

ОЦІНЮВАННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ БЕТОНІВ

Солодкий С.Й.

Національний університет „Львівська політехніка”

При розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій за критеріями механіки руйнування необхідно призначати характеристик тріщиностійкості із заданою надійністю. Мінливість фізико-механічних характеристик сировинних матеріалів для приготування бетонних сумішей, розкид параметрів складу, зміна технологічних факторів, умов тверднення бетону обумовлюють певний розкид і коливання характеристик тріщиностійкості бетону відносно середніх значень.

Метою роботи є оцінювання неоднорідності та надійності показників критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень і питомих енерговитрат на статичне руйнування важких бетонів на цементах різних типів за речовинним складом.

Дослідження реалізовано на важких крупнозернистих бетонах нормального тверднення у віці 180 діб з максимальним розміром заповнювача 20 мм. Як в'язне використовували два види композиційних цементів (КЦ V/A), модифікованих натрієм сульфатом і ЛСТ: КЦ-1 – “портландцементний клінкер – доменний гранульований шлак – перліт”, КЦ-2 – “портландцементний клінкер – доменний гранульований шлак – зола-виносу ТЕС”, а також бездобавочний портландцемент (ПЦ I) з добавкою двоводного гіпсу. Характеристики тріщиностійкості бетонів визначали у відповідності до вимог ГОСТ 29167 за схемою рівноважних випробувань із побудовою повністю рівноважних діаграм деформування бетонів (ПРДД). Кожна серія бетону складалася із 15 зразків-близнят.

Статистичну обробку даних виконано на основі стандартної методики із визначенням середнього значення, дисперсії, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнта варіації [1].

Експериментальні дані та результати оцінки неоднорідності вхідних параметрів приведено в табл. 1.

Визначення надійності характеристик тріщиностійкості виконувалось з використанням методології, приведеної в роботі [2], з такими доповненнями:

1. На основі залежності [3], що описує ПРДД при згині бетону зі штучно створеною тріщиною нормального відриву

$$F(V) = AV^B e^{CV}, \quad (1)$$

$$\text{де } A = F_c \left(\frac{e}{V_c} \right)^B, \quad B = \frac{1}{\left(1 - \frac{V_{cc}}{V_c} \right)^2}, \quad C = - \frac{\left(1 - \frac{V_{cc}}{V_c} \right)^{-2}}{V_c}$$

та інших параметрів, що отримано за результатами обробки даних експериментальних досліджень характеристик тріщиностійкості (табл.1), будується теоретична ПРДД.

Таблиця 1 – Параметри неоднорідності силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості бетонів

Параметри для бетону на цементі		$W_L \cdot 10^{-2}$ Нм	$W_{ui} \cdot 10^{-2}$ Нм	$W_{cc} \cdot 10^{-2}$ Нм	G_i Дж/м ²	G_F Дж/м ²	G_{cc} Дж/м ²	J_i Дж/м ²	K_i МПа· м ^{1/2}	K_c МПа· м ^{1/2}	E_b МПа	F_c Н	$V_c \cdot 10^{-6}$ М	$V_{cc} \cdot 10^{-6}$ М
КЦ-1	Середнє	91,55	5,71	19,95	41,65	171,8	33,25	60,05	0,74	0,66	13165	3475	120	150
	Стандарт	0,21	1,07	4,03	9,69	3,96	6,72	11,53	0,11	0,04	897	176,8	14,1	14,1
	Коеф. варіації	6,2	18,8	20,2	19,2	7,3	20,2	19,2	13,0	6,4	6,8	5,1	11,8	9,4
КЦ-2	Середнє	68,00	6,55	19,63	38,07	135	32,67	49,00	0,72	0,67	13620	3616	100	215
	Стандарт	4,00	0,59	1,91	4,59	7,82	3,20	5,18	0,02	0,06	1757	275,3	10,00	13,23
	Коеф. варіації	5,9	9,0	9,7	12,1	5,8	9,8	10,6	13,2	8,3	12,9	7,6	10,0	6,2
ПЦ	Середнє	72,27	7,14	23,8	39,93	144,5	39,70	51,80	0,79	0,79	15733	4100	93	220
	Стандарт	14,84	0,93	2,46	9,16	26,82	4,13	10,17	0,11	0,02	1152	360,6	10,41	34,64
	Коеф. варіації	20,5	13,1	10,4	22,9	18,6	10,4	19,6	13,4	8,2	7,3	8,8	11,2	15,7

