

UDC 624.154.3

ANALYSIS OF THE SUSTAINABILITY OF A SPATIAL BUILDING

V. Fomin¹, I. Fomina¹

¹*Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

Abstract: Concrete columns are important elements of building structures that provide stability and load-bearing capacity to buildings. However, their durability can be significantly reduced when exposed to aggressive environments such as chemicals, moisture, salt, acid rain, etc. Asymmetric exposure to such environments can lead to uneven concrete failure, which affects the spatial stability of the column.

The main factors affecting column stability: 1. Aggressive environment: chemical corrosion of concrete and reinforcement, uneven impact on different parts of the column (for example, one side of the column is more exposed to moisture or chemicals), cracking and loss of concrete strength. 2. Mechanical loads: asymmetrical loading of the column due to external factors (wind, earthquakes, uneven weight distribution of the structure), Additional stresses in concrete and reinforcement. 3. Design features: rigid clamping of the column (clamping) limits its ability to deform, which can lead to stress concentration, the presence of reinforcement and its condition (corrosion of reinforcement significantly reduces the bearing capacity of the column).

Consequences of asymmetric impact: uneven deformation: One side of the column may deteriorate faster, resulting in a tilted or distorted structure, reduced bearing capacity: loss of concrete and reinforcement strength reduces the column's ability to support loads, risk of failure: uneven exposure can lead to sudden collapse of the column, which can endanger the entire structure.

Measures to improve stability: 1. Protection against aggressive environment: use of chemical-resistant materials (e.g. special concrete grades), application of protective coatings on the column surface (waterproofing, anti-corrosion coatings). 2. Design solutions: increasing the thickness of the protective layer of concrete around the reinforcement, use of corrosion-resistant composite reinforcement. 3. Monitoring and maintenance: regular inspection of the column for cracks, corrosion and other defects, carry out repair work to eliminate damage. 4. Calculations and design: consideration of the impact of aggressive environment at the design stage, use of software to model column behaviour under asymmetric loads.

The spatial stability of a rigidly clamped concrete column under asymmetric aggressive environment depends on many factors, including the quality of materials, design solutions and operating conditions. To ensure the durability and safety of the structure, it is necessary to take into account all these aspects at the design stage and regularly carry out preventive measures.

Keywords: reinforced concrete, corrosion, stability, boundary element method, finite element method, frame, spatial stability, buildings and structures.

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ ПРОСТОРОВОЇ БУДІВЛІ

Фомін В. М.¹, Фоміна І. П.¹

¹*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

Анотація: Бетонні колони є важливими елементами будівельних конструкцій, які забезпечують стійкість та несучу здатність будівель. Однак їхня довговічність може бути значно знижена під впливом агресивних середовищ, таких як хімічні речовини, волога, сіль, кислотні дощі тощо. Несиметричний вплив таких середовищ може призводити до нерівномірного руйнування бетону, що впливає на просторову стійкість колони.

Основні фактори, що впливають на стійкість колони: 1. Агресивне середовище: Хімічна корозія бетону та арматури, нерівномірний вплив на різні частини колони (наприклад, одна сторона колони більше піддається впливу вологи або хімічних речовин), утворення тріщин та



втрата міцності бетону. 2. Механічні навантаження: несиметричне навантаження колони через зовнішні фактори (вітер, землетруси, нерівномірний розподіл ваги конструкції), виникнення додаткових напружень у бетоні та арматурі. 3. Конструктивні особливості: жорстке затискання колони (защемлення) обмежує її можливість до деформацій, що може призводити до концентрації напружень, наявність арматури та її стан (корозія арматури значно знижує несучу здатність колони).

Наслідки несиметричного впливу: нерівномірна деформація: одна сторона колони може руйнуватися швидше, що призводить до нахилу або викривлення конструкції, зниження несучої здатності: Втрата міцності бетону та арматури зменшує здатність колони витримувати навантаження, ризик руйнування: Нерівномірний вплив може призвести до раптового руйнування колони, що становить загрозу для всієї конструкції.

Заходи для підвищення стійкості: захист від агресивного середовища: використання стійких до хімічних впливів матеріалів (наприклад, спеціальні марки бетону), нанесення захисних покриттів на поверхню колони (гідроізоляція, антикорозійні покриття). 2. Конструктивні рішення: збільшення товщини захисного шару бетону навколо арматури, використання композитної арматури, стійкої до корозії. 3. Моніторинг та обслуговування: регулярний огляд колони на наявність тріщин, слідів корозії та інших дефектів, проведення ремонтних робіт для усунення пошкоджень. 4. Розрахунки та проектування: врахування впливу агресивного середовища на етапі проектування, використання програмного забезпечення для моделювання поведінки колони при несиметричних навантаженнях.

