

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ
«НАПРУЖЕННЯ-ДЕФОРМАЦІЇ» НАВЕДЕНИХ В ДБН В.2.6-98:2009**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE APPLICATION OF STRESS-
STRAIN RELATIONSHIPS PROVIDED IN DBN V.2.6-98:2009.**

Павліков А.М., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-5654-5849; Філоненко О.І., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0001-8571-9089; Юрченко І.О., аспірант, ORCID: 0009-0001-7314-8933

Pavlikov A.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, ORCID: 0000-0002-5654-5849; Filonenko O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, ORCID: 0000-0001-8571-9089; Yurchenko I.O., PhD Student, ORCID: 0009-0001-7314-8933

У статті наведено результати порівняльного аналізу діаграм фізичного стану бетону за функціональними математичними залежностями, наведеними в ДБН В.2.6-98:2009 ([1], (3.4), (3.5)). Отримані результати вказують на незначні розбіжності між графіками, отримуваних за цими залежностями, що свідчить про однакову можливість їх застосування в розрахунках залізобетонних конструкцій за граничними станами.

The article presents the results of a comparative analysis of concrete stress-strain diagrams based on the functional mathematical dependencies provided in DBN V.2.6-98:2009 ([1], (3.4), (3.5)). The obtained results indicate minor discrepancies between the graphs derived from these dependencies, which suggests the equal applicability of both for the design of reinforced concrete structures according to the limit state method. The relevance of this study is due to the necessity of clarifying methodological approaches to the use of the specified normative provisions in the design of concrete and reinforced concrete structures. This research is particularly significant for the design of civil protection shelters, where precise calculations are critical for ensuring structural reliability. The findings contribute to enhancing the safety and durability of such concrete structures under extreme conditions.

Ключові слова: діаграма $\sigma - \epsilon$, деформації бетону, аналіз діаграм, «напруження - деформації».

Вступ. Сучасні будівельні норми, зокрема ДБН В.2.6-98:2009 "Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції", є

основною розрахунків несучої здатності залізобетонних конструкцій будівель і споруд в Україні. Одним із ключових аспектів цього нормативного документа є моделювання поведінки матеріалів під навантаженням, що реалізується через залежності «напруження-деформації». У пункті 3.1.4 [1] наведено дві залежності, які мають забезпечувати еквівалентні результати при їх застосуванні. Щоб впевнитись у цьому проведені розрахунки, які роблять можливим говорити про їх еквівалентність.

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю уточнення методичних підходів до використання відмічених нормативних положень у проектуванні бетонних і залізобетонних конструкцій. Особливого значення це набуває при розрахунках конструкцій укриттів цивільного захисту, де надійність залізобетонних конструкцій є дуже важливою.

Методика досліджень. У загальному випадку для визначення несучої здатності залізобетонних конструкцій слід виходити з напружено-деформованого стану залізобетонних перерізів, визначуваного на основі використання залежностей (1) та (2) нелінійної діаграми $\sigma_c - \epsilon_c$ «напруження-деформації» (рисунок 1), відповідно до вимог ДБН В.2.6-98:2009 [1].

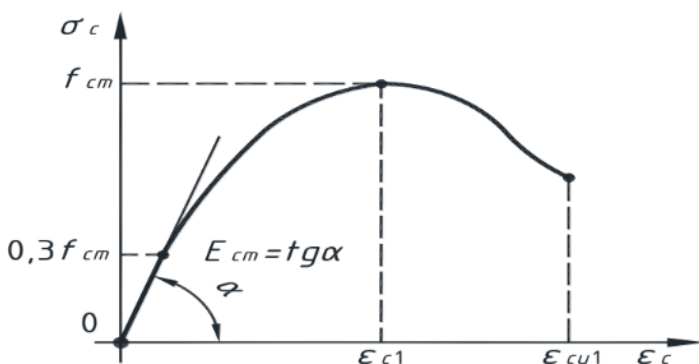


Рис. 1. Діаграма «напруження-деформації» бетону

Залежності $\sigma_c - \epsilon_c$ для показаної на рисунку 1 діаграми фізичного стану бетону при короткотривалому осьовому навантаженні описується в [1] рівняннями:

$$\frac{\sigma_c}{f_{(ck),(cd)}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}, \quad (1)$$

$$\sigma_c = f_{(ck),(cd)} \sum_{k=1}^5 a_k \eta^k. \quad (2)$$

У залежностях (1) та (2) $\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1}$ – рівень деформацій бетону; ε_{c1} – значення відносних деформацій бетону при напруженнях $\sigma_c = f_{cd}$; у розрахунках за граничними станами першої та другої групи приймається відповідно $k = 1,05 E_{cd} \times \varepsilon_{c1,cd} / f_{cd}$ та $k = 1,05 E_{ck} \times \varepsilon_{c1,ck} / f_{ck,prism}$; a_k – коефіцієнти полінома, які визначаються за таблицями ([1], додатку Д), наведених в нормах.

Вирази (1) і (2) справедливі при $0 < |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cul}|$, де ε_{cul} – номінальні граничні значення деформацій бетону.

Використовуючи довідкові дані фізико-механічних характеристик міцності і деформативності бетону f_{cd} , E_{cd} , $\varepsilon_{c1,cd}$ [1], обчислені значення величини (k) для всіх класів бетону (див. таблицю 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнта k залежно від класу міцності бетону

Клас міцності бетону	k	Клас міцності бетону	k
C8/10	3,4398	C32/40	2,394
C12/15	3,18137	C35/45	2,3058
C16/20	2,95826	C40/50	2,248145
C20/25	2,74810	C45/55	2,15985
C25/30	2,60955	C50/60	2,066273
C30/35	2,50061		

Використовуючи рівняння (1) та дані таблиці 1 проведено обчислення значень σ_c для класів міцності бетону C8/10 – C50/60 за значеннями η в межах 0...1,3 з кроком 0,1. Результати обчислень наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків значення σ за (1)

Клас міцності бетону	Значення η						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
C8/10	0	1,7517	3,0185	3,9468	4,6294	5,1279	5,4849
C12/15	0	2,3424	4,0997	5,4249	6,422	7,1641	7,7041
C16/20	0	2,9996	5,3237	7,1232	8,5072	9,5563	10,332
C20/25	0	3,5725	6,4278	8,6973	10,482	11,862	12,899
C25/30	0	4,0211	7,3023	9,9578	12,08	13,743	15,008
C30/35	0	4,458	8,1558	11,193	13,651	15,601	17,101
C32/40	0	4,8555	8,9485	12,36	15,158	17,405	19,153
C35/45	0	5,3509	9,9222	13,779	16,981	19,579	21,62
C40/50	0	5,7644	10,732	14,959	18,494	21,384	23,67

продовження таблиці 2

C45/55	0	6,0823	11,395	15,973	19,849	23,055	25,62
C50/60	0	6,446	12,156	17,145	21,427	25,015	27,922
Клас міцності бетону	Значення η						
	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
C8/10	5,7311	5,8885	5,9739	6	5,9768	5,912	5,812
C12/15	8,0813	8,3252	8,4588	8,5	8,463	8,3594	8,1983
C16/20	10,881	11,24	11,438	11,5	11,444	11,286	11,039
C20/25	13,644	14,137	14,413	14,5	14,42	14,194	13,838
C25/30	15,928	16,543	16,89	17	16,898	16,607	16,146
C30/35	18,2	18,943	19,366	19,5	19,374	19,013	18,437
C32/40	20,448	21,331	21,838	22	21,847	21,402	20,691
C35/45	23,147	24,197	24,804	25	24,813	24,268	23,39
C40/50	25,391	26,582	27,275	27,5	27,284	26,652	25,629
C45/55	27,572	28,936	29,738	30	29,745	28,993	27,765
C50/60	30,162	31,746	32,689	33	32,692	31,777	30,266

Аналогічні обчислення за рівнянням (2), наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків значення σ за (2)