2. Визначається функція статичного критичного коефіцієнта. інтенсивності напружень (КІН) від зміни питомих енерговитрат на статичне руйнування до моменту початку руху магістральної тріщини $x=G_i$, і будується її графік

$$f(x) = \frac{1}{1000} \cdot \sqrt{E \cdot x} . \quad (2)$$

3. Розраховується нормальна функція щільності розподілу статичного модуля пружності бетону

$$pE_b(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot S_E} \cdot \exp \left[-1 \cdot \left[\frac{(x - E_{cp})^2}{2 \cdot S_E^2} \right] \right], \quad (3)$$

де E_{cp} – середнє значення модуля пружності бетону; S_E – середньоквадратичне відхилення беруться із табл.1, та будується відповідна гістограма розподілу.

4. Розраховується нормальна функція щільності розподілу питомих енерговитрат на статичне руйнування до моменту початку руху магістральної тріщини

$$pG(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot S_G} \cdot \exp \left[-1 \cdot \left[\frac{(x - G_{cp})^2}{2 \cdot S_G^2} \right] \right], \quad (4)$$

де G_{cp} – середнє значення питомих енерговитрат на статичне руйнування; S_G – середньоквадратичне відхилення беруться із табл. 1, та будується відповідна гістограма розподілу.

5. Визначаються розрахункові значення питомих енерговитрат на статичне руйнування до моменту початку руху магістральної тріщини при надійності 0,95 та 0,80 і для середнього значення бетону і будується графік функції надійності $H(G)$, яка розраховується за формулою

$$H(G) = P[G(x) \geq G_0] = 1 - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot S_G} \cdot \exp \left[-1 \cdot \left[\frac{(x - G_{cp})^2}{2 \cdot S_G^2} \right] \right]. \quad (5)$$

Функція надійності $H(G)$ характеризує ймовірність перевищення заданого значення питомих енерговитрат на статичне руйнування до моменту початку руху магістральної тріщини.

6. За формулою

$$p_{-} K_i(G_i) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot S_G} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{\left| 10^6 \cdot \frac{G_i^2}{E} - G_{cp} \right|^2}{S_G} \right] \right] \cdot \left| 2 \cdot 10^6 \cdot \frac{G_i}{E} \right| \quad (6)$$

встановлюється функція щільності розподілу статичного критичного КІН (K_i) бетону та будується її графік.

7. Надійність отримання коефіцієнта інтенсивності напружень бетону визначається за формулою

$$H(K_i) = P[K(G, E) \geq K_i] = 1 - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot S_G} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{10^6 \cdot \frac{G_i^2}{E} - G_{cp}}{S_G} \right]^2 \right] \cdot \left| 2 \cdot 10^6 \cdot \frac{G_i}{E} \right| \cdot (7)$$

8. Аналогічно згідно п. 2 – 7 виконуються розрахунки і будується гістограма та функція щільності розподілу K_C – критичного коефіцієнту інтенсивності напружень і зі заданою надійністю встановлюються його розрахункові значення.

Нижче приведено результати розрахунків і побудов (рис. 1-7) за приведеною методикою для бетону на основі композиційного цементу КЦ-2.

