471	1,552	1,667	1,842	2,143
	0,2	1,364	1,400	1,444	1,500	1,571	1,667	1,800	2,000	2,333	3,000
0,3	0,03	1,044	1,047	1,051	1,056	1,061	1,068	1,077	1,088	1,104	1,125
	0,06	1,091	1,098	1,107	1,118	1,131	1,147	1,167	1,194	1,231	1,287
	0,1	1,161	1,176	1,193	1,213	1,239	1,271	1,313	1,371	1,456	1,591
	0,16	1,286	1,314	1,348	1,391	1,445	1,517	1,617	1,765	2,005	2,465
	0,2	1,385	1,426	1,477	1,542	1,627	1,743	1,912	2,182	2,677	3,889

На другому етапі розрахунку визначаємо положення нейтральної вісі по відношенню до КПСДП за умовою:

$$h - Y_B \leq h_a + C_z \quad (12)$$

де величина  $h_a = 2 \times h_f + h_w$ , а величину  $Y_B$  знаходимо за залежністю (13):

$$Y_B = h \times \{ [1 + \alpha_a \mu \times (2 - \Delta_h - 2\Delta_c)] / [2 \times (1 + \alpha_a \mu)] \}. \quad (13)$$

Якщо умова (12) задовольняється, то нейтральна вісь проходить через переріз

КПСДП (випадок 3), якщо ні – то нейтральна вісь проходить вище перерізу КПСДП (випадок 1). При умові  $h - Y_B = h_a + C_z$  нейтральна вісь в нормальному перерізі СББ проходить по верхній грані перерізу КПСДП, тобто має місце випадок 2.

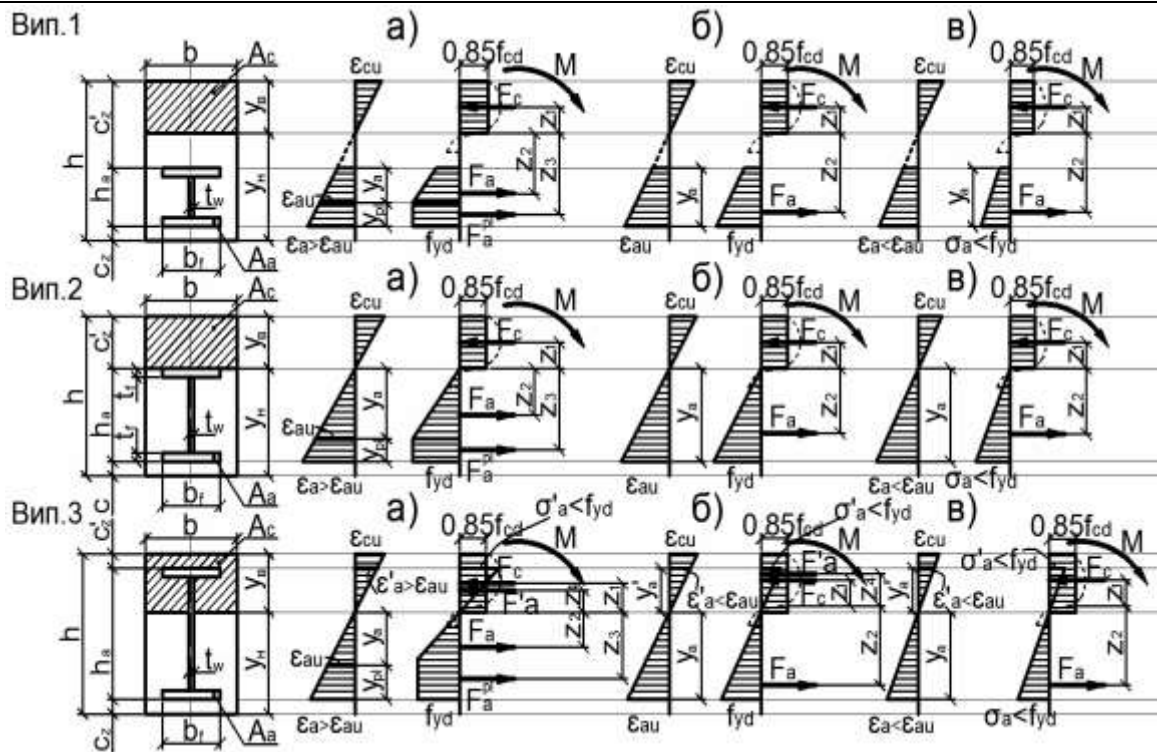


Рис.2 Випадки напружено-деформованого стану прямокутного перерізу СББ залежно від положення нейтральної вісі

На третьому етапі розрахунку складаємо рівняння рівноваги згинальних моментів відповідно визначеного випадку НДС нормального перерізу СББ та перевіряємо за залежністю (10) дотримання умови його міцності:

- у випадках 1а, 2а:
 
$$M_u = F_c \times z_1 + F_a \times z_2 + F_a^{pl} \times z_3 \quad (14)$$

- у випадках 1б, 1в, 2б, 2в:
 
$$M_u = F_c \times z_1 + F_a \times z_2 \quad (15)$$

- у випадку 3а:
 
$$M_u = F_c \times z_1 + F_a \times z_2 + F_a^{pl} \times z_3 + F_a' \times z_4 \quad (16)$$

- у випадках 3б, 3в:
 
$$M_u = F_c \times z_1 + F_a \times z_2 + F_a' \times z_4 \quad (17)$$

де  $F_c$ ;  $F_a'$ ;  $F_a$ ;  $F_a^{pl}$  – сумарні нормальні зусилля в перерізі балок відповідно стиснутої його ділянки бетону чи конструкційного

сталевго профілю та розтягнутої його ділянки конструкційного сталевго профілю, яка працює у пружній і пластичній стадіях;  $z_1$ ;  $z_2$ ;  $z_3$ ;  $z_4$  – відстані по вертикалі від зусиль до нейтральної лінії перерізу (див. рис. 2).

