

ПОРІВНЯННЯ ДІАГРАМ ДЕФОРМУВАННЯ БЕТОНУ З ТОЧКИ ЗОРУ ЗАТРАТ ПИТОМОЇ ПОТЕНЦІЙНОЇ ЕНЕРГІЇ

COMPARISON OF DIAGRAMS OF CONCRETE DEFORMATION FROM THE POINT OF VIEW OF SPECIFIC POTENTIAL ENERGY COSTS

Скорук Л.М., к.т.н., доц. ORCID: 0000-0002-7362-1348 (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Skoruk L.N., PhD (Tech.), Assotiate Proffesor (Kiev National university of Construction and Architecture, Kiev)

З точки зору міцністних розрахунків роботи бетону під навантаженням зручно описувати діаграмами « σ – ε » при одноосному розтягу та стиску. Найбільш універсальним критерієм оцінки опору бетону силовому впливу можна взяти енергозатрати на деформування і руйнування матеріалу. Даний критерій обраховується через визначений інтеграл функції $\sigma = f(\varepsilon)$.

One of the most important problems in the theory of calculations of building structures made of reinforced concrete remains the task of fully studying and describing the process of the nonlinear nature of the deformation of concrete under load. Solving this problem opens up real possibilities for building a model of the stress-strain state of a reinforced concrete element, which will fully and objectively reproduce the picture of its operation at any stage of loading.

The deformation calculation method is based on the use of real deformation diagrams of concrete and reinforcement. At the same time, the criterion for the appearance of the limit state in the cross-section is the achievement of the limit values by the deformations of the compressed concrete.

Currently, the deformation calculation method (or nonlinear deformation model) of a reinforced concrete cross-section has firmly entered the use of design engineers due to its relative simplicity, versatility and the ability to independently automate calculations using it.

According to current regulations, the elements of concrete and reinforced concrete structures are calculated by strength based on a nonlinear deformation model. At the same time, both valid and simplified diagrams of concrete deformation can be used in strength calculations of reinforced concrete elements according to various standards.

From the point of view of strength calculations, it is convenient to describe the work of concrete under load with « σ – ε » diagrams in uniaxial tension and compression. At the same time, the final result of the strength calculation

depends on the form of the corresponding diagram and the mathematical expression on the basis of which it is built, and other factors.

The most universal criterion for evaluating the resistance of concrete to force impact can be taken as energy consumption for deformation and destruction of the material. This criterion is calculated through the definite integral of the function $\sigma = f(\varepsilon)$. The results of the value of the bearing capacity of the reinforced concrete section depends on the shape of the corresponding diagram.

Ключові слова:

Бетон, діаграма деформування, енергія деформування, руйнування.

Concrete, deformation diagram, deformation energy, destruction.

Вступ. Однією із найважливіших проблем у теорії розрахунків будівельних конструкцій із залізобетону залишається задача повного вивчення і описання процесу нелінійної природи деформування бетону під навантаженням. Розв'язок цієї задачі відкриває реальні можливості побудови моделі напружено-деформованого стану залізобетонного елемента, яка повно і об'єктивно відтворюватиме картину його роботи на будь-якій стадії завантаження.

У зв'язку з цим в останні десятиліття при розрахунку залізобетонних конструкцій у багатьох країнах [1-4] перейшли до деформаційного методу розрахунку таких конструкцій – як методу, що найбільш точно на даний момент описує поведінку залізобетону під навантаженням. Однак, пошук більш точних функціональних залежностей для опису та апроксимації діаграми деформування бетону триває постійно [5-11].

Деформаційний метод розрахунку базується на використанні реальних діаграм деформування бетону і арматури. При цьому за критерій появи граничного стану у перерізі приймають досягнення деформаціями стиснутого бетону граничних значень.

На теперішній час деформаційний метод розрахунку (або нелінійна деформаційна модель) залізобетонного перерізу міцно ввійшов у користування інженерів-проектувальників завдяки своїй відносній простоті, універсальності і можливості самостійно автоматизувати розрахунки з його використанням.