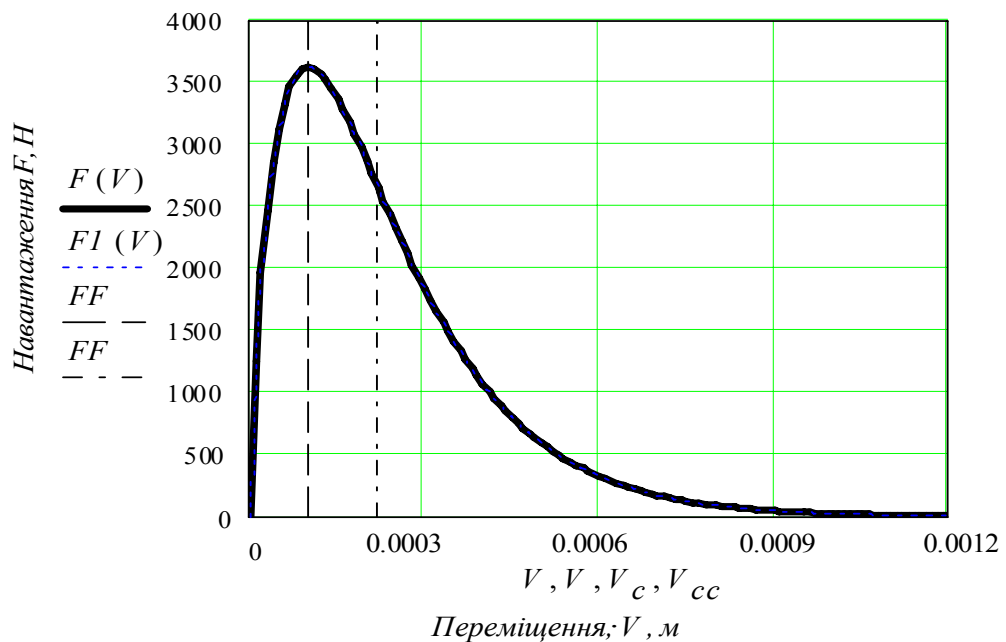


Рис. 1. Теоретична повністю рівноважна діаграма деформування бетону при згині

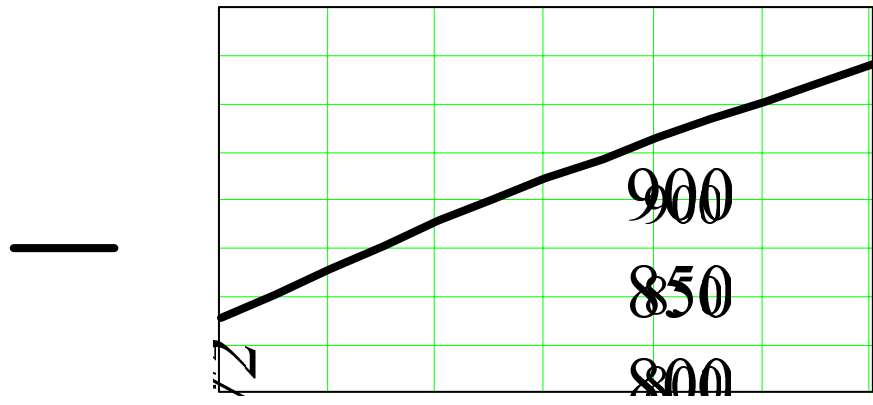


Рис. 2. Залежність статичного критичного КІН від зміни питомих енерговитрат на статичне руйнування до моменту початку руху магнітної тріщини

