

**ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ДЕФОРМУВАННЯ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ І КОНСТРУКЦІЙ**

**Ромашко В.М.**, д.т.н., доцент,  
romashkovasyl@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3448-7489

**Ромашко О.В.**, старший викладач,  
romashkoolena@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3353-2268

*Національний університет водного господарства та природокористування*

**Анотація.** У статті окреслено базові і водночас визначальні елементи загальної теорії деформування бетону та залізобетону: деформаційно-силова модель опору залізобетонних елементів і конструкцій силовим впливам; гіпотези «нелінійності» жорсткості, плоских перерізів та граничної рівноваги, як обов'язкові та необхідні для реалізації зазначеної моделі; загальний силовий, основний деформаційно-силовий та похідний деформаційний критерії досягнення граничного стану залізобетонних елементів і конструкцій. Всі вищеперераховані елементи об'єднуються між собою системою співвідношень або рівнянь механіки деформованого твердого тіла, яка за допомогою додатково отриманих аналітичних залежностей перетворюється у статично визначну.

**Ключові слова:** теорія бетону та залізобетону, елементи, конструкції, закономірності деформування.

**Вступ.** Загалом під теорією бетону і залізобетону слід розуміти науку про бетон і арматуру та їхню спільну взаємодію, що дозволяє отримувати цілісне уявлення про закономірності деформування залізобетонних елементів і конструкцій з можливістю визначення їх дійсного напружено-деформованого стану (НДС). Тому для неї, як і для будь-якої іншої наукової теорії, одними із визначальних є питання вибору:

- моделей деформування залізобетонних елементів і конструкцій в реальних умовах;
- припущень, гіпотез та передумов, необхідних для реалізації зазначених моделей;
- критеріїв настання характерних, у тому числі і граничних станів елементів та конструкцій.

Для більшості наукових теорій властивим є те, що подібні питання об'єднують в єдину систему певних аналітичних рівнянь чи співвідношень, удосконалення розв'язку яких слугує основним локомотивом розвитку самих теорій. І тут теорія бетону та залізобетону не є виключенням, оскільки найважливіші етапи її розвитку тісно пов'язані з моделями, гіпотезами та критеріями деформування залізобетонних елементів і конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Накопичені на сьогодні результати експериментально-теоретичних досліджень свідчать, що теорія бетону і залізобетону завжди розвивалася в рамках механіки деформованого твердого тіла (МДТТ). Властивості подібного тіла моделювалися за допомогою системи статичних, геометричних та фізичних співвідношень (рівнянь) з використанням певних гіпотез, передумов та критеріїв. Система зазначених рівнянь зазвичай є статично невизначною, а тому всі теорії бетону і залізобетону завжди спрямовувалися на розкриття цієї невизначеності.

В теорії пружності та її спрощених варіантах – опорі матеріалів і будівельній механіці, бетон та залізобетон моделювалися у вигляді абсолютно пружного тіла, деформування якого описується законом Гука згідно гіпотези плоских перерізів. Критерієм граничного стану тут виступала міцність матеріалу. Завдяки прийняттю вищевказаних моделей, гіпотез та критеріїв статично невизначна система рівнянь МДТТ перетворювалася в статично визначну, що дозволило покласти теорію пружності в основу методики розрахунку залізобетонних елементів та конструкцій за допустимими напруженнями. Однак вагомими недоліками, основними серед яких

був той, що бетон розглядався як пружний матеріал, а дійсний розподіл напружень в бетоні по висоті перерізу, особливо в стадії близькій до руйнування, не відповідав закону Гука, призводили до суттєвих перевитрат матеріалів в практиці проектування залізобетонних конструкцій.

Подальший розвиток вітчизняної теорії бетону та залізобетону був пов'язаний з застосуванням моделі «пластичного шарніру» та використанням гіпотези граничної рівноваги [1]. Критерій граничного стану залишився незмінним у вигляді силового фактору – міцності матеріалів. Завдяки цьому система рівнянь МДТТ ставала статично визначною, а потреба у використанні гіпотези плоских перерізів та дійсних діаграм деформування матеріалів відпадала. Таким чином, теорія бетону та залізобетону певною мірою була спрямована на шлях теорії пластичності, що знайшло відображення в методиках розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій за руйнуючими зусиллями [1-3] та граничними станами [4]. Однак бетон є пружно-пластичним матеріалом, тому описати НДС залізобетонного елемента на всіх стадіях його деформування за допомогою «пластичного шарніру» неможливо.