Постановка мети і задачі досліджень. Згідно з чинними нормами елементи бетонних і залізобетонних конструкцій розраховують за міцністю на основі нелінійної деформаційної моделі [2, 3]. При цьому у розрахунках міцності залізобетонних елементів згідно різних норм можна використовувати як дійсні так і спрощені діаграми деформування бетону. Порівняння методів розрахунку та діаграм деформування бетону показано у табл. 1.

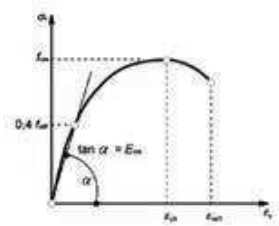
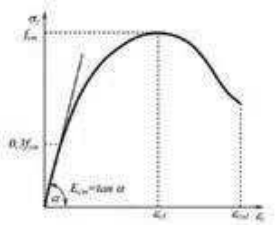
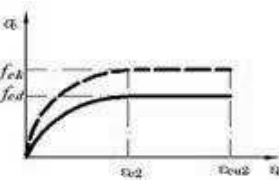
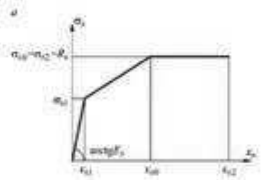
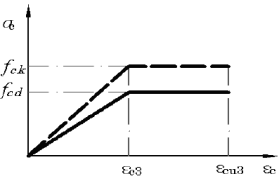
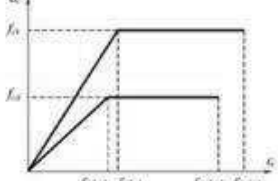
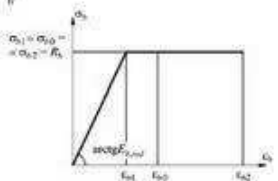
У нормах [1] та [2] чітко зазначено, що лише при проведенні нелінійного розрахунку у загальному випадку для визначення несучої здатності, кривизни, переміщень, перерозподілу зусиль у статично невизначених

конструкціях можна виходити з напружено-деформованого стану залізобетонних перерізів, визначеного на основі використання нелінійної діаграми напруження-деформації, яка має спадаючу гілку. Тобто лише знаючи та відслідковуючи історію навантаження конструкції можна при певному рівні напруження знати на якій ділянці графіку стану бетону (висхідній гілці або спадаючій) ми знаходимось в певний момент часу. У нормах [4] такого графіку немає взагалі.

Однак, у всіх нормах, що порівнюються у табл. 1, є так звані спрощені графіки діаграми деформування бетону « σ - ϵ », які можна використовувати для розрахунку **поперечних перерізів** залізобетонних конструкцій – незалежно від історії навантаження конструкції. Їх можна умовно поділити на дві підгрупи – криволінійні графіки та дволінійні графіки. До першої підгрупи спрощених графіків відносять параболічно-прямокутну діаграму у [1] та трилінійну діаграму у [4]. У вітчизняних нормах [2, 3] подібної діаграми немає. До другої підгрупи спрощених графіків відносять дволінійну (або білінійну) діаграму стану бетону – як найбільш проста у використанні і яка є у всіх порівнювальних нормах.

Таблиця 1

Класифікація методів розрахунку та діаграм « σ - ϵ » у різних нормах

Метод розрахунку	EN [1]	ДБН [2], ДСТУ [3]	СП [4]
	Вид діаграми деформування бетону « σ - ϵ »		
загальний деформаційний (нелінійний розрахунок конструкції)			немає
спрощений деформаційний (розрахунок поперечних перерізів)		немає	
спрощений деформаційний (розрахунок поперечних перерізів)			

З точки зору міцнісних розрахунків роботу бетону під навантаженням зручно описувати діаграмами « σ – ε » при одноосному розтягу та стиску. При цьому на кінцевий результат міцнісного розрахунку залежить від форми відповідної діаграми та математичного виразу на основі якого вона будується та інших факторів. При цьому потрібно зауважити, що у нормах [1] немає можливості врахування роботи розтягнутого бетону, в той час як в нормах [2, 4] – така можливість є.