Просторова стійкість жорстко затиснутої бетонної колони за несиметричного впливу агресивного середовища залежить від багатьох факторів, включаючи якість матеріалів, конструктивні рішення та умови експлуатації. Для забезпечення довговічності та безпеки конструкції необхідно враховувати всі ці аспекти на етапі проектування та регулярно проводити профілактичні заходи.

Ключові слова: залізобетон, корозія, стійкість, метод граничних елементів, метод кінцевих елементів, рама, просторова стійкість, будівлі та споруди.

1 INTRODUCTION

In the process of operation, buildings and structures are affected by the external environment for a long time and, as an example, corrosion. This greatly complicates the durability and functionality of objects.

2 ANALYSIS LITERARY DATA AND PROBLEMS STATEMENT

Spatial stability of concrete columns is an important problem in structural mechanics, especially when exposed to aggressive media. Unsymmetrical impact of such media can lead to material degradation, change of mechanical properties and, as a consequence, to the loss of structural stability. In this review, the main approaches to analysing the stability of rigidly clamped concrete columns under asymmetric effects of aggressive media are discussed.

The foundations of the theory of structural stability were laid in the works of Euler, who first considered the problem of longitudinal bending of a rod. For concrete columns, the works devoted to the consideration of nonlinear material properties and geometrical nonlinearity are of great importance.

The rigid pinching of the column in the foundation or slab significantly affects its stability. The works [1, 2] consider the methods of taking into account rigid pinching in stability calculations.

Aggressive media (acids, alkalis, salts) can cause corrosion of concrete and reinforcement, which leads to a decrease in the strength and stiffness of the structure. The main mechanisms of concrete degradation under the influence of different media are described in [3, 4].

Non-uniform exposure to aggressive media can be caused by non-uniform distribution of the medium around the column (e.g., on one side). This leads to non-uniform degradation of the material and, as a consequence, to the occurrence of additional stresses and deformations [5].

Modern methods of stability analysis include the use of finite element analysis (FEA), which allows taking into account nonlinear material properties and geometrical nonlinearity. In [6, 7], examples of using FEA to analyse the stability of concrete columns are presented.

Experimental studies play an important role in the validation of numerical models. In [8, 9], experiments to determine the stability of concrete columns under the influence of aggressive media are described.

In order to account for the asymmetric effects of aggressive media, it is necessary to model the material degradation process. In [10, 11], models that take into account non-uniform distribution of degradation along the column cross-section are proposed.

Non-symmetrical degradation leads to changes in the distribution of stresses and deformations, which can significantly reduce the column stability. The works [12] consider methods of accounting for this effect in stability calculations.

Analysis of the literature shows that the spatial stability of rigidly clamped concrete columns under asymmetric effects of aggressive media is a complex problem requiring the consideration of many factors. Modern methods of analysis, including numerical and experimental approaches, make it possible to obtain more accurate estimates of the stability of such structures. However, further research is needed to develop more advanced models that take into account all aspects of the effects of aggressive media on concrete structures.

3 PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE RESEARCH

In the present paper, a more complex case is considered when two of the adjacent side faces are corroded, with the onset of corrosion processes in the faces not coinciding in time.

4 RESEARCH RESULTS

The column is a corner in the structure and the diagonal partition starts from it (Fig. 1). We will call these two faces internal.

We denote the inner face perpendicular to the axis by number 1, and the face perpendicular to the axis by number 2.

When investigating the stability of the column, we will follow the algorithm described earlier.

In this case, we will define the values of critical forces as

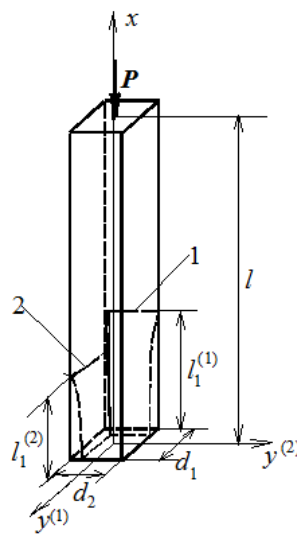


Fig. 1. Corner column

for loss of stability in the plane $xy^{(1)}$, and in the plane $xy^{(2)}$. It is clear that the loss of stability will occur at the lower of them.