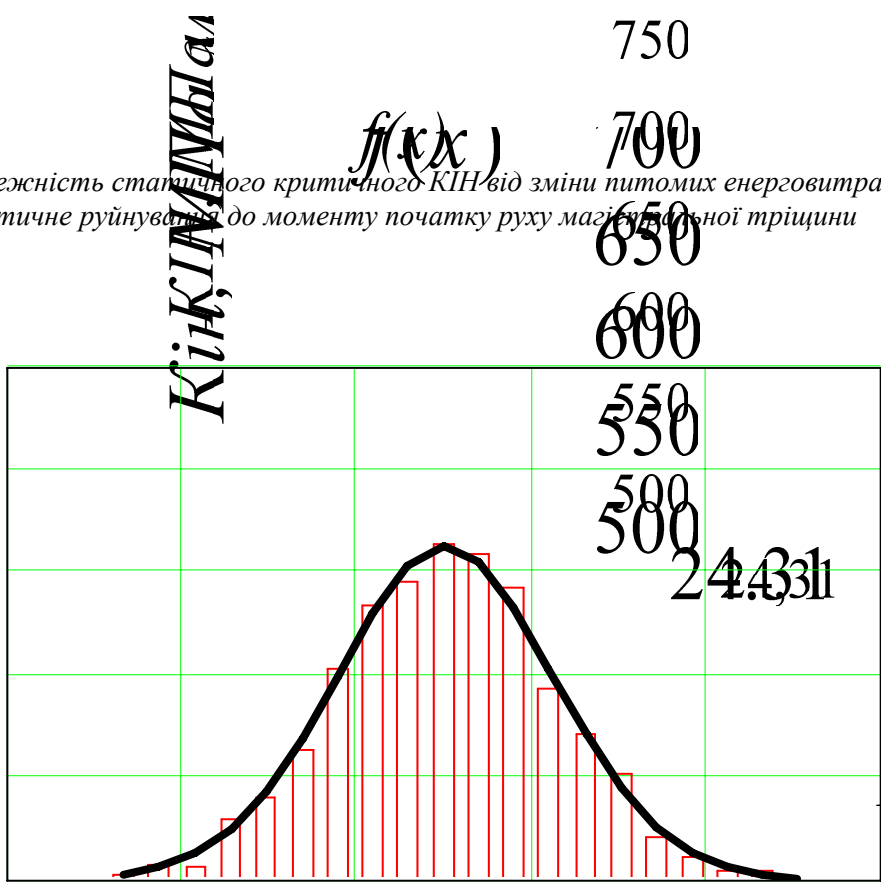


Рис. 3. Гістограма та щільність розподілу статичного розрахункового модуля пружності бетону

0,2
0,16
0.

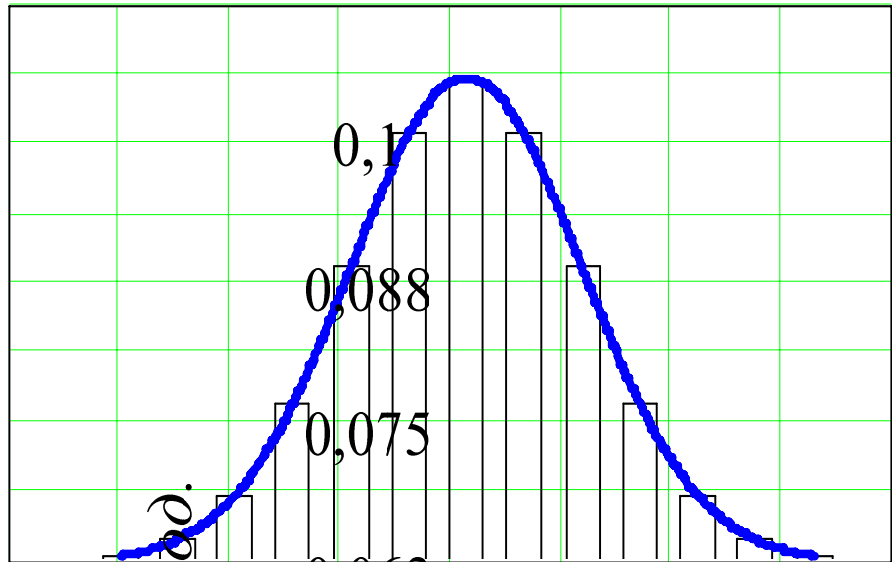


Рис. 4. Щільність розподілу питомих енерговитрат на статичне руйнування бетону до моменту початку руху магістральної тріщини