Методика досліджень. Найбільш універсальним критерієм оцінки опору бетону силовому впливу можна взяти енергозатрати на деформування і руйнування матеріалу [11]. Даний критерій обраховується через визначений інтеграл функції $\sigma = f(\varepsilon)$.

Оцінимо за даним критерієм енергозатрати на руйнування бетону стиснутої зони за дволінійною діаграмою за нормами [1-4]. Візьмемо для цього бетони класів С12/15 (В15), С20/25 (В25), С50/60 (В60). Результати порівняльного розрахунку наведені у табл. 2 та на рис. 1.

Таблиця 2

Питома потенційна енергія на деформування і руйнування бетону при стиску, МПа $\times 10^{-3}$

Клас бетону	ЕН [1]	ДБН [2]	СП [4]
С12/15	21	26,095	23,348
С20/25	35	40,383	39,875
С50/60	87,5	51,975	90,75

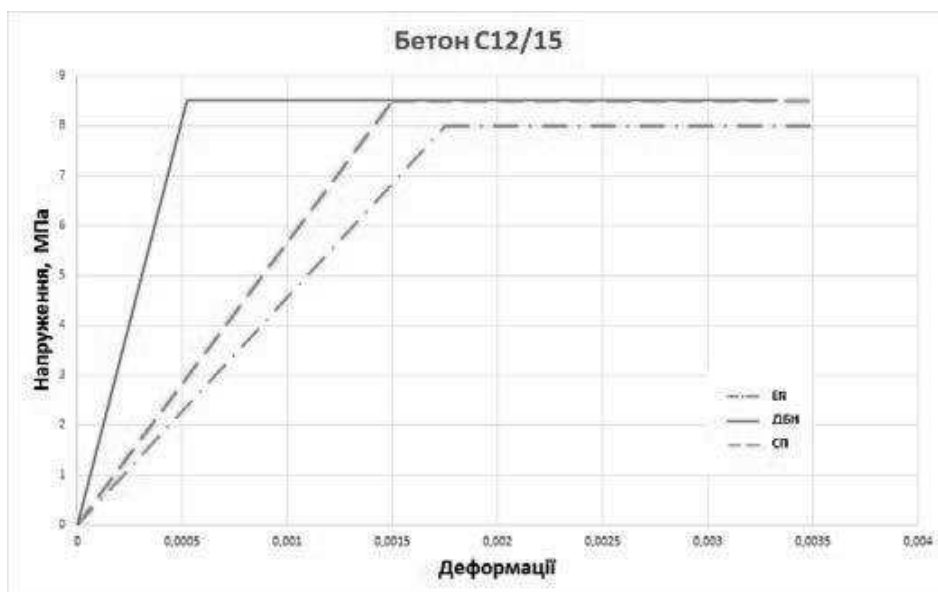
Висновки. Аналізуючи отримані результати з побудови діаграми деформування бетону для різних класів та відповідну питому потенційну енергію на деформування і руйнування бетону при стиску можна зробити наступні висновки:

1. При всіх інших рівних вихідних даних (геометричні розміри перерізу, кількість та клас арматури у перерізі) для деформування і руйнування перерізу із бетонів класу С12/15 та С20/25 згідно ДБН [2] необхідно витратити **більшу** кількість енергії ніж згідно ЕН [1] та СП [4] – отже, несуча здатність такого перерізу обрахована за ДБН буде **більшою**.

