

ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЗАПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСОЕКОНОМНИХ КОНСТРУКЦІЙ, БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

УДК 624.012.35: 620.173

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ РОЗРАХУНКУ ЗАХИСНИХ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД

MAIN PROVISIONS OF PROTECTED CALCULATION FORTIFICATION STRUCTURES

Бабич Є.М. д.т.н., проф., ORCID ID: 0000-0003-1746-9991, Кочкар'єв Д.В., д.т.н., проф., ORCID ID: 0000-0002-4525-7315, Філіпчук С.В. к.т.н., доц., ORCID ID: 0000-0002-4464-4620 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне),

Babych Y. Dr, Prof., ORCID ID: 0000-0003-1746-9991, Kochkarev D. Dr, Prof., ORCID ID: 0000-0002-4525-7315, Filipchuk S.V. candidate of technical sciences, associate professor, ORCID ID: 0000-0002-4464-4620 (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

Розроблена методологія розрахунку та проектування залізобетонних елементів та конструкцій в умовах високошвидкісних ударних навантажень. Встановлені основні розрахункові залежності розрахунку захисних фортифікаційних споруд дії вогнепальної зброї.

For assignment of the type and class of concrete and conditions of reinforcement the initial data must be given, which include: geometric parameters of the settlement wall or overlap of the fortification structure: the estimated flight is l_0 , m; height (width) H , m; thickness h , m; parameters of the fire weapon, fire influence, which must withstand the protective cover: the speed of the approach of the ammunition to the protective thickness v_c , m / s; the mass of the munition, kg; projectile caliber d , mm; the height of the main part of the projectile H_z , m.

To determine the thickness of the protective structures, the following data is required: - geometric parameters of the calculated wall or overlap of the fortification structure: estimated flight, l_0 , m, height (width) H , m; parameters of the fire weapon, fire influence, which must withstand the protective cover: the speed of the approach of the ammunition to the protective thickness v_c , m/s; mass of ammunition m , kg; projectile caliber d , mm; height of the main part of the projectile H_z , m; class and type of concrete, with given physical and mechanical characteristics; scheme and parameters of the planned reinforcement.

The influence of reinforcement on concrete strength is established. The influence of reinforcement on the strength of concrete should be taken into account in the presence of the following structural conditions: the area of the cross section of the rods per unit length in one and in other directions do not differ by more than 1,5 times; the distance between the rods of one direction does not exceed 150 mm, and do not exceed more than 1/3 of the smaller side of the cross section of the element.

The basic calculation dependences of the calculation of protective fortifications of the firearms effect are developed and established. The methodology of calculation of such types of protective structures is proposed.

Ключові слова:

Міцність, арматура, високоміцний важкий бетон, пробивання
Strength, armature, high-hard concrete, penetration

Вступ. Залізобетонні захисні фортифікаційні споруди мають велике розповсюдження в загальній оборонній системі багатьох держав. В першу чергу завдяки високій міцності та довговічності таких споруд. У таких спорудах відмічена певна специфіка роботи бетону в умовах високошвидкісних ударів [1-3].

В умовах сучасного розвитку зброї різного призначення, одне з головних питань, яке протягом всього розвитку людства є неодмінно важливим, це ефективність тих чи інших конструкцій укриттів, в тому числі безпосередньо бетонних і залізобетонних.

Тому необхідно розробити методологію розрахунку та проектування залізобетонних елементів та конструкцій в умовах високошвидкісних ударних навантажень.

Визначення виду і класу бетону. Для призначення виду і класу бетону та умов армування повинні бути задані вихідні дані, які включають:

- геометричні параметри розрахункової стіни або перекриття фортифікаційної споруди: розрахунковий проліт l_0 , м; висота (ширина) H , м; товщина h , м;

- параметри вогневої зброї, вогнепальний вплив, якої повинно витримувати захисне покриття: швидкість підходу боеприпасу до захисної товщі v_c , м/с; маса боеприпасу m , кг; калібр снаряду d , мм; висота головної частини снаряду H_z , м.