**Висновок та перспективи подальших розробок.** Запропоновано методику розрахунку оптимальної площі конструктивного приведенного сталевго двотаврового профілю (КПСДП), яким армується нормальний прямокутний переріз сталобетонних балок (СББ). Дана методика базується на основі положень деформаційної моделі і дає можливість розв'язувати практичні інженерні задачі при проектуванні оптимальних за міцністю СББ.

Метою подальших досліджень є розробка аналітичних залежностей (рівнянь рівноваги згинальних моментів) розрахунку несучої здатності нормальних прямокутних перерізів СББ, що згинаються, залежно від варіантів його НДС.

#### Список використаних джерел

1. ДБН В.2.6-160:2010. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення: затв. Мінрегіонбудом України від 15.11.2010 № 447 та від 30.12.2010 № 571, чинні з 01.09.2011. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 81 с.

2. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жёсткой арматурой [Текст] / НИИЖБ, ЦНИИпромзданий. – М.: Стройиздат, 1978. – 55 с.
3. EN 1994-1-1:2004. Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, European Committee for Standardisation, Brussels, 2004. – 118 p.
4. ТКП EN 1994-1-1-2009 (02250) Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий // Утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 10 декабря 2009 г. № 404.- Минск: Минстройархитектуры, 2010.- 107 с.
5. Проблеми розробки національного нормативного документа «Сталезалізобетонні конструкції» [Текст] / Ю.Г. Аметов, А.Н Бамбура, О.В. Семко, Ю.С. Слюсаренко, Л.І. Стороженко, В.Г. Тарасюк // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць.– Київ, 2008. - Вип.70. – С.10-14.
6. Стороженко Л.І. Задачі подальшої роботи над нормативним документом “Сталезалізобетонні конструкції” [Текст] / Л.І. Стороженко, О.В. Семко // Будівельні конструкції: міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво) ДНДІБК Мінбуду України.– К.: НДІБК, 2006.- Вип. 65.- С.7-10.
7. Бабич Є.М. Напружено-деформований стан нормальних перерізів залізобетонних балок з урахуванням нелінійності деформування бетону [Текст] / Є.М. Бабич, Ю.О. Крусь, В.Є. Бабич // Вісник РДТУ: Збірник наукових праць.- Рівне: Вид-во РДТУ, 1999.- Вип. 2. - Частина 3.- С. 13-20.
8. Барашиков А.Я. Методика розрахунку залізобетонних конструкцій за деформаційною моделлю згідно з проектом нових норм України [Текст] / А.Я. Барашиков. – Сучасне промислове та цивільне виробництво. – 2005.- Том 1, №1.- С.13-18.
9. Бамбура А.М. Експериментальні основи прикладної деформаційної теорії залізобетону: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди”/ А.М. Бамбура. – Харків, 2006.– 49 с.
10. Митрофанов В.П. Практическое применение деформационной модели с экстремальным критерием прочности железобетонных элементов [Текст]/ В.П. Митрофанов// Коммунальное хозяйство городов: научн.-техн. сборник. – 2004.- Вип. 60.- С.29-48.
11. Павліков А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косо завантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії: Монографія [Текст]/ А.М. Павліков. – Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, 2007.- 259 с.
12. Роговой С.И. Нелинейное деформирование в теории железобетона и расчёт прочности сечений: Монография [Текст]/ С.И. Роговой.- Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка. – 183 с.
13. Кушнір Ю.О. Методичні основи розрахунку несучої здатності нормального прямокутного приведенного перерізу сталобетонних балок на основі розрахункової деформаційної моделі [Текст] / Ю.О.Кушнір, В.Ф. Пенц, М.О. Овсій // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП.- 2012. – Вип. 24. – С. 167-179.

Рецензент д-р техн. наук, професор Д.А.Єрмоленко

Галінська Тетяна Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри Архітектури та міського будівництва Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка Тел.: (05322) 7-93-51. E-mail: galinska@i.ua.

Овсій Дмитро Миколайович, студент будівельного факультету Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка Тел.: (05322) 7-93-51. E-mail: [mr.ovsiy@mail.ru](mailto:mr.ovsiy@mail.ru).

Galinska Tetyana Anatoliivna, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Dept. of Architecture and Urban Development, Poltava National Technical University named in honor of Yuri Kondratyuk, Tel.: (05322) 7-93-51. E-mail: galinska@i.ua.

Ovsiy Dmutro, a student of the Faculty of Building Poltava National Technical University named in honor of Yuri Kondratyuk, Tel.: (05322) 7-93-51. E-mail: [mr.ovsiy@mail.ru](mailto:mr.ovsiy@mail.ru).