

УДК 624.12.5

**ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ВИСОТИ СТИСНУТОЇ ЗОНИ  
СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВИСОТЫ СЖАТОЙ ЗОНЫ  
СТАЛЕФИБРОБЕТОНА**

**INVESTIGATION RELATIVE HEIGHT COMPRESSED ZONE OF FIBRE  
REINFORCED CONCRETE**

**Сунак П.О., к.т.н., доц., Сунак О.П., к.т.н., доц., Шостак А.В. д.т.н., доц.,  
Синий С.В. , к.т.н., доц., (Луцький національний технічний університет)**

**Сунак П.О., к.т.н., доц., Сунак О.П., к.т.н., доц., Шостак А.В. д.т.н., доц.,  
Синий С.В. , к.т.н., доц., (Луцкий национальный технический университет)**

**Sunak P.O., Ph.D. in Engineering, Associate Proffessor, Sunak O.P., Ph.D. in  
Engineering, Associate Professor, Shostak A.V., Doctor of Engineering,  
Associate Proffessor, Siniy S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
(Lutsk National Technical University)**

**Проаналізовано залежності деформацій в арматурі від відносної висоти  
стиснутої зони сталефібробетону і отримано формулу для визначення  
граничної висоти стиснутої зони сталефібробетону, при якій напруження  
в арматурі досягають межі текучості.**

**Проанализировано зависимости деформаций в арматуре от  
относительной высоты сжатой зоны сталефибробетона и получено  
формулу для определения граничной высоты сжатой зоны  
сталефибробетона, при которой напряжения в арматуре достигают  
границы текучести.**

**Analyzed according to strain in the fixture on the relative height of the  
compressed zone of fibre reinforced concrete and returned the decision to  
determine the maximum height of the compressed zone of fibre reinforced  
concrete in which the tension in the fixture reaches the yield point.**

**Ключові слова:**

**Сталефібробетон, бетон, напруження, висота.**

Сталефібробетон, бетон, напруження, висота.  
Fibre reinforced concrete, concrete, tension, height.

**Як відомо, основним недоліком** найпоширенішого будівельного матеріалу – бетону різних видів та модифікацій є його низька міцність на розтяг, і як результат низька тріщиностійкість.

Покращити експлуатаційні властивості бетону можна за рахунок армування бетону хаотично розташованими короткими відрізками сталевго дроту. Отриманий таким чином матеріал називають сталефібробетоном.

Отже, сталефібробетон – це композитний матеріал, що складається з матриці та хаотично розташованих в ній коротких відрізків сталевго дроту – фібр.

Як матрицю найчастіше використовують дрібнозернистий бетон, який у порівнянні з іншими бетонами є більш однорідним матеріалом. Сталеві фібри можуть виготовлятися з маловуглецевого дроту періодичного профілю або гладенького діаметром від 0,3 до 2 мм, сталевї стрічки тощо. Для виготовлення сталефібробетонних конструкцій поряд зі спеціальною фібровою арматурою можна використовувати відпрацьовані канати і троси, відходи від обробки на металорізальних верстатах та інші волокна. Відношення довжини фібри до її діаметра приймають в межах 70...150.

**Ідея про підсилення бетону** рівномірно розподіленими по об'єму сталевими відрізками виникла понад 100 років тому. У 1874 році Д.Берард отримав перший патент в цій області. Першим дослідником властивостей сталефібробетону був російський інженер В.П.Некрасов. На початку ХХ століття він виготовив перші сталефібробетонні конструкції і зробив ряд експериментально-теоретичних висновків. Але ці роботи за деяких обставин не отримали подальшого розвитку. Лише у 70-их роках ХХ століття дослідження Д.П.Ромуальді, Г.Б.Батсона і Д.А.Манделя знову привернули увагу вчених до сталефібробетону, що було поштовхом для нових досліджень.

Сталефібробетон можна віднести до матричних сумішей з нерегульованим хаотичним розподілом сталевих фібр.

Суттєва перевага композитного матеріалу – його висока питома міцність на одиницю маси. При цьому складові матеріалу, як правило, мають нижчі міцнісні і деформативні властивості, ніж кінцевий продукт – композит.

Сталефібробетон, як показують численні дослідження, має ряд переваг над бетоном, а частково і залізобетоном – підвищену міцність на розтяг, вищу тріщиностійкість, більшу витривалість проти ударних та вібраційних

навантажень, підвищену морозостійкість, стійкість на стирання та дію підвищених температур тощо.