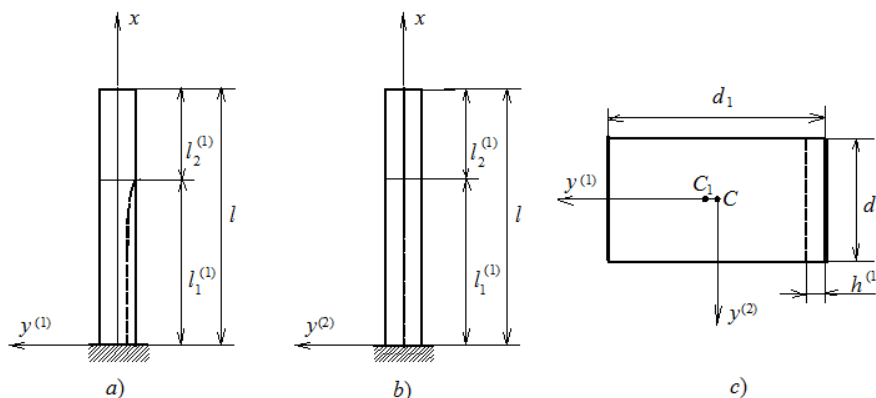


Fig. 2. Longitudinal sections of the column

Let the beginning of the corrosion process in face 1 corresponds to $t = 0$, and at the edge of 2 $t = t_0^{(2)} > 0$.

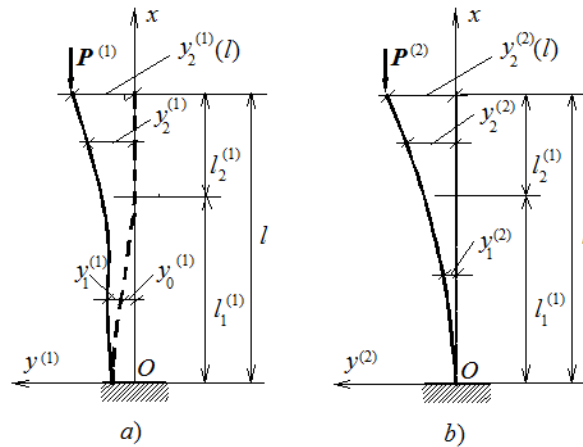


Fig.3. Dashed line column in the plane

Let's consider the stability of the column on the time interval $0 \leq t < t_0^{(2)}$. Longitudinal sections of the column by planes $xy^{(1)}$ и $xy^{(2)}$ re presented in Fig. 2a) и 2b). The height and depth of the corroded layer are determined by the following formulas

$$l_1^{(1)}(t) = v_0 t, \quad h^{(1)}(x, t) = h_0 e^{-\beta v_0 / [l_1^{(1)}(t) - x]}. \quad (1)$$

Let's call the centreline geometric location of the centres of gravity of the uncorroded cross-sections of the column (in Fig. 2c) the centre of gravity of the uncorroded part of the cross-section is designated C1). In Fig. 3a) the dashed line shows the centreline of the column in the plane $xy^{(1)}$. In the plane $xy^{(2)}$, it coincides with the column axis. Following the algorithm outlined earlier, we construct the critical force equation:

$$F_1^{(i)}(P^{(i)}, t) \cos k_2^{(i)} + F_2^{(i)}(P^{(i)}, t) \sin k_2^{(i)} - 1 = 0 \quad (i = 1, 2). \quad (2)$$

Here index i corresponds to the loss of stability in the plan:

$$xy^{(i)} \quad (i = 1, 2), \quad k_2^{(i)} = l \sqrt{P^{(i)} / E_0 J_2^{(i)}}, \quad J_2^{(1)} = d_2 d_1^3 / 12, \quad J_2^{(2)} = d_1 d_2^3 / 12,$$

$$F_1^{(i)}(P^{(i)}, t) = [Z_1^{(i)}(\lambda_1^{(1)}(t), t) - 1] k_2^{(i)} \cos k_2^{(i)} \lambda_1^{(1)}(t) - Z_1^{(i)'}(\lambda_1^{(1)}(t), t) \sin k_2^{(i)} \lambda_1^{(1)}(t),$$

$$F_2^{(i)}(P^{(i)}, t) = [Z_1^{(i)}(\lambda_1^{(1)}(t), t) - 1] k_2^{(i)} \sin k_2^{(i)} \lambda_1^{(1)}(t) + Z_1^{(i)'}(\lambda_1^{(1)}(t), t) \cos k_2^{(i)} \lambda_1^{(1)}(t),$$