Сучасну теорію бетону та залізобетону пов'язують з так званими «деформаційними» моделями, які дозволяють підійти до розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій з єдиних методологічних позицій. В таких моделях гіпотеза плоских перерізів може безпосередньо залучатися до системи рівнянь МДТТ [5-7] або ж взагалі виключатися з рішень, що ґрунтуються на використанні основних положеннях механіки руйнування [8, 9]. Так само неоднозначним залишається і використання екстремальних [10] та деформаційних [7] критеріїв вичерпання несучої здатності залізобетонних елементів. Можна говорити і про часткове нехтування силовими параметрами їх деформування. Але основна проблема полягає в тому, що в деформаційних моделях так і не запропоновано реальних:

- шляхів розкриття статичної невизначеності системи рівнянь МДТТ, якими описується НДС залізобетонного елемента в розрахунковому перерізі;

- способів забезпечення методологічної єдності всіх розрахунків залізобетонних елементів за граничними станами (за несучою здатністю, прогинами та тріщинотійкістю).

**Мета і завдання досліджень.** Дані дослідження спрямовані на розробку загальної (певною мірою універсальної) теорії деформування бетону та залізобетону, яка буде:

- базуватися на узагальненій деформаційно-силовій моделі опору залізобетонних елементів і конструкцій силовим впливам;

- описуватися загальною визначеною системою рівнянь (співвідношень) МДТТ, що за певних доповнень перетворюватиметься із статично невизначної в статично визначну;

- ґрунтуватися на використанні визначальних гіпотез плоских перерізів, нелінійної зміни (нелінійності) жорсткості та граничної рівноваги;

- наділена строгими критеріями настання граничного стану елементів і конструкцій;

- відрізнятися від існуючих теорій, у тому числі з традиційними «деформаційними» моделями, замкнутістю рішень та методологічною єдністю всіх розрахунків за граничними станами.

**Матеріали та методика дослідження.** Дані дослідження стосуються бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій, що виготовлені з важкого бетону будь-якого класу з використанням стержневої арматури довільного діаметру. В їх основу покладено математичне моделювання основних фізико-механічних характеристик бетону та визначальних параметрів дійсного НДС залізобетонних елементів і конструкцій загалом та аналітичні і числові методи математичного аналізу зміни жорсткості зазначених елементів під впливом діючого навантаження зокрема. При цьому, дослідження з розвитку загальної теорії опору бетону і залізобетону силовим впливам окреслені основними закономірностями МДТТ.

**Результати досліджень.** Детальний аналіз НДС залізобетонних елементів і конструкцій показує, що найважливіші силові та деформаційні параметри їхнього деформування на всіх етапах пов'язуються між собою саме функцією жорсткості  $D = M / (1 / r)$ . Тому при розбудові загальної теорії деформування бетону та залізобетону

мову доцільно вести не про деформаційну, а про деяку «жорсткісну» модель деформування залізобетонних елементів. Виходячи з вищевказаного функціонального зв'язку, її правильніше називати деформаційно-силовою [11].

За формою представлення основних параметрів стану матеріалів вона відноситься до групи деформаційних, а за формою представлення НДС елементів і конструкцій в перерізі вона відноситься до дискретних математичних моделей (рис. 1).

Згідно основних положень МДГТ деформаційно-силовою моделлю формується наступною системою рівнянь за трьома групами співвідношень [12]:

$$\left. \begin{aligned} & \bullet \text{ статичних } M = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s), \quad N = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s); \\ & \bullet \text{ геометричних } 1/r = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s); \\ & \bullet \text{ фізичних (стану матеріалів) } \sigma_c = f(\varepsilon_c), \quad \sigma_{ct} = f(\varepsilon_{ct}), \quad \sigma_s = f(\varepsilon_s). \end{aligned} \right\} (1)$$

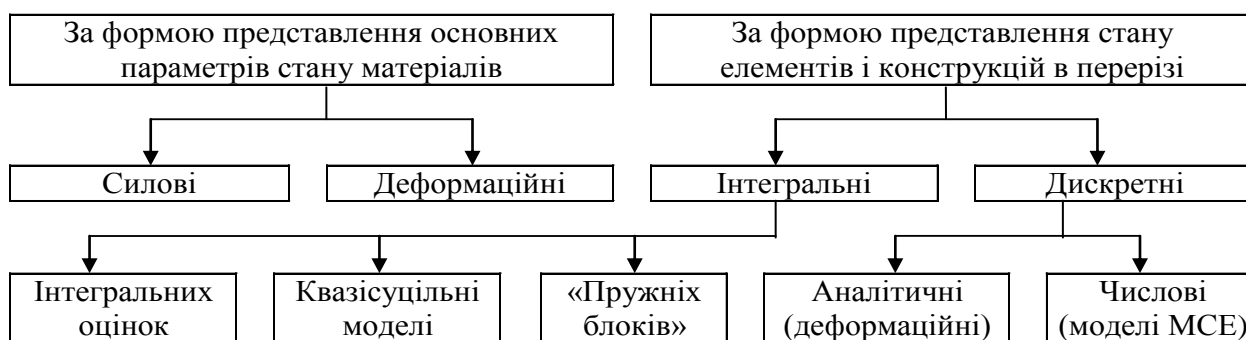


Рис. 1. Класифікація моделей опору залізобетонних елементів конструкцій силовим впливом