Підвищена тріщиностійкість і міцність сталевібробетону на розтяг у порівнянні зі звичайним бетоном дозволяє використовувати його в елементах залізобетонних конструкцій, що працюють на розтяг і згин. Але при значних прольотах і навантаженнях розтягувальні зусилля в конструкціях зростають і дисперсне армування не може повністю забезпечити експлуатаційну міцність конструкції. За таких умов роботи конструкцій доцільно поєднати фіброве та стержньове армування, тобто застосувати комбіноване армування. Такі конструкції прийнято називати комбіновано армованими сталевібробетонними конструкціями. Як відомо, коли граничний стан при розрахунку за нормальними перерізами супроводжується руйнуванням бетону стиснутої зони, бетон досягає своїх граничних міцнісних і деформативних характеристик, які визначаються діаграмою  $\sigma - \epsilon$  бетону.

На сьогодні відомо, що сталевібробетон є пружнопластичним матеріалом, епюра напружень в стиснутій зоні сталевібробетонного елемента перед руйнуванням криволінійна і за характером подібна до епюри напружень в стиснутій зоні залізобетонних балок.

В рекомендаціях [3] пропонується виконувати розрахунок сталевібробетонних комбіновано армованих елементів, що працюють на згинання, на основі СНиП 2.03.01.84 та СНиП 2.03.03-85, тобто подібно до розрахунку залізобетонних конструкцій з тією різницею, що в розтягнутій зоні враховується робота сталевібробетону. Епюри напружень в стиснутій і розтягнутій зонах мають прямокутні форми. Несуча здатність нормального перерізу вважається втраченою, якщо деформації крайових стиснутих волокон сталевібробетону або розтягнутої стержневої арматури (або сталевібробетону і арматури одночасно) досягають граничних значень; при цьому повністю використовується міцність сталевих фібр, які не втратили зчеплення з бетоном матриці.

Для розрахунку комбіновано армованих сталевібробетонних елементів необхідно знати граничну висоту стиснутої зони сталевібробетонного перерізу  $\xi_{R,fb}$ . Тому необхідне уточнення залежності граничної висоти стиснутої зони сталевібробетонного перерізу від граничних деформацій стискання.

Досліди багатьох авторів показали, що при розрахунках міцності згинальних комбіновано армованих сталевібробетонних елементів співвідношення між граничною відносною висотою стиснутої зони  $\xi_{R,fb}$  і

граничними деформаціями  $\varepsilon_{sfbu}$  може бути прийнято таким же як у залізобетонному перерізі.

Деформації в арматурі в сталевібробетонному елементі визначають за формулою

$$\varepsilon_s = k_u \varepsilon_b \left( \frac{1}{\xi_{sfb}} - 1 \right), \quad (1)$$

де  $k_u$  – коефіцієнт, який враховує підвищену стискуваність сталевібробетону.

**Використання прямокутної епюри** нормальних напружень в стиснутій зоні сталевібробетону призводить до того, що значення деформацій і напружень у поздовжній арматурі будуть рівними нулю при деякій висоті стиснутої зони  $x_{0,sfb}$  меншій за  $h_{0,sfb}$ , тобто при відносній висоті меншій за

(1) (рис.1). Для того щоб врахувати цю обставину у залежності (1) замість

$\left( \frac{1}{\xi_{sfb}} - 1 \right)$  треба написати  $\left( \frac{\xi_{0,sfb}}{\xi_{sfb}} - 1 \right)$ , звідки можна отримати

співвідношення для визначення відносних деформацій в арматурі

$$\varepsilon_s = k_u \varepsilon_{bu} \left( \frac{\xi_{0,sfb}}{\xi_{sfb}} - 1 \right), \quad (2)$$

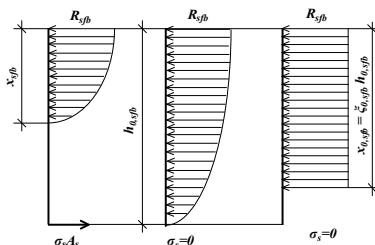


Рис.1. Епюри напружень в стиснутій зоні сталевібробетону

Тоді, при  $\xi_{sfb} = \xi_{0,sfb}$  деформації  $\varepsilon_s$  і напруження  $\sigma_s$  у поздовжній арматурі дорівнюватимуть нулю. При  $\xi_{sfb} > \xi_{0,sfb}$  значення  $\varepsilon_s$ , виходячи з (2), стає від'ємним, що відповідає деформаціям вкорочення, тобто у цьому випадку весь переріз стає стиснутим.