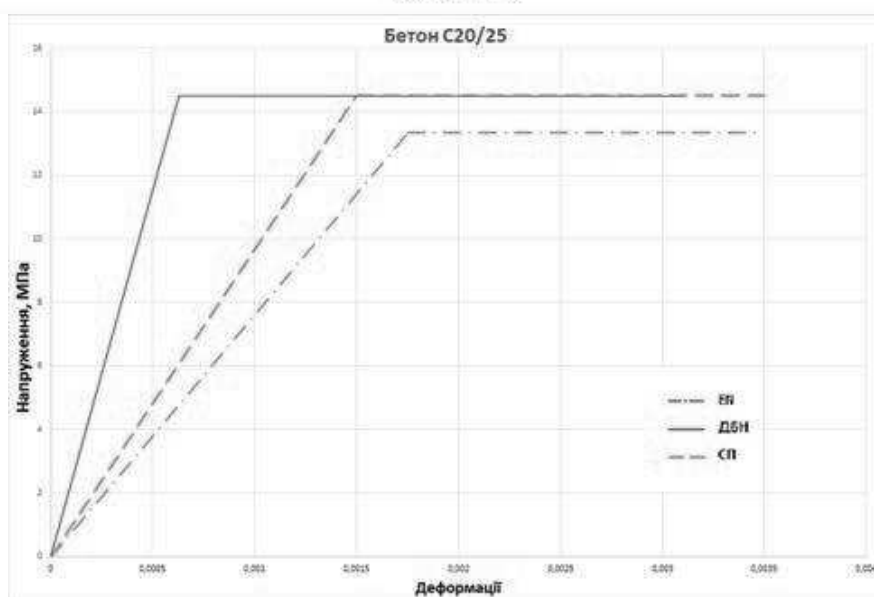
2. При всіх інших рівних вихідних даних (геометричні розміри перерізу, кількість та клас арматури у перерізі) для деформування і руйнування перерізу із бетону класу С50/60 згідно ДБН [2] необхідно витратити **меншу** кількість енергії ніж згідно ЕН [1] та СП [4] – отже, несуча здатність такого перерізу обрахована за ДБН буде **меншою**.

Результати величини несучої здатності залізобетонного перерізу залежить від форми відповідної діаграми.

а)



б)



в)

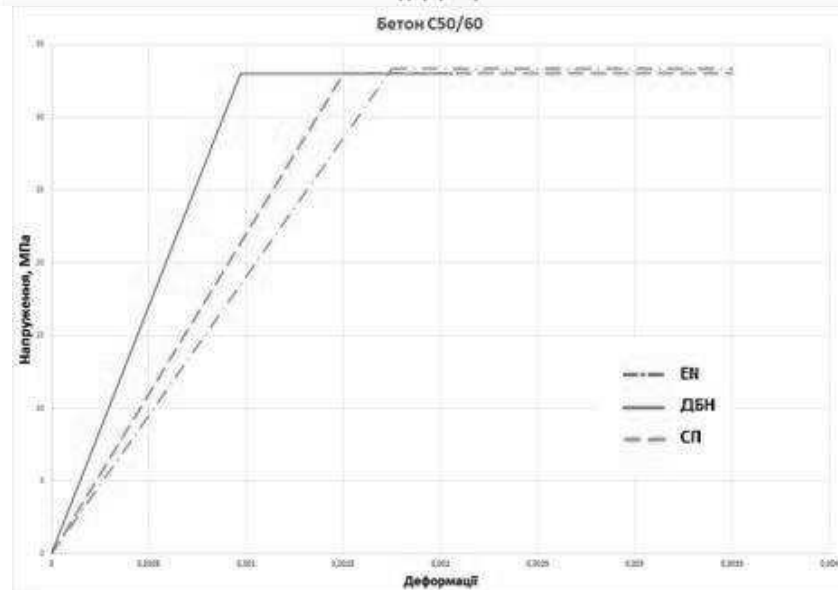


Рис. 1. Діаграма деформування бетону « σ - ϵ » для різних класів: а) С12/15, б) С20/25, в) С50/60.