З метою розкриття статичної невизначеності зазначеної системи вона доповнюється аналітичною залежністю узагальненої діаграми стану залізобетонних елементів  $M - 1/r$ . Завдяки гіпотезі «нелінійності» жорсткості [13], що виражена залежністю (2):

$$M / (1/r) = A - B \cdot (1/r) / (1/r_u) - C \cdot M / M_u, \quad (2)$$

ця діаграма отримана у вигляді неправильної дробово-лінійної функції (рис. 2) виду:

$$M = \frac{D_o \cdot 1/r - M_u \cdot ((1/r) / (1/r_u))^2}{1 + (D_o / M_u - 2 / (1/r_u)) \cdot (1/r)}, \quad (3)$$

де  $A$  – значення повної початкової ( $D_o$ ) жорсткості залізобетонного елемента;

$M_u$  – несуча здатність залізобетонного стержня (максимально зусилля в ньому при настанні граничного стану);

$1/r_u$  – граничне значення кривини елемента при вичерпанні їм несучої здатності.

Універсальність діаграми стану залізобетонного елемента полягає в тому, що за певних вихідних умов вона (рис. 2) трансформується у загальновідому діаграму стану бетону (рис. 3):

$$\sigma_c = f_{ck} \cdot \frac{E_{co} \cdot \varepsilon_c / (E_{cu} \cdot \varepsilon_{cu}) - (\varepsilon_c / \varepsilon_{cu})^2}{1 + (E_{co} / E_{cu} - 2) \cdot (\varepsilon_c / \varepsilon_{cu})}, \quad (4)$$

де  $f_{ck}$  – характеристичне значення міцності бетону на стиск;

$E_{co}$  – початкове значення модуля пружності (деформацій) бетону;

$E_{cu}$  – граничне значення січного модуля деформацій бетону;

$\varepsilon_{cu}$  – граничне значення граничних відносних деформацій стиснутого бетону.

Таким чином, із десятків відомих на сьогодні діаграм стану (деформування) бетону отримана в [11] діаграма стану залізобетонного елемента (3) обґрунтовує ту, що закладена в Єврокод-2 [14].