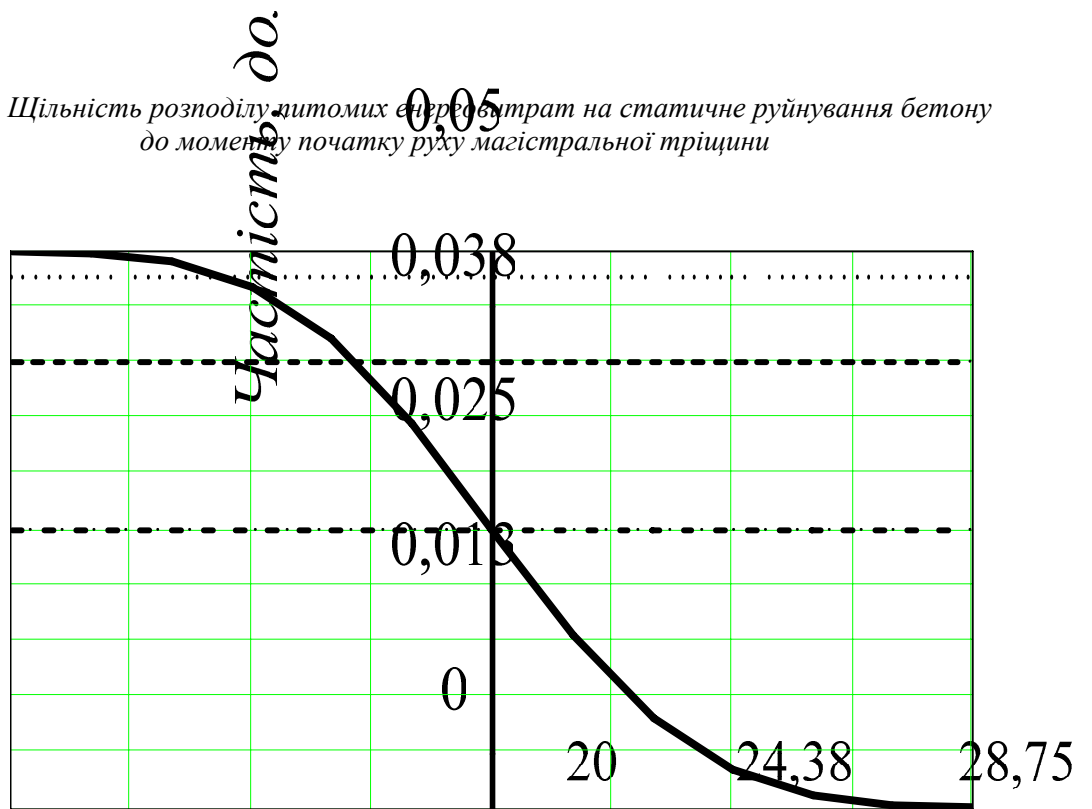


Рис. 5. Визначення розрахункового значення питомих енерговитрат на статичне руйнування бетону до моменту початку руху магістральної тріщини при надійності 0,95 та 0,80 і для середнього значення бетону

