

# ОЦІНКА ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ФЕРМИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ФІБРОБЕТОНУ В ЇЇ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТАХ

**Васильченко Олексій Володимирович,**

к.т.н., доцент, доцент

[avas200@ukr.net](mailto:avas200@ukr.net)

**Царенко Ганна Романівна,**

Студентка

[anwsxxxzn@gmail.com](mailto:anwsxxxzn@gmail.com)

Національний університет цивільного захисту України,  
м.Харків, Україна

**Вступ.** Вогнестійкість промислових будівель із залізобетонним каркасом багато в чому визначається межею вогнестійкості кроквяних конструкцій покриття. Найбільш небезпечними і малопередбачуваними кроквяними конструкціями вважаються ферми, оскільки досягнення межі вогнестійкості в будь-якому їх елементі може спричинити катастрофічне обвалення всієї конструкції [1].

Негативно позначається на вогнестійкості ферм збільшення робочого навантаження. Це може спричинити зниження ступеня вогнестійкості будівлі, що в деяких випадках є неприпустимим.

Оскільки межа вогнестійкості залежить від запасу міцності, то підвищити його без зміни розмірів перерізів можна за рахунок застосування потужнішої арматури або бетону вищого класу. Але збільшення перерізу арматури може бути неекономічним, а підвищення класу бетону несуттєво підвищує міцність конструкції.

Підвищити міцність конструкції також можна за рахунок застосування фібробетону на основі сталеві або базальтової фібри [2]. Міцність такого фібробетону може досягати при розтягуванні 6...12 МПа, при згинанні – 30...35 МПа, а при стисканні – 80...100 МПа. Відомо, що дисперсне армування бетонів сталеві або базальтовою фіброю підвищує їхню тріщиностійкість, ударостійкість, сприяє стійкості бетону до впливу агресивного середовища;

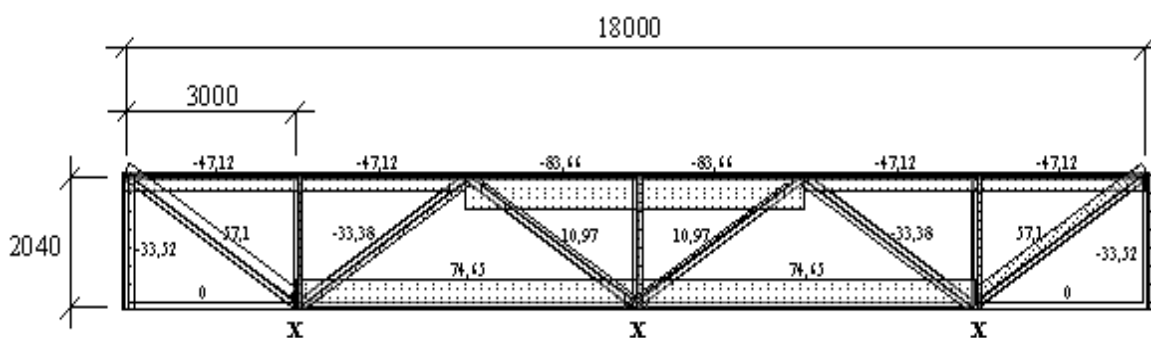
дозволяє зменшити робочі перерізи конструкцій [3]. Також відомо, що дисперсне армування бетону сприяє підвищенню межі вогнестійкості конструкції [4, 5]. Однак, вартість фібробетону досить висока (хоча і менша за вартість сталі), і тому використання його для виготовлення ферм вважається неекономічним. Крім того, при всіх перерахованих перевагах виробів з фібробетонів недостатньо дослідженою залишається проблема розрахунку їхньої стійкості при пожежі.

**Мета роботи.** У цій роботі для здешевлення виробу вивчається можливість використання фібробетону на основі сталевих фібри тільки в окремих, найбільш напружених елементах ферми, що працюють на розтяг.

Тому, основним завданням даної роботи є виявлення розрахунковим шляхом найбільш напружених елементів ферми, що працюють на розтягування, розрахунок напруги арматури в них та меж вогнестійкості, а далі – порівняння отриманих характеристик з характеристиками, розрахованими для заміни в цих елементах звичайного важкого бетону на фібробетон.

**Матеріали та методи.** Для прикладу в якості базової моделі обрано залізобетонну кроквяну ферму з паралельними поясами прольотом 18 м, висотою 2,04 м, кроком вузлів по верхньому поясу 3 м, кроком колон 6 м (рис.1). У фермі застосовується бетон класу В30.

Розрахунки проводилися для рівномірно розподілених навантажень 5,50 кПа та 8,50 кПа у програмі "SCAD".



**Рис. 1. Схема та епюри зусиль залізобетонної ферми при рівномірному розподіленому навантаженні 5,50 кПа**

**Результати та обговорення.** Розрахунки, що проводилися у програмі "SCAD" показали, що найбільш напруженими, такими що працюють на розтяг, є елементи ферми нижнього пояса "х-х" (рис.1). Розміри їх перерізу 240×300 мм, в них використана робоча поздовжня сталева арматура із 6 стрижнів класу А600, товщина захисного шару бетону 20 мм.

На підставі розрахунків були визначені зусилля в елементах "х-х" та напруги робочої арматури в цих елементах при діаметрах арматурних стрижнів 18 мм, 20 мм, 22 мм.