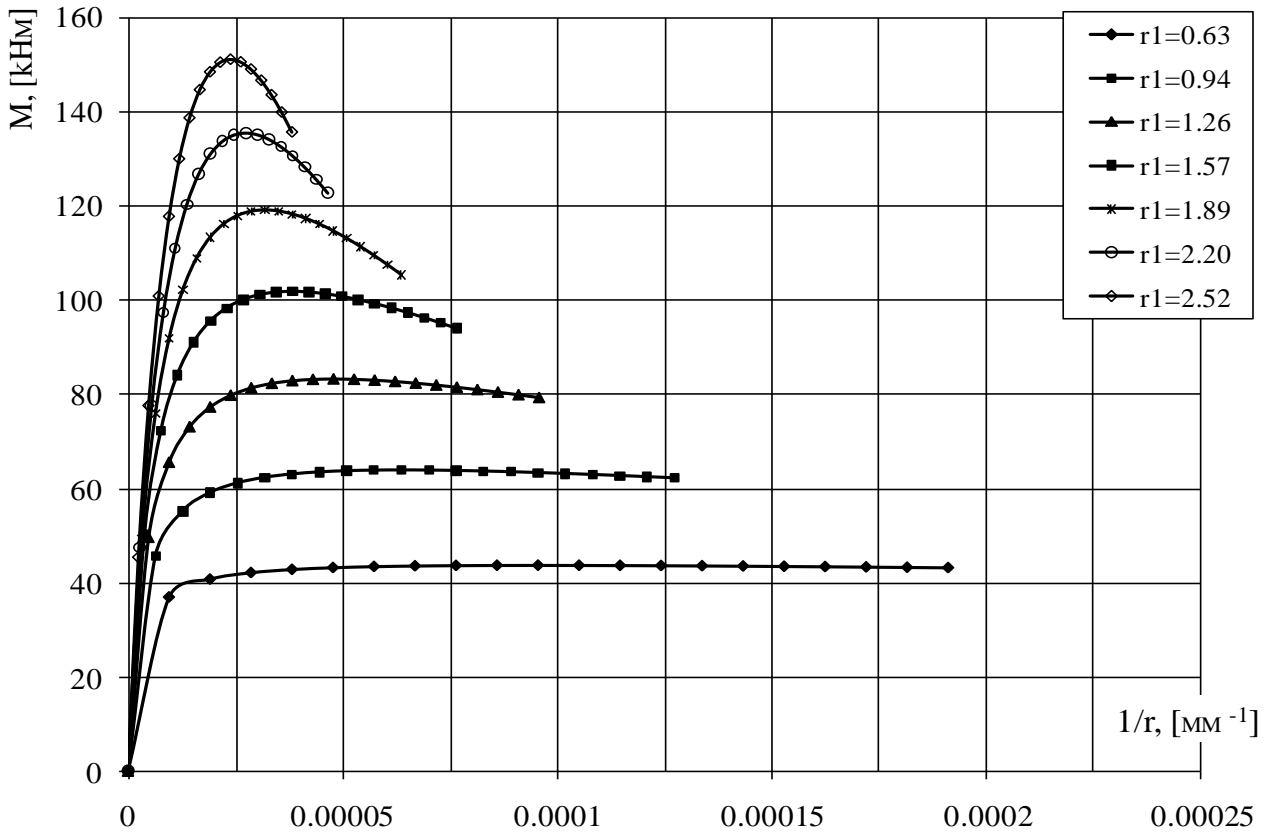


Рис. 2. Форми діаграм стану згинального залізобетонного елемента залежно від відсотка його армування ( $\rho_1 = 0.63 - 2.52$ )

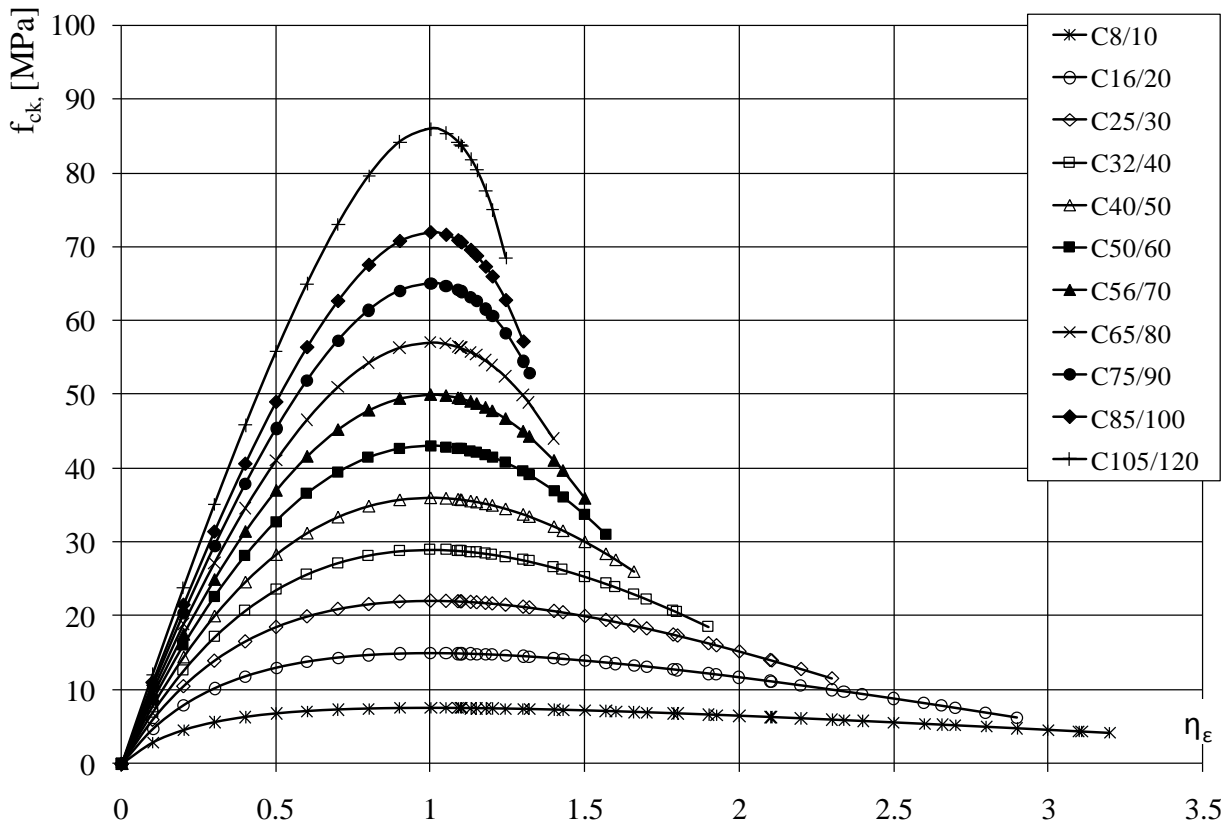


Рис. 3. Форми діаграм деформування стиснутого бетону залежно від його класу

Не менш важливим є й те, що універсальна діаграма стану залізобетонних елементів (3) забезпечує єдиний методологічний підхід до їх розрахунку за граничними станами незалежно від наявності чи відсутності в них тріщин. Оскільки визначальним параметром в ній є кривина:

$$\frac{1}{r} = \frac{1/r_u}{2M_u} \left[ \left(1 - \frac{M}{M_u}\right) \frac{D_o}{r_u} + 2M - \sqrt{\left(\left(1 - \frac{M}{M_u}\right) \frac{D_o}{r_u} + 2M\right)^2 - 4M \cdot M_u} \right], \quad (5)$$

то це дозволяє пов'язати стан залізобетонного елемента в осередненому розрахунковому перерізі з деформаціями матеріалів за допомогою гіпотези плоских перерізів:

$$1/r = (\varepsilon_{c2} + \varepsilon_{s1})/d \quad \text{або} \quad 1/r = (\varepsilon_{c2} + \varepsilon_{co})/h, \quad (6)$$

де  $\varepsilon_{c2}$  – поточні значення відносних деформацій найбільш стиснутої грані бетону;

$\varepsilon_{co}$  – поточні значення відносних деформацій найменш стиснутої грані бетону (за відсутності розтягу);

$\varepsilon_{s1}$  – поточні значення відносних деформацій найбільш розтягнутої арматури;

$h$  і  $d$  – відповідно, загальна та робоча висота перерізу елемента.

Загалом відомо, що геометричні співвідношення в системі рівнянь МДТТ (1) можуть реалізовуватися за допомогою гіпотези плоских перерізів або ж на підставі депланації поперечних перерізів [15]. Тому використання гіпотези плоских перерізів в деформаційно-силовій моделі повністю обґрунтовано та виправдано, оскільки в ній діаграма стану залізобетонного елемента (3) завжди характеризує тільки осереднений переріз його певної ділянки (наприклад, блоку між тріщинами) і ніякий інший. У зв'язку з цим, великий сумнів викликають рішення, в яких справедливість гіпотези плоских перерізів після появи тріщин в залізобетонних елементах заперечується лише декларативно. Без надання будь-яких пропозицій щодо депланації поперечних перерізів, автори продовжують необґрунтовано використовувати зазначену гіпотезу для перерізів між тріщинами [16] або ж при формуванні «двоконсольного елемента» в перерізі з тріщиною [9].

Третьою визначальною гіпотезою для деформаційно-силовій моделі є гіпотеза граничної рівноваги, яка безпосередньо пов'язується з критеріями граничного стану залізобетонних елементів. Саме загальним критерієм вичерпання несучої здатності залізобетонних елементів і конструкцій є порушення рівноваги зусиль в їх перерізах за відповідними умовами:

$$M_{Ed} \leq M_u \quad \text{і} \quad N_{Ed} \leq N_u, \quad (7)$$

де  $M_{Ed}$  та  $N_{Ed}$  – відповідно, розрахункові значення згинального моменту та поздовжнього зусилля від зовнішнього навантаження;

$N_u$  – максимальне поздовжнє зусилля в елементі при настанні граничного стану за 1-ю групою.

Перша з цих умов є більш загальною (жорсткою), оскільки за дії тільки осьових навантажень вона трансформується в другу. Відповідно до першої умови рівноваги, задача проектування бетонних та залізобетонних елементів завжди зводиться до пошуку або використання у розрахунках їх максимальної несучої здатності  $M_u$ .

Згідно ж математичних закономірностей реалізацію вказаної задачі доцільно виконувати за допомогою відомого критерію Ферма (екстремального критерію несучої здатності)  $dM/d(1/r) = 0$ . Слід зауважити, що за осьового навантаження залізобетонного елемента він трансформується до вигляду  $dN/d\varepsilon = 0$  [11]. Саме цей критерій, а не  $dM/d\varepsilon = 0$  [17], і є основним як для деформаційно-силової, так і для деформаційної моделі, оскільки, на відміну від інших, має певний фізичний (жорсткісний) зміст. Але основне значення критерію Ферма полягає в тому, що він дозволяє визначати (прогнозувати) не тільки граничну кривину залізобетонного елемента  $1/r_u$ , але й граничні деформації матеріалів, зокрема стиснутого бетону  $\varepsilon_{cu}$ . Отримана з допомогою критерію Ферма функція граничних деформацій стиснутого бетону  $\varepsilon_{cu} = f(\varepsilon_{si}, \rho_{li}, x_{si}, m_h, m_b)$  [12] слугує другим доповненням до системи рівнянь МДТТ

(1), що разом з (3) сприяє розкриттю її статичної невизначеності.

