а в дерев'яних елементах конструкції, з'єднаних болтами чи стрижнями, енергія розсіюється з допомогою пластичної деформації як дерев'яних, і металевих з'єднувачів при зворотньо-циклічному навантажені.

Під пластичністю розуміється здатність конструкції піддаватися циклічним деформаціям великої амплітуди в непружному діапазоні без суттєвого зниження міцності. Пластичність вимірюється коефіцієнтом між граничною деформацією та деформацією при плинності.

Застосування сталевих бічних пластин з цвяхами або болтових з'єднань сталевих пластин з прорізами без армування не забезпечує пластичність. Ці сполуки демонструють крихке руйнування з низькою обертальною здатністю та малим граничним моментом навіть за зміни геометричної конфігурації поперечного перерізу або застосування модифікацій діаметрів болтів та цвяхів.

Усвідомлення необхідності захисту дерев'яних конструкцій від значних динамічних впливів (вибух, торнадо) не достатньо вирішена проблема. Аналіз літературних джерел дозволив виявити переваги і недоліки різних типів з'єднань стержневих дерев'яних конструкцій під дією значних динамічних навантажень. Визначені їх переваги та недоліки, а також наведено шляхи для їх подальшого удосконалення і застосування.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МОЖЛИВОСТІ ТА ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФІБРОАРМОВАНИХ ПЛАСТИКІВ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ БАЛКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Карпюк І.А., к.т.н., доцент, Карпюк В.М., д.т.н., професор, Глібоцький Р.В., аспірант, Пастернак О.О., к.т.н., доцент, Свердленко О.Л., магістрант, Корчевний Д.С., магістрант (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Аналіз останніх публікацій показав, що ні національні норми проектування, ні відомі авторські методики не містять в собі чітких вказівок по розрахунку сумісної роботи пошкоджених бетонних балкових конструкцій з FRP або залізобетонних елементів, доведених під час попередньої експлуатації до граничного стану (ULS) або руйнування, з композитними матеріалами підсилення.

Несуча здатність еталонних базальтобетон них (індекс «теf») і підсилених зовнішніми вуглепластиковими (СFRP) волокнами (індекс «ftx») пошкоджених (ULS) балок з BFRP може бути представлена наступними експериментально-статичними залежностями, в яких X_1 – відносний прогін зсуву $a/h_0=1, 2, 3;$ X_2 – клас бетону C16/20, C30/35, C40/50; X_3 – коефіцієнт поперечного армування =0,0029; 0,0065; 0,0115 (АКБ - 800):

$$\hat{Y}(M_{fx,ult}^{exp}) = 24,43+2,40x_2, \text{ кHм, коефіцієнт варіації } \upsilon = 2,6\%; (3.1)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{M_{ftx,ult}^{exp}}{bh_0}\right) = 1396 + 137x_2, \quad \kappa H_{M}'; \qquad (3.1a)$$

$$\hat{\mathbf{Y}}\left(\mathbf{F}_{\text{fix,ult}}^{\text{appr(signos)}}\right) = 69, 2 - 46, 0\mathbf{x}_1 + 8, 6\mathbf{x}_2 + 2, 0\mathbf{x}_3 + 22, 7\mathbf{x}_1^2 - 4, 2\mathbf{x}_1\mathbf{x}_2, \quad \kappa \mathbf{H},$$
$$\upsilon = 2, 8 \; \%; \tag{3.2}$$

$$\hat{\mathbf{Y}}\left(\frac{\mathbf{F}_{\text{ftx,ult}}^{\text{appr(ainnos)}}}{b\mathbf{h}_{0}}\right) = 3,95 - 2,63\mathbf{x}_{1} + 0,49\mathbf{x}_{2} + 0,11\mathbf{x}_{3} + 1,30\mathbf{x}_{1}^{2} - (3.2a)$$

$$-0,24x_1x_2, M\Pi a;$$

$$\hat{Y}\left(V_{f_{1},\text{ult}}^{\text{ref}}\right) = 51,8-30,1x_{1}+11,8x_{2}+5,5x_{3}+15,9x_{1}^{2}-5,5x_{2}^{2}-2,3x_{3}^{2}- -4,8x_{1}x_{3}, \text{ KH}, \quad \upsilon = 5 \% \quad \text{ за архівними даними.}$$
(3.3)