Допоміжні параметри визначаються за наступними формулами:

- коефіцієнт форми головної частини снаряду λ_1 :

$$\lambda_1 = 0,5 + 0,43 \sqrt{\left(\frac{H_z}{d}\right)^2}; \quad (1)$$

- коефіцієнт калібру снаряду λ_2 :

$$\lambda_2 = 2,8\sqrt[3]{d} - 1,3\sqrt{d}; \quad (2)$$

- коефіцієнт, який враховує форму головної частини снаряду та його калібр:

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_2. \quad (3)$$

Коефіцієнти піддатливості проникненню матеріалу з умови, що пробивання відбувається під прямим кутом до поверхні захисної конструкції, за виразом:

$$k_{np} = \frac{hd^2}{\lambda m v_c}. \quad (4)$$

Характеристичні значення призмової міцності бетону призначаються за формулами:

- для важкого бетону (в межах від С15 до С100)

$$f_{fck,prism} = \frac{13,37 - k_{np} \times 10^7}{0,05}; \quad (5)$$

- для дрібнозернистого бетону (в межах від С15 до С80)

$$f_{fck,prism} = \frac{13,75 - k_{np} \times 10^7}{0,05}; \quad (5)$$

- для дрібнозернистого сталевібробетону (в межах від С15 до С80)

$$f_{fck,prism} = \frac{11,55 - k_{np} \times 10^7}{0,05}. \quad (7)$$

За визначеною призмовою міцністю бетону приймається вид і клас бетону та визначаються його основні характеристики: $f_{fck,prism}, f_{cd}, f_{ct}, E_c, \varepsilon_{cl}, \varepsilon_{cu1}$

Значення коефіцієнту піддатливості проникненню для встановленого типу та класу бетону знаходяться за наступними формулами:

- для важкого бетону (від С15 до С100)

$$k_{np} = (13,37 - 0,05 f_{fck,prism}) \times 10^{-7}; \quad (8)$$

- для дрібнозернистого бетону (від С15 до С80)

$$k_{np} = (13,75 - 0,05 f_{fck,prism}) \times 10^{-7}; \quad (9)$$

- для дрібнозернистого сталевібробетону (від С15 до С80)

$$k_{np} = (11,55 - 0,05 f_{fck,prism}) \times 10^{-7}. \quad (10)$$

Глибина проникнення боєприпасу в захисне покриття визначається за формулою

$$h_{np} = \lambda k_{np} \frac{m}{d^2} v_c. \quad (11)$$

Час дії навантаження знаходиться за формулою

$$\tau = \frac{2h_{np}}{v_c}. \quad (12)$$

Граничні деформації стиску відповідного класу та типу бетону ε_{cu} попередньо приймаються рівними $\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cu1}$.

Швидкість зміни деформацій приймається рівною

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\tau}. \quad (13)$$

Значення ε_{cu1} в розрахунках необхідно використовувати з урахуванням зміцнення бетону при впливах динамічного характеру. Для цього необхідно знайти коефіцієнт динамічного зміцнення бетону за формулою:

$$\begin{cases} DEF_c = \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_{sc}} \right)^{1,026\alpha_s} & \text{при } 30 \times 10^{-6} \leq \dot{\varepsilon} \leq (30 + 23i) c^{-1}; \\ DEF_c = \eta \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_{sc}} \right)^k & \text{при } (30 + 23i) \leq \dot{\varepsilon} \leq 300 c^{-1}, \end{cases} \quad (14)$$

$$\text{де } \alpha_s = \frac{1}{5 + 9 f_c / f_{c0}}, f_{c0} = 10 \text{ МПа};$$

$$\varepsilon_{sc} = 30 \times 10^{-6} c^{-1}, \gamma_s = 10^{(6,15\alpha_s - 2)}, \eta = (1 - 0,3392i)\gamma_s, k = \frac{1 + 0,05i}{3},$$

$$i = \begin{cases} 0 - \text{для важкого бетону}; \\ 1 - \text{для сталевібробетону}. \end{cases}$$

У виразах (14): $\dot{\varepsilon}$ – швидкість зростання деформацій, $c^{-1}; f_c$ – міцність бетону на стиск при статичній дії навантаження, МПа.