Клас міцності бетону	Значення η						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
C8/10	0	1,8767	3,2559	4,2431	4,9278	5,3851	5,6762
C12/15	0	2,4843	4,3569	5,7394	6,7358	7,4332	7,9036
C16/20	0	3,1397	5,5707	7,4218	8,8037	9,8105	10,52
C20/25	0	3,7404	6,7062	9,0229	10,8	12,132	13,099
C25/30	0	4,2109	7,6103	10,315	12,427	14,039	15,23
C30/35	0	4,6587	8,4817	11,572	14,022	15,919	17,34
C32/40	0	5,0829	9,3127	12,778	15,564	17,75	19,409
C35/45	0	5,5451	10,205	14,074	17,235	19,768	21,739
C40/50	0	5,8499	10,737	14,824	18,232	21,052	23,34
C45/55	0	6,1272	11,212	15,495	19,141	22,252	24,874
C50/60	0	6,4757	11,852	16,416	20,364	23,809	26,794

Клас міцності бетону	Значення η						
	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
C8/10	5,8502	5,945	5,9885	6	5,9911	5,967	5,9281
C12/15	8,2052	8,3836	8,4734	8,4992	8,477	8,416	8,3195
C16/20	10,998	11,296	11,453	11,5	11,458	11,343	11,161
C20/25	13,769	14,197	14,429	14,5	14,437	14,26	13,983
C25/30	16,067	16,611	16,908	17	16,918	16,685	16,319
C30/35	18,353	19,017	19,386	19,5	19,396	19,098	18,623
C32/40	20,609	21,408	21,859	22,002	21,868	21,48	20,845
C35/45	23,206	24,216	24,807	25,001	24,808	24,228	23,241
C40/50	25,13	26,429	27,228	27,501	27,215	26,326	24,79
C45/55	27,006	28,615	29,637	29,996	29,606	28,385	26,263
C50/60	29,299	31,252	32,537	33,003	32,476	30,768	27,684

За результатами проведених обчислень побудовані графіки для класів бетону C8/10- C30/35 (рис. 2), та для класів бетону C32/40-C50/60 (рис. 3).

