

УДК 624.012.3/4:69.059

**ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ЗГИНАЮТЬСЯ**

Кандидати техн. наук **О. О. Довженко, В. В. Погрібний** (ПолтНТУ), начальник ПКВ  
**В. Г. Кобилецький** (АТ «Укртранснафта»), студент **Т. О. Совенко** (ПолтНТУ)

**TO THE QUESTION OF THE TECHNICAL CONDITION EVALUATION OF BENDING  
REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS**

PhD (Tech.) **O. Dovzhenko, PhD (Tech.) V. Pohribnyi**, head of PCED **V. Kobyletskyi**,  
student **T. Sovenko**

---

---

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.184.2019.176097>

---

---

*Вказано на неоднозначність у визначеннях категорій технічного стану будівельних конструкцій. Для залізобетонних конструкцій наведено уточнені формулювання категорій, в яких усунуто неоднозначність їх трактувань. Запропоновано додаткові класифікаційні ознаки технічного стану. На основі результатів дворівневого оцінювання несучої здатності*

встановлено межю між не придатним до нормальної експлуатації та аварійним станами. Обґрунтовано перспективність використання екстремальних властивостей деформації бетону для вдосконалення розрахунку несучої здатності згинальних елементів.

**Ключові слова:** категорія технічного стану, несуча здатність, дворівневе оцінювання, екстремальні властивості деформації.

*It is indicated on the ambiguity of the categories definition characterizing the technical condition of building structures. The phrases "the impossibility of guaranteeing the integrity of the structure" and "the possibility of ensuring its integrity" in the existing wording of the categories in standards lead to an intuitive installation of them, which may lead to errors. For reinforced concrete structures, the specified wording of categories is given, in which the ambiguity of their interpretations is eliminated. On the basis of the results of two-level evaluation of the bearing capacity, a boundary between the unsuitable for normal operation and the emergency technical conditions is determined. It is offered to determine the state of structure as unsuitable for normal operation, when the bearing capacity of this structure is not provided by current standards, but it is provided by the normative method that it was preceded and operated for many years. To the emergency state should be attributed the structures, bearing capacity of which is not provided in both methods. The pointed out does not contradict the current standards, but it establishes a clear line between these states. Additional classification marks of technical condition are suggested. The prospect of using the theory of plasticity and extreme properties of concrete deformation parameters for the improvement of the method of calculating the bearing capacity of bending reinforced concrete elements are substantiated. To calculate the elements in the normal section according to the nonlinear deformation model, an important role is played by the determination of the values of the limit concrete strain in the most compressed fibers, in excess of which there is the restructuring of concrete. To determine the limit of the restructuring, it is proposed to apply the criterion for maximum deformation energy. To determine the value of the ultimate loading under the shear, a variational method in the theory of plasticity and an upper bound of the limit load value are used, which corresponds to the minimum of the power of plastic strain. The results of calculating the strength of concrete and reinforced concrete elements are confirmed experimentally. It should be noted that the localization of plastic deformation in thin layers on the surface of elements destruction is realized also in less plastic high-strength concretes.*

**Keywords:** category of technical condition, bearing capacity, two-level evaluation, extreme properties of deformations.

**Вступ.** Для забезпечення надійної експлуатації будівельних конструкцій важливе значення має обґрунтована оцінка їх технічного стану. Особливої ролі вона набуває за наявності дефектів і пошкоджень, які впливають на несучу здатність, невідповідності характеристик міцності матеріалів конструкцій проектному рішення та при збільшенні навантажень у результаті реконструкції й технічного переоснащення будівель і споруд. Ефективність захисту, ремонту, підсилення та підвищення експлуатаційної надійності конструкцій залежить від точності встановлення категорій їх

технічного стану, що визначають перелік необхідних заходів. Із наданням чинності нормативним документам [1–3] суттєво збільшилися значення снігового навантаження та коефіцієнтів надійності будівель і споруд за відповідальністю, при застосуванні яких запаси міцності конструкцій виявляються частково або повністю вибраними. Тому для експлуатаційної надійності, насамперед складних об'єктів з підвищеною відповідальністю, до яких належить велика кількість споруд залізничного транспорту з безперервним режимом роботи або термін припинення експлуатації яких обмежений,

своєчасність та ефективність запобіжних заходів щодо збереження конструкцій і об'єктів у цілому є визначальними. Вказане обумовлює актуальність цього дослідження для будівельної галузі. Особливо це стосується широко розповсюджених на практиці конструкцій, що згинаються, розрахунок яких доволі складний, і на їх несучу здатність впливає велика кількість факторів. Для обґрунтованої оцінки необхідно, з одного боку, забезпечити однозначність формулювання категорій, які характеризують технічний стан, а з іншого – вдосконалити методи розрахунку конструкцій на основі деформаційної та дискової моделей і фермової аналогії. Перспективним є використання екстремальних властивостей деформування і теорії пластичності бетону.