1. EN 1992-1-1 Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій – Частина 1-1: Загальні правила і правила для споруд. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. – чинний з 01.07.2013.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. - Київ Мінрегіонбуд України 2011. - 71с. – чинний з 01.07.2011.
3. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіон України, 2011. – 118 с. - чинний з 01.06.2011.
DSTU B V.2.6-156:2010. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhkooho betonu. Pravyly proektuvannia. – К.: Minrehion Ukrainy, 2011. – 118 s. - chynnyi z 01.06.2011
4. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения – 118 с. – чинний з 20.06.2019.
SP 63.13330.2018 Betonnye y zhelezobetonnye konstruktsyy. Osnovnye polozheniya – 118 s. – chynnyi z 20.06.2019.
5. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2) / В. М. Бабаєв, А. М. Бамбура, О. М. Пустовойтова та ін.; за заг. ред. В. С. Шмуклер. – Харків: Золоті сторінки, 2015.– 208 с.
Praktychnyi rozrakhunok elementiv zalizobetonnykh konstruktsii za DBN V.2.6-98:2009 u porivnianni z rozrakhunkamy za SNyP 2.03.01-84* i EN 1992-1-1 (Eurocode 2) / V. M. Babaiev, A. M. Bambura, O. M. Pustovoitova ta in.; za zah. red. V. S. Shmukler. – Kharkiv: Zoloti storinky, 2015.– 208 s.
6. Бліхарський З. Я., Кархут І. І. Розрахунок і конструювання згинальних залізобетонних елементів. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 188 с.
Blikharskyi Z. Ya., Karkhut I. I. Rozrakhunok i konstruiuvannia zghynalnykh zalizobetonnykh elementiv. – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2017. – 188
7. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6-98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну / Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін. – К.: Талком, 2017. – 627 с.
Praktychnyi posibnyk iz rozrakhunku zalizobetonnykh konstruktsii zalizobetonnykh konstruktsii za diiuchymy normamy Ukrainy (DBN V.2.6-98:2009) ta novymy modeliamy deformuvannia, shcho rozrobleni na yikhniu zaminu / Bambura A.M., Pavlikov A.M., Kolchunov V.I. ta in. – К.: Talkom, 2017. – 627 s.
8. Бабич В.І. Расчет элементов железобетонных конструкций деформационным методом / В.И. Бабич, Д.В. Кочкарев // Бетон и железобетон. – 2004. – №2. С. 12-16.
Babych V.Y. Raschet elementov zhelezobetonnykh konstruktsiyi deformatsyonnym metodom / V.Y. Babych, D.V. Kochkarev // Beton y zhelezobeton. – 2004. – №2. S. 12-16
9. Ромашко В. М. Розрахунок залізобетонних елементів і конструкцій за деформаційно-силовою моделлю: Рекомендації // В. М. Ромашко. - Рівне : НУВГП, 2016. - 126 с.
Romashko V. M. Rozrakhunok zalizobetonnykh elementiv i konstruktsii za deformatsiino-sylovoiu modelliu: Rekomendatsii // V. M. Romashko. - Rivne : NUVHP, 2016. - 126 s.
10. Ромашко В. М. Деякі особливості діаграми деформування бетону / В.М. Ромашко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць Нац. ун-ту водного господарства та природокористування. – Рівне, 2006. – Вип. 14. – С. 294-301.
Romashko V. M. Deiaki osoblyvosti diahramy deformuvannia betonu / V.M. Romashko // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zb. nauk. prats Nats. un-tu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. – Rivne, 2006. – Vyp. 14. – S. 294-301.
11. Радайкин О.В. Сравнительный анализ различных диаграмм деформирования бетона по критерию энергозатрат на деформирование и разрушение // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019, №10. – с. 29-38.
Radaikyn O.V. Sravnytelnyi analiz razlychnykh dyahramm deformatsiivannia betona po kryteriyu enerhozarat na deformatsiivannia y razrusheniya // Vestnyk BHTU im. V.H. Shukhova, 2019, №10. – s. 29-38.