Уточнення значення граничних деформацій стиску відповідного класу та типу бетону здійснюється за формулою:

$$\varepsilon_{cu1,d} = \frac{\varepsilon_{cu1}}{DEF_c}. \quad (15)$$

Розбіжність між попередньо прийнятими значеннями граничних деформацій стиску $\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cu1}$ та $\varepsilon_{cu1,d}$, що отримані за виразом (15) не повинна перевищувати 5%. Якщо різниця більше 5%, необхідно визначити нове значення коефіцієнту динамічного зміцнення, прийнявши $\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cu1,d}$.

Інші динамічні характеристики бетону вибраного типу та класу знаходяться за формулами:

- коефіцієнт динамічного зміцнення при розтязі

$$DEF = DEF_c^{2/3}; \quad (16)$$

- розрахунковий опір стиску при встановленому динамічному впливі

$$f_{c,d} = DEF_c \times f_c; \quad (17)$$

- розрахунковий опір розтягу при встановленому динамічному впливі

$$f_{ct,d} = DEF \times f_{ct}; \quad (18)$$

- модуль деформацій при встановленому динамічному впливі

$$E_{c,d} = E_c DEF_c^2; \quad (19)$$

- деформаційні характеристики

$$\varepsilon_{cl,d} = \frac{\varepsilon_{cl}}{DEF_c}; \quad (20)$$

$$\varepsilon_{ct1,d} = \frac{\varepsilon_{ct1}}{DEF}; (\varepsilon_{ct1} = 667 \times 10^{-5} - \text{для фібробетонів}); \quad (21)$$

$$\varepsilon_{ctu} = \frac{\varepsilon_{ctu}}{DEF}; (\varepsilon_{ctu} = 1000 \times 10^{-5} - \text{для фібробетонів}). \quad (22)$$

За наявності визначених всіх параметрів умова міцності конструкції перевіряється за виразом

$$mv_c^2 \leq \frac{4M_{ult}}{l} h_{np} + \frac{1}{3} M_{ult} \frac{1}{r_{ult}} l. \quad (23)$$

Виконання умови (23) свідчить про те, що вид і клас бетону для конструкції визначено правильно. При невиконанні умови (23) необхідно збільшити клас або тип бетону та повторити розрахунок. В окремих випадках можна змінити конструкцію фортифікаційної споруди або влаштувати обвалування.

Визначення необхідної товщини захисних конструкцій. Для визначення товщини захисних конструкцій необхідні такі дані:

- геометричні параметри розрахункової стіни або перекриття фортифікаційної споруди: розрахунковий проліт l_0 , м, висота (ширина) H , м,;

- параметри вогневої зброї, вогнепальний вплив, якої повинно витримувати захисне покриття: швидкість підходу боєприпасу до захисної товщі v_c , м/с; маса боєприпасу m , кг; калібр снаряду d , мм; висота головної частини снаряду H_s , м;

- клас та тип бетону, із заданими фізико-механічними характеристиками;

- схема та параметри армування, що планується.

Встановлюється вплив армування на міцність бетону. Вплив армування на міцність бетону необхідно враховувати при наявності наступних конструктивних умов:

1) площі перерізу стержнів на одиницю довжини в одному та в іншому напрямках не відрізняються більш ніж у 1,5 рази;

2) відстань між стержнями одного напрямку не перевищують 150 мм, і не перевищують більше, ніж 1/3 меншої сторони перерізу елемента.