Коефіцієнт зміцнення пошкоджених (ULS) бетонних балок з BFRP, підсилених одношаровим вуглепластиковим полотном (CFRP) у нижній розтягнутій зоні та вуглепластиковими сорочками на приопорних ділянках $k_{fix,ult}^{anp} = F_{fix,ult}^{appr} / V_{f_1,ult}^{ref}$ характеризується виразом:

$$\hat{Y}\left(k_{fx/f}^{amp}\right) = 1,35 - 0,05x_{1} - 0,12x_{2} - 0,06x_{3} - 0,04x_{1}^{2} + 0,20x_{2}^{2} + 0,06x_{3}^{2} + 0,18x_{1}x_{2} + 0,06x_{1}x_{3} + 0,04x_{2}x_{3}, \ \upsilon = 5,02\%;$$
(3.4)

Деформації бетону стиснутої зони, розтягнутої робочої базальтопластикової (BFRP) арматури та зовнішньої вуглепластикової обойми (CFRP) підсилення пошкоджених (ULS) дослідних балок на експлуатаційному рівні малоциклового повторного навантаження ($\eta_1 = 0.65F_{wlt}$) виражається:

$$\begin{split} \hat{Y} & \left(\epsilon_{cf_1}^{ref,\eta_1} \cdot 10^5 \right) = 107 + 20x_1 - 3x_2 + 12x_3 + 3x_1^2 - \\ & -8x_1x_2, \ \upsilon = 6,0\% \qquad \text{за архівними даними;} \\ & \hat{Y} & \left(\epsilon_{cftx}^{\eta_1} \cdot 10^5 \right) = 194 + 38x_1 - 13x_2 + 9x_3 - 13x_1x_2, \ \upsilon = 5,3\%; \end{split}$$

$$\hat{Y}\left(\epsilon_{f_{1}}^{\text{ref},\eta_{1}} \cdot 10^{5}\right) = 510 + 77x_{1} + 68x_{2} + 32x_{3} - 17x_{1}^{2} - 46x_{2}^{2} - 15x_{3}^{2},$$

$$\upsilon = 5,5\% \quad \text{3a архівними даними;} \qquad (3.7)$$

(3.6)

$$\hat{Y}\left(\epsilon_{f}^{\eta_{1}} \cdot 10^{5}\right) = 503 + 101x_{1} + 33x_{2} + 34x_{3} + 21x_{1}x_{2} + 19x_{1}x_{3}, \ \upsilon = 5,1\%; \ (3.8)$$
$$\hat{Y}\left(\epsilon_{fx}^{\eta_{1}} \cdot 10^{5}\right) = 601 + 122x_{1} + 33x_{2} + 41x_{3} + 23x_{1}x_{2} + 20x_{1}x_{3}, \ \upsilon = 4,9\%; \ (3.9)$$

Перед руйнуванням при рівні малоциклового повторного навантаження $\eta_2 = 0.95 F_{ult}$ вказані деформації бетону, робочої базальтопластикової арматури BFRP та вуглепластикової обойми (CFRP) підсилення пошкоджених балок набувають виду:

$$\begin{split} \hat{Y} \left(\epsilon_{cf_1 ult}^{ref,\eta_2} \cdot 10^5 \right) &= 157 + 29x_1 - 5x_2 + 17x_3 + 4x_1^2 - 12x_1x_2, \\ \upsilon &= 6,6\% \quad \text{за архівними даними;} \\ \hat{Y} \left(\epsilon_{cfx}^{\eta_2} \cdot 10^5 \right) &= 277 + 47x_1 - 19x_2 - 45x_1^2 - 8x_2^2 - 11x_1x_2, \quad \upsilon = 5,1\%; \quad (3.11) \end{split}$$

$$\hat{\mathbf{Y}}\left(\epsilon_{\mathbf{f}_{1},\mathbf{ult}}^{\text{ref},\eta_{2}}\cdot\mathbf{10}^{5}\right) = 745 + 112\mathbf{x}_{1} + 99\mathbf{x}_{2} + 47\mathbf{x}_{3} - 25\mathbf{x}_{1}^{2} - 67\mathbf{x}_{2}^{2} - 22\mathbf{x}_{3}^{2},$$
$$\upsilon = 5,5\% \quad \text{за архівними даними;} \tag{3.12}$$