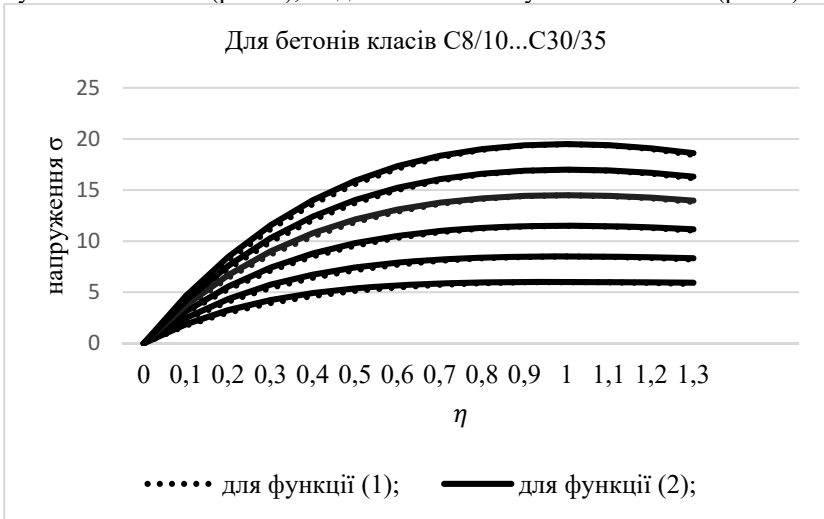


Рис. 2. графіки $\sigma - \varepsilon$ на основі даних таблиць 1 та 2

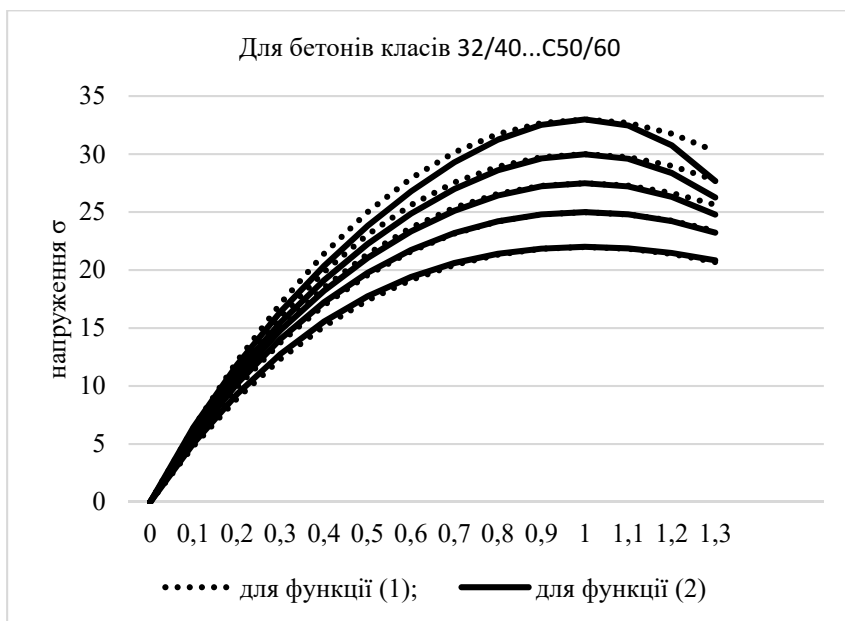


Рис. 3. графіки $\sigma - \epsilon$ на основі даних таблиць 1 та 2

Результати досліджень. Для всіх розглянутих класів бетону обидві моделі дають практично ідентичні результати в діапазоні малих та середніх деформацій. Максимальні розбіжності між значеннями напружень, отриманих за двома моделями, не перевищують 7 – 8% на ділянці максимальних деформацій. З точки зору конструктивного проектування такі відхилення не є суттєвими.

Слід зазначити, що графіки для бетону високих класів міцності (C40/50, C45/55, C50/60) демонструють вищу чутливість до зміни формули розрахунку. У цих випадках модель (2) частіше дає дещо вищі значення напруження порівняно з (1). Для нижчих класів бетону відмінності є мінімальними.

Висновки. У практиці проектування залізобетонних конструкцій застосування обох аналітичних залежностей є практично еквівалентним. Обидва підходи коректно описують деформативну поведінку бетону. Рівняння (1) є зручним для аналітичних розрахунків, тоді як рівняння (2) має переваги у чисельному моделюванні та інтеграції в інженерні програмні продукти. Остаточний вибір залежності може визначатися специфікою розрахункової задачі та програмного забезпечення.

Обидві математичні залежності — як дробово-раціональна, так і поліноміальна — забезпечують достовірне описання діаграми «напруження–

деформація» для бетону різних класів міцності відповідно до вимог ДБН В.2.6-98:2009.

Побудовані графіки підтверджують практичну збіжність обох підходів, що дозволяє використовувати будь-яку з моделей без суттєвої втрати точності на стадії проєктування. Особливо важливим є застосування цих залежностей при проєктуванні бетонних конструкцій укриттів цивільного захисту, де точність моделювання деформативної поведінки залізобетону забезпечує надійність споруд. Це сприяє підвищенню безпеки населення в умовах надзвичайних ситуацій.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. — Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2011. — 64 с.

DBN V.2.6-98:2009. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. — Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2011. — 64 s.

2. Зміна № 1 до ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. — К. : Міністерство розвитку громад та територій України, 2020. — 8с.

Zmina № 1 do DBN V.2.6-98:2009. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. — K. : Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy, 2020. — 8s.

3. Розрахунок міцності нормальних перерізів балкових елементів за нелінійною деформаційною моделлю (на основі ДБН В.2.6-98:2009) : навчальний посібник / А.М. Павліков, О.В. Бойко. За ред. А.М. Павлікова. — Полтава: ПолтНТУ, 2012. — 85 с.

Rozrakhunok mitsnosti normalnykh pereriziv balkovykh elementiv za nelineinoiu deformatsiinoiu modelliu (na osnovi DBN V.2.6-98:2009) : navchalnyi posibnyk / A.M. Pavlikov, O.V. Boiko. Za red. A.M. Pavlikova. — Poltava: PoltNTU, 2012. — 85 s.