Оскільки розрахунок показав, що в елементах ферми "х-х" згинальний момент  $M=0$ , то при оцінках міцності розтягнутої поздовжньої арматури ігнорувалося наявність ексцентриситету. Також ігнорувався опір важкого бетону В30 на розтяг через його незначність. Тому умову міцності елемента ферми "х-х" (що визначає міцність усієї ферми) можна записати у вигляді:

$$\sigma_s = \frac{P}{A_s} \geq R_s \quad (1)$$

або в граничному випадку

$$P = R_s A_s. \quad (2)$$

де  $\sigma_s$  – напруження в арматурі, МПа;  $P$  – зусилля в елементі ферми, МН;  $R_s$  – розрахунковий опір сталі, МПа;  $A_s$  – сумарна площа перерізу сталевих арматур, м<sup>2</sup>.

При використанні фібробетону зі сталеву фібру його опір розтягуванню приймається  $R_{bf} = 6$  МПа. У цьому випадку внесок фібробетону в несучу здатність елемента ферми оцінюється як

$$P = R_s A_s + R_{bf} A_{bf}. \quad (3)$$

де  $R_{bf}$  – розрахунковий опір фібробетону на розтягування, МПа;  $A_{bf}$  – площа перерізу елемента ферми, м<sup>2</sup>.

Межі вогнестійкості досліджуваних найбільш напружених залізобетонних елементів ферми оцінювали за критичною температурою арматури з

урахуванням навантаження за методикою [6]. За такою самою методикою оцінювалися подібні елементи ферми, в яких використовувався фібробетон на основі сталеві фібри.

При цьому умови (2) та (3) перетворювалися у вигляді:

$$P = R_s \gamma_{st} A_s ; \quad (4)$$

$$P = R_s \gamma_{st} A_s + R_{bf} \gamma_{bft} A_{bft} . \quad (5)$$

де  $\gamma_{st}$  – коефіцієнт умов роботи арматури;  $\gamma_{bft}$  – коефіцієнт умов роботи фібробетону, що приймається:  $\gamma_{bft} = 1$  (при  $t \leq 510$  °С),  $\gamma_{bft} = 0$  (при  $t > 510$  °С);  $A_{bft}$  – площа перерізу елемента ферми без захисного шару бетону, м<sup>2</sup>.

Результати розрахунків представлені у таблиці.

Порівняння результатів розрахунків показує, що використання фібробетону в окремих елементах ферми дає можливість значно (майже у 2 рази) підвищити її несучу здатність та межу вогнестійкості. Якщо у фермі, прийнятій за базове, підвищене навантаження 8,5 кПа здатний витримати тільки елемент "х-х", армований стрижнями Ø22, то із застосуванням фібробетону в цьому елементі з'являється можливість армування також стрижнями Ø20 і навіть Ø18. І при цьому в усіх випадках розраховані межі вогнестійкості забезпечують перший ступінь вогнестійкості.

**Таблиця 1**

**Напруги робочої арматури та межі вогнестійкості елементів "х-х" залізобетонної ферми**

	Елемент "х-х" на основі бетону В30						Елемент "х-х" на основі фібробетону					
	Напруга арматури, МПа			Межа вогнестійкості, хв			Напруга арматури, МПа			Межа вогнестійкості, хв		
Діаметр арматури, мм	18	20	22	18	20	22	18	20	22	18	20	22
Навантаження 5,5 кПа	488	396	327	R25	R30	R40	205	166	137	R45	R50	R60
Навантаження 8,5 кПа	–	–	456	–	–	R25	397	322	266	R30	R40	R45

**Висновки.** Таким чином, на підставі оціночних розрахунків показано, що використання фібробетону на основі сталеві фібри в окремих, найбільш

напружених елементах залізобетонної ферми значно збільшує її несучу здатність, а також підвищує межу вогнестійкості. Перевагою фібробетону є можливість застосування для значного посилення ферм при збільшенні робочого навантаження без зміни їх зовнішнього вигляду і перерізу елементів; підвищення економічності з допомогою зниження ваги робочої арматури і навіть – забезпечення необхідної межі вогнестійкості ферми з допомогою підвищення меж вогнестійкості її окремих елементів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Будівельні конструкції та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій: Навчальний посібник / Васильченко О.В., Квітковський Ю.В., Миргород О.В., Стельмах О.А. Харків: ХНАДУ, 2015. – 488 с.

2. Сур'янінов М.Г., Крутій Ю.С., Шиляєв О.С., Сівак В.С. Несуча здатність залізобетонних і фібробетонних перехресно-балкових систем. Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків : Національний університет цивільного захисту України, 2023. С. 155-156.

3. BS EN 14889-1:2006 Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions and specifications and conformity. BSI, 2006.

4. Vasilchenko Alexey, Doronin Evgeny, Chernenko Oleksandr, Ponomarenko Ivan (2019) Estimation of fire resistance of bending reinforced concrete elements based on concrete with disperse fibers. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 708 012075. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012075..>

5. Otrosh Yuriy, Surianinov Mykola, Golodnov Alexander, Starova Olena (2019) Experimental and Computer Researches of Ferroconcrete Beams at High-Temperature Influences. Materials Science Forum, Vol. 968, pp. 355-360. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.355>.

6. МДС 21-2.2000. Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. Госстрой России, 2000.