$$\hat{Y}\left(\varepsilon_{\rm r}^{\eta_2} \cdot 10^5\right) = 735 + 148x_1 + 48x_2 + 50x_3 + 30x_1x_2 + 28x_1x_3,
\upsilon = 2,7\%;$$
(3.13)

$$\hat{Y}\left(\epsilon_{ftx}^{\eta_{2}} \cdot 10^{5}\right) = 880 + 176x_{1} + 52x_{2} + 57x_{3} + 32x_{1}x_{2} + 32x_{1}x_{3},
\upsilon = 4,8\%;$$
(3.14)

Прогини еталонних бетонних балок з BFRP і підсилених вуглепластиковими (CFRP) обоймами пошкоджених базальтобетонних зразків-балок на експлуатаційному рівні навантаження ($\eta_1 = 0,65F_{ult}$) можуть бути представленні наступними залежностями:

$$\begin{split} \hat{Y}\left(f_{f_{1},\eta_{1}}^{\text{ref}}\right) = &10,20+0,91x_{1}+1,04x_{2}+0,73x_{3}-0,74x_{1}^{2}, \text{ мм},\\ \upsilon = &5,3\% \quad \text{за архівними даними;} \end{split} \tag{3.15}$$

$$\begin{split} \hat{Y}\!\left(\frac{f_{f_{1},\eta_{1}}}{l_{0}}\right) &\cdot 10^{-3} = 6,48 + 0,58x_{1} + 0,66x_{2} + 0,46x_{3} - 0,47x_{1}^{2}; \quad (3.15,a) \\ &\hat{Y}\!\left(f_{f_{1x},\eta_{1}}\right) = &11,53 + 1,46x_{1} + 0,29x_{2} + 0,70x_{3} - 0,30x_{1}^{2}, \text{ MM}, \\ &\upsilon = 6,0\%; \end{split}$$

$$\hat{\mathbf{Y}}\left(\frac{\mathbf{f}_{\text{fix},\eta_1}}{\mathbf{l}_0}\right) \cdot 10^{-3} = 7,32 + 0,93\mathbf{x}_1 + 0,18\mathbf{x}_2 + 0,44\mathbf{x}_3 - 0,19\mathbf{x}_1^2.$$
(3.16,a)

Перед руйнуванням еталонних і дослідних зразків-балок ($\eta_2 = 0.95F_{ult}$) їхні прогини характеризуватимуться виразами: $\hat{Y}(f_{f_1,\eta_2}^{ref}) = 14,28+1,34x_1+1,46x_2+1,01x_3-1,03x_1^2$, мм,

υ = 5,6% за архівними даними; (3.17)

$$\hat{Y}\left(\frac{f_{f_1,\eta_2}^{ref}}{l_0}\right) \cdot 10^{-3} = 9,07 + 0,85x_1 + 0,93x_2 + 0,64x_3 - 0,65x_1^2; \quad (3.17, a)$$

$$\hat{\mathbf{Y}}\left(\frac{\mathbf{f}_{f_{1},\eta_{2}}^{\text{ref}} \cdot \mathbf{M}_{\text{ult}}}{\mathbf{E}_{c} \cdot \mathbf{I}_{\text{ref}}}\right) \cdot 10^{6} = 111 + 11x_{1} + 9x_{2} + 15x_{3} - 7x_{2}^{2} - 4x_{3}^{2}, \qquad (3.176)$$
$$\upsilon = 6,1\%;$$

$$\hat{Y}(f_{fix,\eta_2}) = 16,72 + 2,06x_1 + 0,47x_2 + 0,80x_3 - 1,27x_1^2, \ \upsilon = 4,9\%;$$
(3.18)

$$\hat{Y}\left(f_{f_{1x,\eta_{2}}}/l_{0}\right)\square 0^{-3} = 10,62+1,31x_{1}+0,30x_{2}+0,51x_{3}-0,81x_{1}^{2}; \quad (3.18,a)$$

$$\hat{\mathbf{Y}}\left(\frac{\mathbf{f}_{\text{frx},\eta_2} \Box \mathbf{M}_{\text{ult}}}{E \Box_{\text{ref}}}\right) \Box \mathbf{0}^6 = 175 + 23\mathbf{x}_1 - 9\mathbf{x}_2 + 9\mathbf{x}_3 - 14\mathbf{x}_1^2 + 12\mathbf{x}_2^2; \quad (3.18, 6)$$
$$\upsilon = 5,1\%;$$