Якщо конструктивні умови армування відповідають конструктивним умовам, приведена міцність бетону з урахуванням армування визначається за формулою

$$f_{c,red} = f_{fck,prism} + \varphi \mu_{xy} f_{s,xy}, \quad (24)$$

де $f_{s,xy}$ – розрахунковий опір арматури,

φ – коефіцієнт ефективності армування, що визначається за виразом

$$\varphi = \frac{I}{0,23 + \psi}, \quad (25)$$

$$\psi = \frac{\mu_{xy} f_{s,xy}}{f_c + 10}, \quad (f_c, f_{s,xy} - \text{в МПа}), \quad (26)$$

$$\mu_{xy} = \frac{n_x A_{sx} l_x + n_y A_{sy} l_y}{A_{ef} s}. \quad (27)$$

Для дрібнозернистого бетону коефіцієнт φ приймається не більше одиниці.

У виразах (24) і (27):

n_x, A_{sx}, l_x – відповідно число стержнів, площа поперечного перерізу і довжина стержня в одному напрямку;

n_y, A_{sy}, l_y – те саме, в іншому напрямку;

A_{ef} – площа перерізу бетону, що знаходиться в середині контуру сіток, (рис. 2);

s – відстань між стержнями в напрямку дії динамічного навантаження (рис. 2).

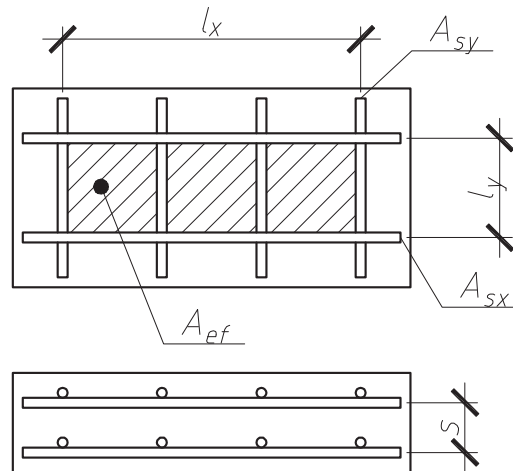


Рис. 2– До визначення приведеної міцності бетону

Якщо умови армування не відповідають конструктивним умовам, попередньо встановлюється значення коефіцієнту піддатливості проникненню для встановленого типу та класу бетону за формулами:

- для важкого бетону (від С15 до С100)

$$k_{np} = (13,37 - 0,05 f_{fck,prism}) \times 10^{-7}; \quad (28)$$

- для дрібнозернистого бетону (від С15 до С80)

$$k_{np} = (13,75 - 0,05 f_{fck,prism}) \times 10^{-7}; \quad (29)$$

- для дрібнозернистого сталевібробетону (від С15 до С80)

$$k_{np} = (11,55 - 0,05 f_{fck,prism}) \times 10^{-7}. \quad (30)$$

У випадку залізобетонної плити із армуванням, що відповідає конструктивним вимогам, у виразах (28) - (30) необхідно замість $f_{fck,prism}$ приймати $f_{c,red}$.

Глибина проникнення боєприпасу в захисне покриття встановлюється за формулою:

$$h_{np} = \lambda k_{np} \frac{m}{d^2} v_c. \quad (31)$$

Товщина захисної конструкції приймається не менше глибини проникнення боєприпасу $h \geq h_{np}$.

Час дії навантаження знаходиться за формулою:

$$\tau = \frac{2h}{v_c}. \quad (32)$$

Граничні деформації стиску відповідного класу та типу бетону попередньо призначаються при $\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cu1}$.

Швидкість зміни деформацій визначається за формулою:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\tau}. \quad (33)$$

Коефіцієнт динамічного зміцнення бетону знаходиться за формулою:

$$\left\{ \begin{array}{l} DEF_c = \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_{sc}} \right)^{1,026\alpha_s} \quad \text{при } 30 \times 10^{-6} \leq \dot{\varepsilon} \leq (30 + 23i) c^{-1}; \\ DEF_c = \eta \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_{sc}} \right)^k \quad \text{при } (30 + 23i) \leq \dot{\varepsilon} \leq 300 c^{-1}, \end{array} \right. \quad (34)$$