**Аналіз останніх досліджень і наукових публікацій.** Урахуванню впливу різних факторів на технічний стан конструкцій останнім часом присвячено цілу низку наукових досліджень. Так, вплив небезпечних геологічних процесів досліджено в [4], динамічних навантажень на конструкції великих прогонів та їх стикові з'єднання – у [5], високих температур – у [6], пошкоджень залізобетонних конструкцій з поглибленим моніторингом технічного стану та визначенням залишкової здатності в [7–9], на важливість ймовірного підходу наголошено в [10]. Отримано вагомі досягнення у вирішенні питань визначення технічного стану, але в нормах [11] залишилася певна неоднозначність встановлення категорій, які характеризують не придатний до нормальної експлуатації та аварійний стани.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою статті є підвищення точності визначення категорій технічного стану залізобетонних конструкцій, що згинаються. Для її досягнення вирішуються завдання усунення неоднозначності при встановленні категорій, внесення додаткових кваліфікаційних ознак технічного стану, використання

дворівневого оцінювання несучої здатності конструкцій та удосконалення методики їх розрахунку на основі застосування екстремальних властивостей параметрів деформації.

**Основна частина дослідження.** Технічний стан окремих конструкцій та будівель і споруд у цілому визначається сукупністю якісних та кількісних експлуатаційних показників. Вони порівнюються із параметрами, заданими в нормативній і проектній документації, та характеризують експлуатаційну придатність.

Дослідження присвячено вивченню роботи залізобетонних конструкцій, що згинаються, як найбільш поширених у практиці. Запит на удосконалення методики оцінювання їх технічного стану обумовлено наданням чинності як нормативним документам [1–3], що підвищують значення навантажень і коефіцієнтів відповідальності об'єктів, так і нормам з розрахунку конструкцій [12]. При цьому одержані за чинними нормами результати суттєво відрізняються від отриманих за попередньою нормативною методикою [13], якою користувалися понад 30 років і за якою запроєктовано велику кількість існуючих об'єктів.

На першому етапі обстеження технічний стан конструкцій оцінюється за наведеним в [11] переліком кваліфікаційних ознак, які його характеризують. Аналіз результатів обстежень залізобетонних конструкцій будівель і споруд вказує на доцільність доповнення вказаного переліку низкою додаткових ознак. Так, замочування з порушенням монолітності бетону (рис. 1) знижує зчеплення захисного шару бетону з арматурою, що у подальшому призводить до її корозії, і стан конструкцій слід оцінювати як задовільний – категорія «2». За наявності тріщин уздовж арматури та слідів іржі на поверхні бетону в зоні її анкерування (рис. 2) технічний стан конструкції може характеризуватися як категорією «2», так і категоріями «3» – стан не придатний до нормальної експлуатації

або «4» – аварійний, що обумовлює необхідність невідкладного його встановлення за результатами докладного інструментального обстеження.

Надалі категорію технічного стану уточнюють за результатами розрахунку несучої здатності й огорожувальної спроможності. За чинними нормами [11] категорії, що характеризують технічний стан конструкцій при зниженні їх несучої

здатності, однозначно класифікувати складно. Наявність у формулюваннях категорій аварійного та не придатного до нормальної експлуатації технічних станів конструкцій виразів відповідно «неможливість гарантувати цілісність конструкції» та «можливість забезпечення її цілісності» не дає чіткого критерію щодо їх розмежування.



Рис. 1. Замочування двосхилої балки та ребристих плит покриття



Рис. 2. Оголення та корозія арматури плити перекриття в зоні анкерування

Разом з тим слід зазначити, що попередні норми з розрахунку залізобетонних конструкцій [13], визначення значень навантажень та впливів [14] і рівня надійності об'єктів [15] створили нормативну на час їх дії базу для

проектування та умови забезпечення тривалого терміну безаварійної і надійної експлуатації конструкцій та будівель і споруд у цілому. З введенням чинного пакета норм [1–3, 12] рівень навантажень і впливів, за якого несуча здатність

конструкцій, що згинаються, забезпечена, значно знижений. Це створює суттєві проблеми щодо обґрунтованого визначення технічного стану існуючих конструкцій, які запроєктовані за попередніми нормами [13–15], та їх подальшої надійної експлуатації. Вказане обґрунтовує необхідність уточнення формулювання категорій не придатного до нормальної експлуатації й аварійного станів залізобетонних конструкцій. Пропонується наведена нижче редакція.