Питомі

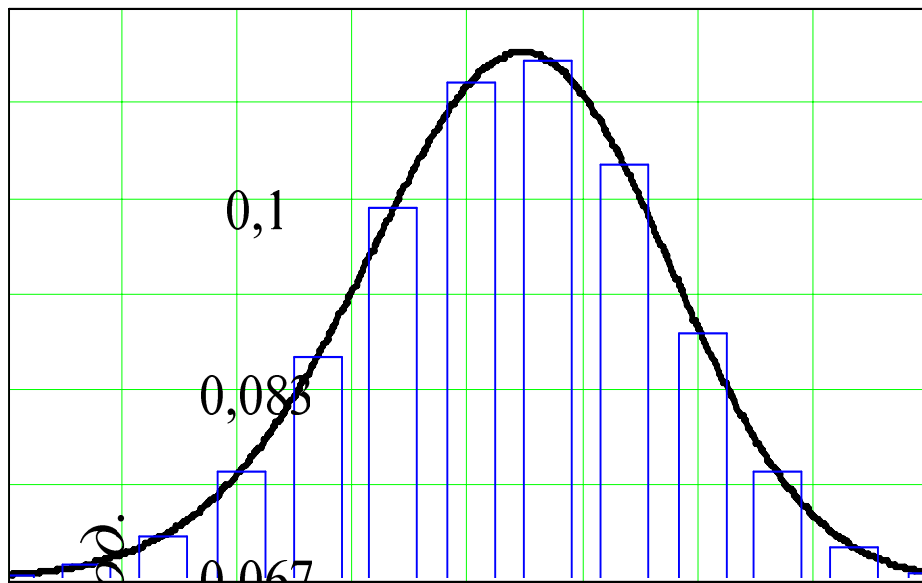


Рис. 6. Щільність розподілу статичного критичного КІН бетону

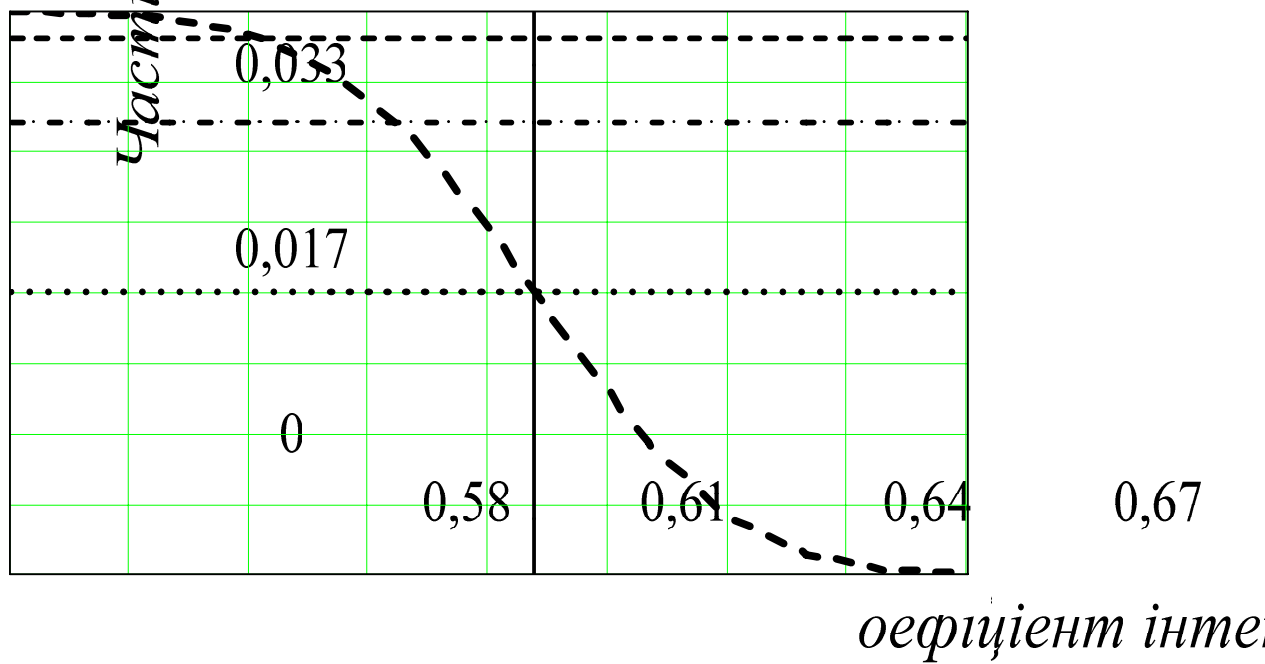


Рис. 7. Надійність отримання статичного критичного КІН бетону на основі КЦ-2

Визначення розрахункового значення статичного критичного КІН при надійності 0,95 та 0,80 і для середнього значення бетонів на основі КЦ-1 і ПЦ наведено відповідно на рис.8 і рис. 9.