де $\alpha_s = \frac{1}{5 + 9 f_c / f_{c0}}$, $f_{c0} = 10 \text{ МПа}$; $\dot{\varepsilon}_{sc} = 30 \times 10^{-6} c^{-1}$, $\gamma_s = 10^{(6,15\alpha_s - 2)}$,

$\eta = (1 - 0,3392i)\gamma_s$, $k = \frac{1 + 0,05i}{3}$, $i = \begin{cases} 0 - \text{для важкого бетону;} \\ 1 - \text{для сталевібробетону.} \end{cases}$

Значення граничних деформацій стиску відповідного класу та типу бетону обчислюється за формулою:

$$\varepsilon_{cu1,d} = \frac{\varepsilon_{cu1}}{DEF_c}. \quad (35)$$

Обчислюється різниця між попередньо прийнятими значеннями граничних деформацій стиску $\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cu1}$ та $\varepsilon_{cu1,d}$, яка не повинна перевищувати 5%. Якщо різниця більше 5%, визначаємо нове значення коефіцієнту динамічного зміцнення, прийнявши $\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cu1,d}$.

Динамічні характеристики бетону вибраного класу та типу знаходяться за формулами:

- коефіцієнт динамічного зміцнення при розтязі

$$DEF = DEF_c^{2/3}; \quad (36)$$

- розрахунковий опір стиску при встановленому динамічному впливі

$$f_{c,d} = DEF_c \times f_c; \quad (37)$$

- розрахунковий опір розтягу при встановленому динамічному впливі

$$f_{ct,d} = DEF \times f_{ct}; \quad (38)$$

- модуль деформацій при встановленому динамічному впливі

$$E_{c,d} = E_c DEF_c^2; \quad (39)$$

- деформаційні характеристики

$$\epsilon_{cl,d} = \frac{\epsilon_{cl}}{DEF_c}; \quad (40)$$

$$\epsilon_{ct1,d} = \frac{\epsilon_{ct1}}{DEF}; (\epsilon_{ct1} = 667 \times 10^{-5} - \text{для фібробетонів}); \quad (41)$$

$$\epsilon_{ctu} = \frac{\epsilon_{ctu}}{DEF}; (\epsilon_{ctu} = 1000 \times 10^{-5} - \text{для фібробетонів}). \quad (42)$$

Коефіцієнти динамічного зміцнення арматури необхідно визначати за графіком, наведеним на рис. 3. Значення межі текучості арматури у залежності від її класу при динамічних впливах знаходиться за рис. 4 або за системою:

$$f_{y,d} = DEF_s \times f_y = \begin{cases} A-240, \left(1 + 2,227 \times \dot{\epsilon}\right) f_y \leq 1,48; \\ A-400, \left(1 + 1,272 \times \dot{\epsilon}\right) f_y \leq 1,27; \\ A-500, \left(1 + 0,75 \times \dot{\epsilon}\right) f_y \leq 1,15. \end{cases} \quad (43)$$

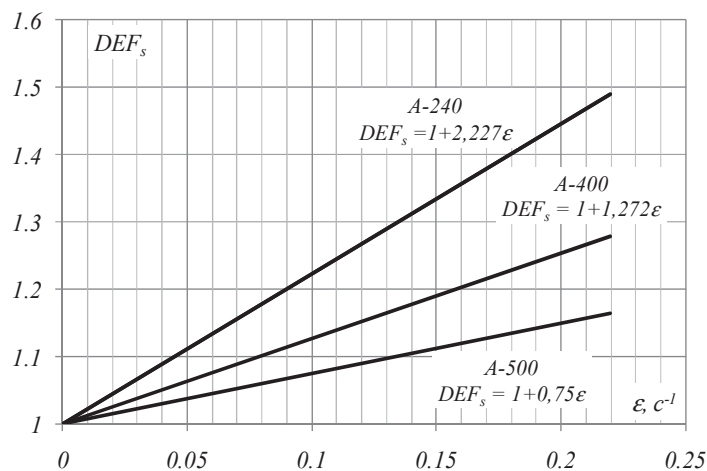


Рис. 3 Зміна коефіцієнта зміцнення арматурної сталі залежно від швидкості зміни деформацій