Технічний стан конструкції не придатний до нормальної експлуатації – категорія "3": несуча здатність конструкції за ДБН В.2.6-98:2009 з дотриманням вимог ДБН В.1.2-2:2006 і ДБН В.1.2-14-2009 не забезпечена, але при перевірних розрахунках за методикою СНиП 2.03.01-84\* з дотриманням вимог СНиП 2.01.07-85 і ГОСТ 27751-88 забезпечена, або неможлива реалізація захисних функцій за наявності фізичного зносу, який менше або дорівнює 60 %.

Технічний стан конструкції аварійний – категорія "4": несуча здатність конструкції незабезпечена як за методикою ДБН В.2.6-98:2009 з дотриманням вимог ДБН В.1.2-2:2006 і ДБН В.1.2-14-2009, так і за методикою СНиП 2.03.01-84\* з дотриманням вимог СНиП 2.01.07-85 і ГОСТ 27751-88, або остаточно втрачена можливість реалізації захисних функцій конструкції при фізичному зносі, що перевищує 60 %.

Таким чином, факт незабезпечення несучої здатності конструкцій засвідчу-

ється перевірними розрахунками за ДБН В.2.6-98:2009, а ступень небезпеки її зниження – за СНиП 2.03.01-84\*. Тобто пропонується дворівневе оцінювання несучої здатності, що вносить однозначність у визначення категорій технічного стану конструкцій. При цьому виникає необхідність уточнення цих рівнів шляхом удосконалення методів розрахунку залізобетонних конструкцій на основі найбільш перспективних і поширених деформаційної та дискової моделей і «фермової аналогії». Одним із шляхів удосконалення є використання екстремальних властивостей деформації та теорії пластичності бетону.

При розрахунку згинальних елементів у нормальному перерізі за нелінійною деформаційною моделлю важливу роль відіграє встановлення значень граничної деформації бетону в найбільш стиснутій фібрі, при перевищенні яких відбувається його деструктуризація. Для визначення межі деструктуризації пропонується застосувати критерій максимуму енергії деформування.

Як залежність між напруженнями  $\sigma_c$  та деформаціями  $\epsilon_c$  бетону в [12] прийнято дробово-раціональну функцію. За похідною функції енергії деформування

$$\frac{\partial \sigma_c \epsilon_c}{\partial \epsilon_c} = 0 \quad (1)$$

отримана залежність для визначення граничної деформації бетону

$$\epsilon_{cu} = \frac{\epsilon_{c1}}{2k-4} \left[ \sqrt{\left( \frac{k^2 - 2k - 3}{2} \right)^2 + 4k^2 - 8k + \frac{k^2 - 2k - 3}{2}} \right], \quad (2)$$

де  $k \neq 2$  – параметр дробово-раціональної функції, що характеризує властивості бетону та визначається за [12] (при  $k = 2 \epsilon_{cu} = 4\epsilon_{c1} / 3$ ).

Зрізна форма руйнування в межах умовного бетонного елемента та стиснутої зони над небезпечною тріщиною у похилому перерізі обумовлює

перспективність використання для розрахунку міцності на дію поперечної сили теорії пластичності. Передумови її використання до бетону наведені в [16, 17]. Для визначення величини граничного навантаження при зрізі використовується варіаційний метод у теорії пластичності [18, 19] та верхня оцінка граничного рівня навантаження, який відповідає мінімуму потужності пластичної деформації. Результати розрахунку міцності бетонних та залізобетонних елементів підтверджені експериментально [20–22]. При цьому слід зазначити, що локалізація пластичної деформації у тонких шарах на поверхні руйнування елементів реалізується і у менш пластичних високоміцних бетонах [22].

**Висновки.** У нормативних документах існує певна неоднозначність трактувань категорій не придатного до нормальної експлуатації й аварійного технічних станів існуючих будівель і споруд, що зменшує ефективність проведення заходів щодо їх ремонту та підсилення.

Уточнено формулювання категорій технічного стану залізобетонних конструкцій, що згинаються, при зниженні їх несучої здатності, що однозначно його характеризують. Рекомендовано як не

придатний до нормальної експлуатації розглядати стан, при якому несуча здатність конструкцій не забезпечена за результатами розрахунку згідно з чинними нормами та забезпечена при оцінюванні за нормативною методикою, що їм передувала. До аварійного стану слід відносити конструкції, несуча здатність яких не забезпечена за обома методиками. Дворівневе оцінювання дозволить вилучити з опису категорій технічного стану формулювання «неможливість гарантувати цілісність» та «можливість забезпечення цілісності», які не мають точної кількісної оцінки.

Для попереднього визначення технічного стану конструкцій в існуючий перелік пропонується внести додаткові кваліфікаційні ознаки.

Підвищення точності оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій за несучою здатністю полягає в удосконаленні методів їх розрахунку з використанням нелінійної деформаційної та дискової моделей і «фермової аналогії» на основі теорії пластичності й екстремальних властивостей деформації бетону та встановленні обґрунтованих меж застосування кожної з них.