Самі ж граничні деформації стиснутого бутону  $\varepsilon_{cu}$  не можуть слугувати критерієм вичерпання несучої здатності залізобетонних елементів не тільки за причинно-наслідковим зв'язком параметрів деформування [11], але й тому, що:

- вони є змінними, а не фіксованими величинами;
- деформації залежать від багатьох факторів: умов роботи (випробування) та виду деформування, наявності та відсотка армування, тобто від діаграми стану елемента;
- на відміну від напружень деформації матеріалів на діаграмах  $\sigma_c - \varepsilon_c$  не мають пікових «екстремальних» значень.

Більше того, розв'язок системи рівнянь МДТТ (1) в рамках деформаційних моделей є вкрай складним, а тому виконується ітераційним шляхом за числовими методами (МСЕ). Але навіть тут критерієм збіжності ітераційних розрахунків слугує силова умова  $M_{Ed} = M_u$ , а не деформаційний параметр  $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$  чи  $\varepsilon_s = \varepsilon_{yk}$ . Граничні деформації матеріалів можна використовувати лише для обмеження несучої здатності залізобетонних елементів за певних обставин (надмірних прогинів, надмірної ширини розкриття тріщин, тощо).

Інакше кажучи, в деформаційно-силової моделі увага акцентується не на критеріях вичерпання несучої здатності залізобетонних елементів, а на критеріях настання їх граничного стану (табл. 1).

Таблиця 1 – Критерії граничного стану залізобетонних елементів за 1-ю групою

Модель	Критерії		
	Загальний	Основний	Похідний (обмежувальний)
Силова		$\sigma_c = f_{cd}; \sigma_s = f_{yd}$	
Деформаційна		$dM / d(1/r) = 0; dN / d\varepsilon = 0;$ $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}; \varepsilon_s = \varepsilon_{yk}$	
Деформаційно-силова	Силовий $M_{Ed} \leq M_u$ ( $N_{Ed} \leq N_u$ )	Деформаційно-силовий $dM / d(1/r) = 0$ ( $dN / d\varepsilon = 0$ )	Деформаційний $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}; \varepsilon_s = \varepsilon_{yk}$

**Висновки.** Таким чином, сформовані вище основи загальної теорії деформування бетону і залізобетону відрізняють її від інших існуючих теорій не тільки замкнутістю рішень та методологічною єдністю всіх розрахунків за граничними станами, але й тим, що вона:

- базується на узагальненій деформаційно-силової моделі опору залізобетонних елементів і конструкцій силовим впливам;
- описується загально визнаною системою рівнянь (співвідношень) МДТТ, яка, завдяки її доповненням континуальною аналітичною залежністю «момент-кривина» та функцією граничних деформацій стиснутого бетону, перетворюється із статично невизначної в статично визначну;
- ґрунтується на використанні визначальних гіпотез плоских перерізів, нелінійної зміни (нелінійності) жорсткості та граничної рівноваги;
- наділена строгими критеріями настання граничного стану залізобетонних елементів і конструкцій.

### Література

1. Лолейт А. Ф. Инструкция для подбора сечений железобетонных элементов по критическим усилиям / А. Ф. Лолейт. – М.: ВНИИТОБ, 1933. – 82 с.