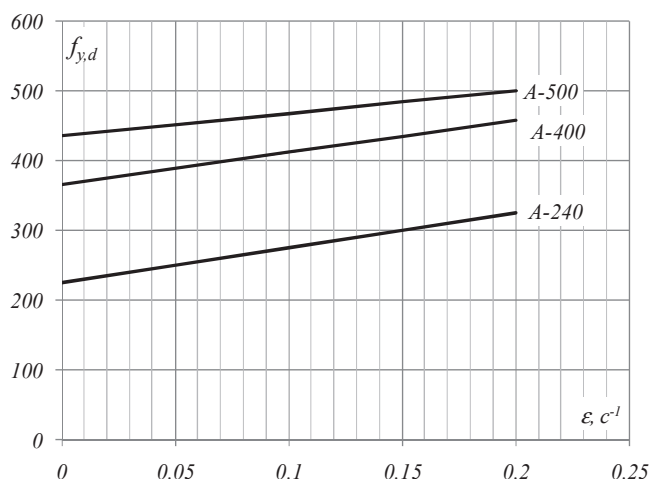


Рис. 4 Залежність межі текучості при динамічних впливах $f_{y,d}$ від швидкості зміни деформацій $\dot{\epsilon}$

За отриманими параметрами перевіряється умова

$$mv_c^2 \leq \frac{4M_{ult}}{l} h_{np} + \frac{1}{3} M_{ult} \frac{l}{r_{ult}} \quad (44)$$

Якщо умова (44) виконується, то вважається, що вид і клас бетону, армування і товщина конструкції встановлені вірно. За невиконання умови (44) необхідно збільшити товщину захисного покриття та повторити розрахунок.

Висновок. Розроблені та встановлені основні розрахункові залежності розрахунку захисних фортифікаційних споруд дії вогнепальної зброї. Запропонована методологія розрахунку таких типів захисних споруд.

1. Дворкін Л.Й., Бабич Є.М., Житковський В.В., Бордюженко О.М., Філіпчук С.В., Кочкар'ов Д.В., Ковалик І.В., Ковальчук Т.В., Скрипник М.М. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібро бетони – Рівне: НУВГП, 2017. 331 с.

2. Babych, Y., Filipchuk, S., Fenko, O., "Mathematical modeling of the resistance of pulling out steel bars from high strength concrete," International Journal of Engineering and Technology (UAE), vol. 7 (3.2), pp. 516-521, May 2018.

3. Бабич Є.М., Кочкар'ов Д.В., Філіпчук С.В.. Оцінювання міцнісних і деформаційних характеристик високоміцних бетонів при динамічних впливах. "Наука та будівництво" Журнал – Київ: НДІБК, 2017. – № 4. – С. 15 –21.

1. Dvorkin L.J., Babich E.M., ZHitkovs'kij V.V., Bordyuzhenko O.M., Filipchuk S.V., Kochkar'ov D.V., Kovalik I.V., Koval'chuk T.V., Skripnik M.M. Visokomicni shvidkotverdnuchi betoni ta fibro betoni – Rivne: NUVGP, 2017. 331 s.

2. Babych, Y., Filipchuk, S., Fenko, O., "Mathematical modeling of the resistance of pulling out steel bars from high strength concrete," International Journal of Engineering and Technology (UAE), vol. 7 (3.2), pp. 516-521, May 2018.

3. Babych Ye.M., Kochkarov D.V., Filipchuk S.V.. Otsiniuvannia mitsnisnykh i deformatsiinykh kharakterystyk vysokomitsnykh betoniv pry dynamichnykh vplyvakh. "Nauka ta budivnytstvo" Zhurnal – Kyiv: NDIBK, 2017. – № 4. – S. 15 –21.