### Список використаних джерел

1. ДБН В.1.2-2: 2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-01-01]. Київ, 2006. 60 с.
2. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. [Чинний від 2009-12-01]. Київ, 2009. 30 с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-16: 2013. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва. [Чинний від 2013-09-01]. Київ, 2013. 37 с.
4. Червинський Я. Й. та ін. Дослідження технічного стану будівель та споруд при небезпечних геологічних процесах. *Наука та будівництво*. 2014. № 2. С. 17–24.
5. Савин С. Н., Ситников И. В. Результаты динамического мониторинга конструкций большого пролета из сборного железобетона. *Будівельні конструкції*. 2011. Вип. 74, Кн. 2. С. 424–432.
6. Отрош Ю. А. Методика визначення технічного стану будівельних конструкцій виробничих будівель після пожежі. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. № 160. С. 110–119.

7. Голоднов А. И. Определение остаточного ресурса железобетонных конструкций в условиях действующих предприятий. *Будівельні конструкції*. 2005. Вип. 62, Т. 2. С. 138–143.
8. Krakhmal'ny T.A., Evtushenko S.I., Krakhmal'naya M.P. Improvement of a Method of Calculation of a Residual Resource of Small. *Reinforced Concrete Bridge Constructions Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. P. 1797–1803.
9. Клименко Є. В., Дорофеев В. С. Організація робіт з моніторингу технічного стану залізобетонних конструкцій. *Дороги і мости*. Вип. 7, Т.1. С. 223–230.
10. Wu S., Clements-Croome D., Fairey V. Reliability in the Whole Life Cycle of Building Systems. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2006. Vol. 13 (2). P. 136–153.
11. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. [Чинний від 2017-04-01]. Київ, 2017. 44 с.
12. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, 2011. 71 с.
13. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. Москва, 1989. 88 с.
14. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Москва, 1988. 36 с.
15. ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. Москва, 1988. 6 с.
16. Mitrofanov V., Pogrebnoy V., Dovzhenko O. Strength of Concrete Elements Under Shear Action According to the Theory of Plasticity and tests. Proceeding of the 2<sup>nd</sup> fib Congress, June 5-8 2006. Naples, Italy. P. 284–285.
17. Митрофанов В. П., Довженко О. О., Погрібний В. В. Про можливість застосування передумови про ідеальну пластичність до бетону. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2002. Вип. 7. С. 118–124.
18. Довженко О. О., Погрібний В. В., Чурса Ю. В. Методика розрахунку шпонкових з'єднань залізобетонних елементів. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2013. № 755. Теорія і практика будівництва. С. 111–117.
19. Pohribnyi V. Dovzhenko O, Karabash L. The design of concrete elements strength under local compression based on the variational method in the plasticity theory. *Web of Conferences*. 2017. Vol. 116, 02026.
20. Dovzhenko O., Pogrebnyi V., Yurko I. The bearing capacity experimental determination of the keyed joints models in the transport construction. *Web of Conferences*. 2017. Vol. 116, 02011.
21. Sørensen J. H. Test and lower bound modeling of keyed shear connections in RC shear walls. *Engineering Structures*. 2018. Vol. 155 (115).
22. Довженко О. О., Погрібний В. В., Куриленко О. О. Про можливість застосування теорії пластичності до розрахунку міцності елементів із високоміцного бетону. *Коммунальное хозяйство городов*. 2012. Вып. 105. С. 74–82.

---

Довженко Оксана Олександрівна, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.: (050) 982-58-54. E-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com.

Погрібний Володимир Володимирович, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.: (050) 982-58-53. E-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com.

Кобилецький Володимир Георгійович, начальник проектно-кошторисного відділу територіального офісу м. Кременчук АТ «Укртрансфаста». Тел.: (099) 275-61-41. E-mail: vladimirgk1980@gmail.com.

Совенко Тетяна Олександрівна, студентка Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел. (096) 564-91-48. E-mail: jtanyajwinx@gmail.com.

---

Dovzhenko Oksana, PhD (Tech.), Associate Professor, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures and Resistance of Materials, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: (050) 982-58-54. E-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com.

Pohribnyi Volodymyr, PhD (Tech.), Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures and Resistance of Materials, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Тел.: (050) 982-58-53. Tel.: (050) 982-58-53. E-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com.

Kobyletskyi Volodymyr, Head of project-cost estimate Department regional office. Kremenchug JSC “Ukrtransnafta”. Tel.: (099) 275-61-41. E-mail: vladimirgk1980@gmail.com.

Sovenko Tetiana, Student, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: (096) 564-91-48. E-mail: jtanyajwinx@gmail.com.

Статтю прийнято 16.04.2019 р.

---

---