2. Пастернак П. Л. Замечания к проекту новых норм проектирования железобетонных конструкций / П. Л. Пастернак // Строительная промышленность. – 1944. – №7. – С. 20-23.
3. Гвоздев А. А. Расчёт несущей способности конструкций по методу предельного равновесия: сущность метода и его обоснование / А. А. Гвоздев. – М.: Госстройиздат, 1949. – 280 с.
4. Гольденблат И. И. Основные положения метода расчета строительных конструкций по расчетным предельным состояниям и нагрузкам / И. И. Гольденблат. – М.: Госстройиздат, 1955. – 35 с.
5. Байков В. Н. Напряженно-деформированное состояние железобетонных элементов на базе обобщенных экспериментальных зависимостей физико-механических характеристик бетона и арматуры / В. Н. Байков // Вопросы прочности, деформативности и трещиностойкости железобетона: сб. науч. трудов. – Ростов-на-Дону: РИСИ, 1980. – С.3-11.
6. Гольшев А. Б. К разработке прикладной теории расчёта железобетонных конструкций / А. Б. Гольшев, В. Я. Бачинский // Бетон и железобетон. – 1985. – №6. – С. 16-18.
7. Бамбура А. М. Експериментальні основи прикладної деформаційної теорії залізобетону: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01 / Бамбура Андрій Миколайович. – Київ, 2005. – 379 с.
8. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона / Н. И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
9. Бондаренко В. М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – Санкт-Петербург – Москва: АСВ, 2004. – 472 с.
10. Митрофанов В. П. Предельная сжимаемость бетона нормальных сечений железобетонных элементов / В. П. Митрофанов, С. И. Арцев // Проблемы теорії і практики залізобетону: зб. наук. статей. – Полтава: ПДТУ ім. Ю. Кондратюка, 1997. – С. 333-337.
11. Ромашко В. М. Деформаційно-силова модель опору бетону і залізобетону: монографія / В. М. Ромашко. – Рівне: О. Зень, 2016. – 424 с.
12. Romashko V. The construction peculiarities of the deformation and power model of concrete and reinforced concrete resistance / V. Romashko, O. Romashko // MATEC Web of Conf. 116, 02028, (2017).
13. Ромашко В. М. Жорсткість та модуль деформацій бетону в деформаційній моделі / В. М. Ромашко // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – № 6. – С. 2-6.
14. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings: EN 1992-1-1, (Final Draft, December, 2004). – Brussels: CEN. – 2004. – 225 p. – (Європейський стандарт).
15. Бондаренко В. М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона / В. М. Бондаренко, С. В. Бондаренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 287 с.
16. Кочкаръов Д. В. Нелінійний опір залізобетонних елементів і конструкцій силовим впливам: монографія / Д. В. Кочкаръов. – Рівне: О. Зень, 2015. – 384 с.
17. Павліков А. М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косозавантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії: монографія / А. М. Павліков. – Полтава: ПНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2007. – 259 с.

### References

- [1] A.F. Loleit, *Ynstruktsiya dlia podbora sechenyi zhelezobetonnykh elementov po krytycheskym usulyam*, VNYITOB, Moskva, 1933.
- [2] P.L. Pasternak, "Zamechaniya k proektu novykh norm proektyrovaniya zhelezobetonnykh konstruktsiy", *Stroytelnaia promyshlennost*, no. 7, pp. 20-23, 1944.
- [3] A.A. Hvozdev, *Raschët nesushchei sposobnosti konstruktsiyi po metodu predelnogo ravnovesiya: sushchnost metoda y eho obosnovanye*, Hosstroiyzdat, Moskva, 1949.
- [4] Y.Y. Holdenblat, *Osnovnye polozheniya metoda rascheta stroytelnykh konstruktsiyi po raschetnym predelnym sostoianiyam y nahruzkam*, Hosstroiyzdat, Moskva, 1955.

- [5] V.N. Baikov, Napriazhenno-deformirovannoe sostoianye zhelezobetonnykh elementov na baze obobshchennykh eksperymentalnykh zavysymostei fyzyko-mekhanicheskyykh kharakterystyk betona y armatury, *Voprosy prochnosti, deformatyvnyosti y treshchynostoikosty zhelezobetona: sb. nauch. trudov*, RYSY, Rostov-na-Donu, 1980, pp. 3-11.
- [6] A.B. Holyshev, V.Ia. Bachynskiy, "K razrabotke prykladnoi teoryy raschëta zhelezobetonnykh konstruktsiy", *Beton y zhelezobeton*, no. 6, pp. 16-18, 1985.
- [7] A.M. Bambura, Eksperymentalni osnovy prykladnoi deformatsiinoi teorii zalizobetonu: dys. dokt. tekhn. nauk, NDYBK, Kyiv, 2005.
- [8] N.Y. Karpenko, *Obshchye modely mekhaniky zhelezobetona*, Stroiyzdat, Moskva, 1996.
- [9] V.M. Bondarenko, V.Y. Kolchunov, *Raschetnye modely sylovoho soprotivleniya zhelezobetona*, ASV, Sankt-Peterburh, Moskva, 2004.
- [10] V.P. Mytrofanov, S.Y. Artsev, Predelnaia szhymaemost betona normalnykh secheniy zhelezobetonnykh elementov, *Problemy teorii i praktyky zalizobetonu: zb. nauk. statei, PDTU*, Poltava, 1997, pp. 333-337.
- [11] V.M. Romashko, *Deformatsiino-sylova model oporu betonu ta zalizobetonu*, O.Zen, Rivne, 2016.
- [12] V. Romashko, O. Romashko, The construction peculiarities of the deformation and power model of concrete and reinforced concrete resistance, *Matec Web Conf*, 116 02028, 2017.
- [13] V.M. Romashko, "Zhorstkist ta modul deformatsii betonu v deformatsiinii modeli", *Beton y zhelezobeton v Ukrainy*, no. 6 pp. 2-6, 2007.
- [14] EN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of Concrete Structures, CEN, Brussels, 2004.
- [15] V.M. Bondarenko, S.V. Bondarenko, *Ynzhenernye metody nelyneinoi teoryy zhelezobetona*, Stroiyzdat, Moskva, 1982.
- [16] D.V. Kochkarov, *Neliniinyi opir zalizobetonnykh elementiv i konstruktsii sylovym vplyvam*, O. Zen, Rivne, 2015.
- [17] A.M. Pavlikov, *Neliniina model napruzhenno-deformovanoho stanu kosozavantazhenykh zalizobetonnykh elementiv u zakrytychnii stadii*, PNTU, Poltava, 2007.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ

**Ромашко В.Н.**, д.т.н., доцент,  
romashkovasyl@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3448-7489

**Ромашко Е.В.**, старший преподаватель,  
romashkoolena@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3353-2268

*Национальный университет водного хозяйства и природопользования*

**Аннотация.** В статье приведен критический анализ различных теорий сопротивления железобетонных элементов и конструкций силовым воздействиям с позиций выбора: моделей их деформирования; предположений, гипотез и предпосылок, необходимых для реализации указанных моделей; критериев наступления характерных, в том числе и предельных, состояний указанных элементов и конструкций. Установлены основные недостатки этих теорий относительно описания напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов и конструкций на всех стадиях их деформирования.

Указаны базовые и одновременно определяющие элементы общей теории деформирования бетона и железобетона, а именно: деформационно-силовая модель сопротивления железобетонных элементов и конструкций силовым воздействиям; гипотезы «нелинейности» жесткости, плоских сечений и предельного равновесия, как обязательные и необходимые для реализации указанной модели; общий силовой, основной деформационно-силовой и производный деформационный критерии достижения предельного состояния железобетонных элементов и конструкций. Все вышеперечисленные элементы общей теории деформирования бетона и железобетона объединены между собой системой соотношений



или уравнений механики деформируемого твердого тела. С помощью ряда дополнительно полученных аналитических зависимостей: обобщенной диаграммы состояния железобетонных элементов и функции предельных деформаций сжатого бетона – эта система превращается из статически неопределимой в статически определимую.

Сформированные выше элементы общей теории деформирования бетона и железобетона отличают ее от других существующих теорий замкнутостью решений и методологическим единством всех расчетов по предельным состояниям (по несущей способности, прогибам и трещиностойкости). Определяющая роль в этом принадлежит функции кривизны, полученной непосредственно из аналитической зависимости обобщенной диаграммы состояния элемента «момент-кривизна». Именно с ее помощью состояние железобетонного элемента в усредненном расчетном сечении связывается непосредственно с деформациями материалов.

**Ключевые слова:** теория бетона и железобетона, элементы, конструкции, закономерности деформирования.

### **BASIC PROVISIONS OF THE GENERAL THEORY OF DEFORMATION OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND CONSTRUCTIONS**

**Romashko V.M.**, DSc, Associate Professor,  
romashkovasyl@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3448-7489

**Romashko O.V.**, Senior Lecturer,  
romashkoolena@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3353-2268  
*National University of Water Management and Nature Recourses Use, Rivne*

**Abstract.** The article presents a critical analysis of various theories of reinforced concrete elements and structures resistance to force effects from the standpoint of choice: models of their deformation; assumptions, hypotheses and preconditions necessary for the implementation of these models; criteria for the occurrence of characteristic, including the limiting states of these elements and structures. The main drawbacks of these theories relatively to the description of the stress-strain state of reinforced concrete elements at all stages of their deformation are established.

These basic and at the same time defining elements of the general theory of the deformation of concrete and reinforced concrete are indicated: the deformation-force model of the reinforced concrete elements and structures resistance to force effects; hypotheses of "nonlinearity" of rigidity, flat sections and limiting equilibrium, as mandatory and necessary for the implementation of this model; general force, basic deformation-force and derivative deformation criteria for achieving the limiting state of reinforced concrete elements and structures. All the above elements of the general theory of the concrete and reinforced concrete deformation are combined with each other by a system of relations or equations of the mechanics of a deformable solid body. With the help of the additionally obtained analytical dependences of the generalized reinforced concrete elements state diagram and the function of compressed concrete limiting deformations, this system becomes statically outstanding.

The elements of the concrete and reinforced concrete deformation general theory, formed above, distinguish it from other existing theories by the closeness of solutions and the methodological unity of all calculations for limiting states (by bearing strength, deflection and crack resistance). The decisive role in this belongs to the curvature function, obtained directly from the analytical dependence of the generalized element state diagram "moment-curvature". Exactly with its help the reinforced concrete element state in the averaged design section is directly related to the materials deformations.

**Keywords:** theory of concrete and reinforced concrete, elements, structures, patterns of deformation.