розтягнутій зоні "чистого згину" еталонних базальтобетонних балок та підсилених вуглепластиковим полотном пошкоджених бетонних балок з BFRP при експлуатаційному рівні навантаження ($\eta_1 = 0,65F_{ult}$) можна представити наступними експериментально-статичними залежностями:

$$\begin{split} \hat{Y} \Big(W_{kf_1,\eta_1}^{\text{ref}} \Big) &= 0,35 + 0,06x_1 + 0,10x_2 + 0,05x_3 + 0,02x_1x_3, \text{ MM}, \\ \upsilon &= 11,5\%; \\ \hat{Y} \Big(W_{kfx,\eta_1} \Big) &= 0,40 + 0,10x_1 + 0,03x_2 + 0,03x_3 - \\ &- 0,05x_1^2 + 0,02x_2^2 - 0,02x_3^2 \text{ MM}, \quad \upsilon = 5,3\%; \end{split} \tag{3.19}$$

Напередодні руйнування ($\eta_2 = 0.95 F_{ult}$) ширина розкриття нормальних тріщин в еталонних базальтобетонних та підсилених вуглепластиковим полотном пошкоджених бетонних балок з BFRP виражається:

$$\hat{Y}(W_{kf_1,\eta_2}^{ref}) = 0,51 + 0,04x_1 + 0,13x_2 + 0,07x_3, \text{ mm}, \upsilon = 11\%; (3.21)$$

$$\begin{split} \hat{Y} \Big(W_{_{kftx,\eta_2}} \Big) &= 0,52 + 0,04x_1 + 0,03x_2 + 0,02x_3 - \\ &- 0,03x_1^2 + 0,02x_2^2 \quad \text{MM}, \qquad \upsilon = 5,7\,\%. \end{split} \tag{3.22}$$

Висновки:

1.Виконаними експериментально-теоретичними дослідженнями встановлена можливість та доцільність підсилення пошкоджених і доведених до граничного стану (ULS) бетонних конструкцій з BFRP зовнішніми фіброармованими пластиками (ФАП-CFRP) при дотриманні встановленої технології. При цьому, ефект підсилення вказаних балкових конструкцію досягав 150%.

2. Руйнування дослідних підсилених базальтобетонних балок з великими (a/d=3) і середніми (a/d=2) прольотами зсуву відповідало напружено-деформованому стану майже збалансованого нормального поперечного перерізу.

Руйнування балок з малими (a/d≤1) прольотами зсуву супроводжувалося подальшим розкриттям раніше утворених похилих тріщин і розривом замкнутих вуглепластикових сорочок на бічних гранях їхніх приопорних ділянок.

3. Запропонована методика розрахунку передбачає адекватне визначення несучої здатності (коефіцієнт варіації v=5,6%) прогінних бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою (FRP) як без їх підсилення та без пошкоджень, так і підсилених ФАП-CFRP елементів, які досягли граничного стану (ULS).

4. Несучу здатність зруйнованих або доведених до граничного стану (ULS) приопорних ділянок балкових конструкцій, підсилених матеріалами ФАП-FRP, слід визначати на дію згинального моменту за критичною похилою тріщиною.

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ РЕШІТКИ ПОПЕРЕЧНОЇ В'ЯЗЕВОЇ ФЕРМИ ПО НИЖНІМ ПОЯСАМ ФЕРМ ПОКРИТТЯ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Купченко Ю.В., к.т.н., доцент, Сінгаївський П.М., к.т.н., доцент, Коршак О.М., к.т.н., доцент, (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

В'язі покриття промислових будівель створюють загальну жорсткість каркаса будівлі, забезпечують просторову роботу поперечних рам. В'язі сприймають ряд горизонтальних навантажень