При рівномірному стисканні деформації вкорочення арматури повинні бути рівними граничним деформаціям сталевібробетону при стисканні  $k_u \varepsilon_{bu,1}$ . Однак слід врахувати, що крайові деформації сталевібробетону при

знакозмінній епюрі деформацій значно більші за деформації рівномірно стиснутого сталевібробетону. Щоб врахувати цю обставину в [2] для бетонного елемента пропонується визначати

$$\xi_{bu} = \frac{\varepsilon_{bu1}}{1 - \frac{\xi_0}{1,1}}, \quad (3)$$

де  $\varepsilon_{bu,1}$  – відносні граничні деформації стискання бетону при рівномірному стисканні.

Отже, залежність для комбіновано армованого сталевібробетонного елемента (2) прийме вигляд

$$\varepsilon_s = k_u \frac{\varepsilon_{bu1}}{1 - \frac{\xi_{0,sfb}}{1,1}} \left( \frac{\xi_{0,sfb}}{\xi_{sfb}} - 1 \right). \quad (4)$$

Величина  $\xi_{0,sfb}$  являє собою відносну висоту стиснутої зони сталевібробетону з прямокутною епюрою напружень, при якій деформації і напруження у поздовжній арматурі дорівнюють нулю. Надалі цю величину позначають як  $\omega_{sfb}$ .

Для сталевібробетону цю величину можна визначити як аналогічну для бетону [4], приймаючи замість  $R_b$  величину  $R_{sfb}$ , а коефіцієнт  $\alpha$  рівним 0,8 як для дрібнозернистого бетону оскільки останній є матрицею для сталевібробетону:

$$\omega_{sfb} = \alpha - 0,008R_{sfb} \quad (5)$$

Для пружної області роботи арматури напруження в арматурі визначаються за формулою

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s \quad (6)$$

Підставивши (4) в (6), можна отримати напруження в арматурі в залежності від висоти стиснутої зони:

$$\sigma_s = \frac{k_u \sigma_{sc,u}}{1 - \frac{\omega_{sfb}}{1,1}} \left( \frac{\omega_{sfb}}{\xi_{sfb}} - 1 \right), \quad (7)$$

$$\text{де} \quad \sigma_{sc,u} = \varepsilon_{bu1} E_s. \quad (8)$$

Як відомо з [2] для м'яких сталей, які мають горизонтальну площадку текучості, при збільшенні деформацій арматури вище значень, що відповідають початку текучості, напруження в арматурі залишаються

постійними і рівними її межі текучості  $R_s$ . У цьому випадку, очевидно, напруження в арматурі  $\sigma_s$ , які обчислюються за формулою (7), повинні прийматися не більшими за  $R_s$ .

Отже, підставивши  $\sigma_s = R_s$ , з (7) отримаємо формулу для обчислення граничної висоти стиснутої зони сталевібробетону  $\xi_{R,sfb}$ , при якій напруження в арматурі досягають межі текучості:

$$\xi_{R,sfb} = \frac{\omega_{sfb}}{1 + \frac{R_s}{k_u \sigma_{sc,u}} \left( 1 - \frac{\omega_{sfb}}{1,1} \right)}. \quad (9)$$

Нижче (табл.1) подано результати співставлення відносної висоти стиснутої зони бетону і сталевібробетону при комбінованому армуванні із арматурою класу А-III.

Таблиця 1

Значення відносної висоти стиснутої зони для бетону і сталевібробетону

Вид матеріалу	Позначення	Клас бетону матриці					
		B10	B15	B20	B25	B30	B35
Бетон	$\omega$	0,802	0,782	0,758	0,734	0,714	0,694
	$\xi_R$	0,674	0,619	0,591	0,563	0,541	0,519
Сталевібробетон	$\omega_{sfb}$	0,713	0,684	0,652	0,622	0,598	0,574
	$\xi_{R,sfb}$	0,568	0,537	0,503	0,473	0,449	0,427

**Як видно з таблиці 1**, відносна гранична висота стиснутої зони сталевібробетону у порівнянні з такою у залізобетонному елементі менша приблизно на 13...16%, що призводить до збільшення плеча внутрішньої пари сил. Це пояснює чому сталевібробетонні згинальні елементи мають більшу несучу здатність у порівнянні із залізобетонними при рівних міцнісних характеристиках бетону і арматури.

1. Лысенко Е.Ф., Гетун Г.В. Проектирование сталефибробетонных конструкций. - Киев: УМК ВО, 1989. - 184с. 2. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. Под ред. А. А. Гвоздева М.: Стройиздат, 1978. - 205 с. 3. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций. - М.: НИИЖБ, ЛенЗНИИЭП, ЦНИИпромзданий, 1987. -148с. 4. СНИП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. - 79с.