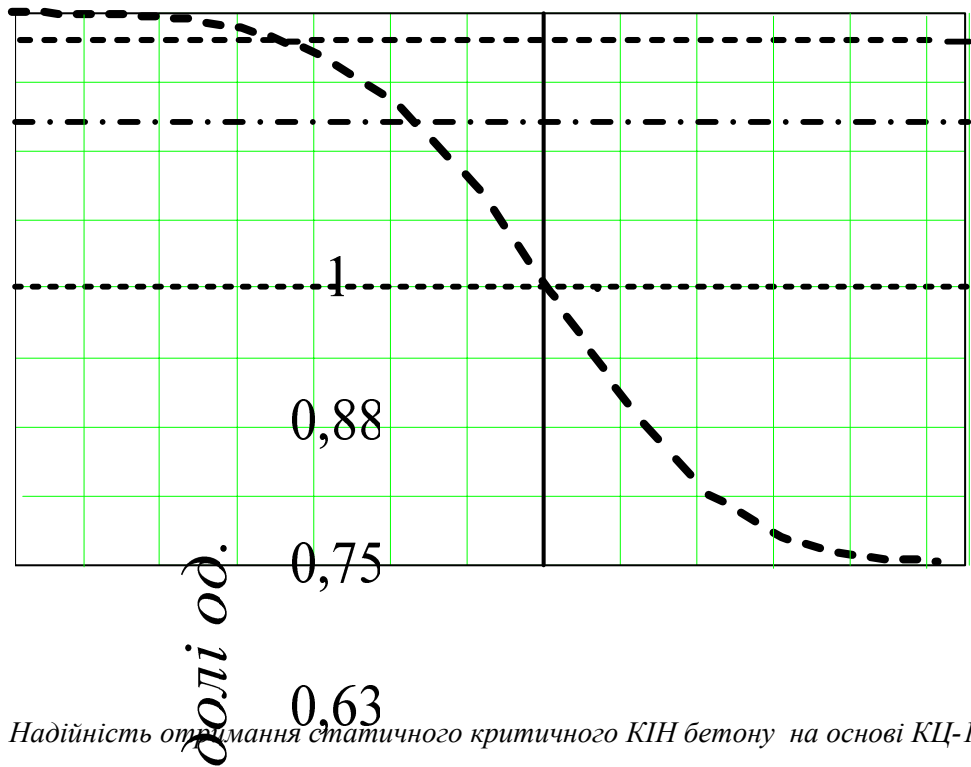


Рис. 8. Надійність отримання статичного критичного КІН бетону на основі КЦ-1

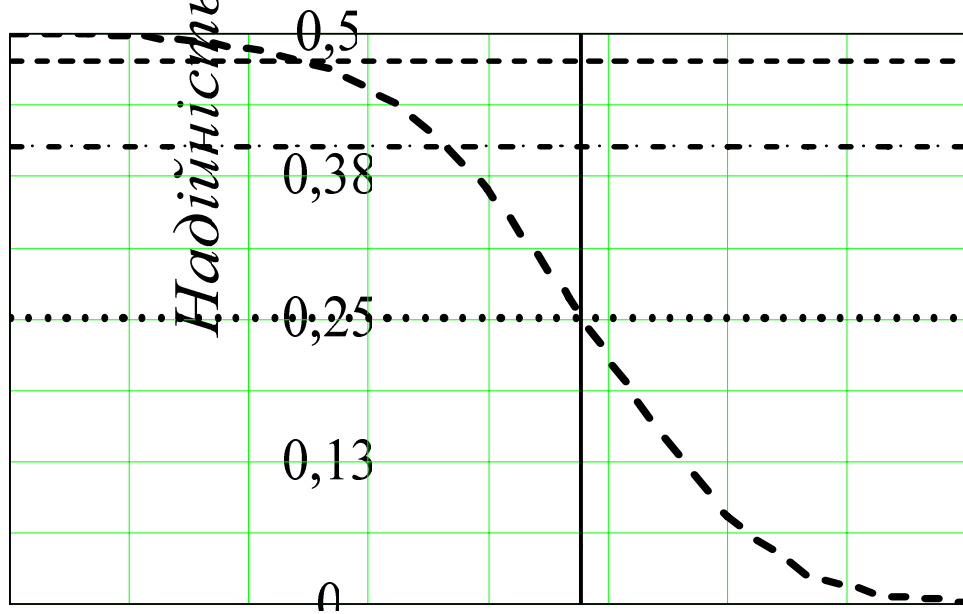


Рис. 9. Надійність отримання статичного критичного КІН бетону на основі ПЦ

Коефіцієнт інт

Розрахункові значення статичного критичного КІН для бетонів на цементах різних типів зведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Призначення показників критичного КІН бетонів залежно від рівня надійності конструкцій

Рівень надійності	Значення критичного КІН для бетону на цементі типу		
	КЦ V/A-300 (КЦ-1)	КЦ V/A-400 (КЦ-2)	ПЦ I-400 (ПЦ)
0,5	0,74	0,72	0,79
0,80	0,67-0,61	0,65-0,68	0,62-0,71
0,95	0,60	0,64	0,61

Висновки

В результаті статистичного моделювання визначено розрахункові показники критичних КІН і питомих енерговитрат на руйнування бетонів на основі цементів різних типів залежно від рівня надійності, прийнятого при розрахунку конструкції.

Література

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математической статистики. Учеб. пособие для вузов. – М. Высш. Шк., 1998. – 479 с.
2. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожніх одягів // Автореф. дис. ... д.т.н. – К.: НТУ, 2005. – 33 с.
3. Солодкий С.Й., Стащук М.Г. Застосування повністю рівноважної діаграми деформування для оцінки опору руйнуванню бетонів // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій // Зб. наук. праць. – Львів: Каменяр, 2007. – Вип. 7. – С. 334-342.