$$Z_1^{(i)}(\xi, t) = \sum_{k=1}^{\infty} Z_{1,k}^{(i)}(\xi, t) (\varepsilon^{(i)})^k, \quad Z_{1,k}^{(i)}(\xi, t) = \sum_{j=0}^{\infty} f_j^{(i,k)} \xi^j, \quad \xi = \frac{x}{l}, \quad \varepsilon^{(i)} = P^{(i)} l^2 / E_0,$$

$$\lambda_1^{(1)}(t) = l_1^{(1)}(t) / l, \quad f_j^{(i,k)} - \text{coefficients, which are defined } f_j^{(i)}(t), \quad f^{(1)}(\xi, t) = \frac{12}{d_2 [d_1 - h^{(1)}(\xi, t)]^3} \text{ and } f^{(2)}(\xi, t) = \frac{12}{[d_1 - h^{(1)}(\xi, t)] d_2^3} \text{ in } f^{(i)}(\xi, t) = \sum_{j=0}^{\infty} f_j^{(i)}(t) \xi^j \quad (i = 1, 2).$$

To determine the critical forces, we use equation (2), in which we should assume:

$$f^{(1)}(\xi, t) = 12 / [d_2 - h^{(2)}(\xi, t)] [d_1 - h^{(1)}(\xi, t)]^3,$$
$$f^{(2)}(\xi, t) = 12 / [d_1 - h^{(1)}(\xi, t)] [d_2 - h^{(2)}(\xi, t)]^3.$$

The other designations remain as above.

5 DISCUSSION OF RESEARCH RESULTS

After all the calculations have been carried out, it can be said with certainty that the use of this method can show how reliably the structure is operated and it is quite easy to calculate its long-term use under the action of any aggressive environment.

6 CONCLUSIONS

The method for investigation of nonuniplanar stability of concrete columns with taking into account nonsymmetrical aggressive environmental impact is offered, what allows their on-time strengthening to secure the reliability of constructions.

7 ETHICAL DECLARATIONS

The authors have no relevant financial or non-financial interests to report.

References

1. Fomina I.P. Ustoichevost zelezobetonoy P-obraznoy rami pod deystviem agressivnoy sredy, Visnik ODABA, vol. 57, pp. 265-273, Odessa, 2014.
2. Blihariskiy Z.Y. "Zalizobetonni konstrukcii v agresivnomu seredovischi za dii navantazheniya tai h pidsileniya", Lviv, 2011.
3. Blihariskiy Z.Y. Naprujeno-deformovany stan zalizobetonnyh konstruktsiy v agresivnomu seredovischi pri dii Lvivska politehnika". – L., 2005. – 348 ark.: ris., tabl. – Bibliogr.: ark. 298-338.
4. Doslidjenya napruzeno-deformovanogo stanu zalizobetonnyh konstruktsiy zagliblenyh budivel z urahuvanyam ih vzaemodii z gruntovim masivov. T. D. Nikiforova Visnik PDABA № 1-2, 2013
5. Vliyanie dlitelnyh procesov na napryajenoe i deformirovanoe sostoyanie sooruzheniy. Prokopovich I.E. Gosudarstvenoe izdatelstvo literaturi po stroitelstvu, arhitekture i stroitelnim materialam. M. 1963, 260 s.
6. Kostochka V.A. Vliyanie okruzhayushchey sredy na sostoyanie zalizobetonnyh konstruktsiy. Akademiya stroitelstva i arhitektury SamGTU №12, 2019, s. 56-59.
7. Long-term deflections of reinforced concrete elements: accuracy analysis of predictions by different methods. Viktor Gribniak, Darius Bacinskas, Rimantas Kacianauskas, Gintaris Kaklauskas, Lluís Torres. Received: 2 November 2011 / Accepted: 28 July 2012 / Published online: 15 August 2012.
8. DSTU B V.-145:2010 Zahist betonih I zalizobetonih konstrukciy vid korozii – K. Minregionbud, 2010. – 52 s.
9. Zarakovskaya K.I., Zaharov V.F. Oпитные диаграммы состояния бетона составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой после длительных испытаний. //Вестник Евразийской науки, 2018 №3, <https://esj.today/PDF/33SAVN418.pdf>.
10. Krainskiy P.I., Mitsnist ta deformativnist zalizobetonih stisnuto - zignutih elementiv, pidsilenih zalizobetonou oboymou pri dii navantazheniya Speciálnist 05.23.01 – Budivelni konstrukcii, budivli ta sporudi. Disertaciya na zdobutya naukovoogo stupenya kandidata tehnicnih nauk.
11. K. Sadeghi, F. Nouban, "Damage and fatigue quantification of RC structures", Structural Engineering and Mechanics, 58 (6), pp. 1021–1044, 2016.
12. M.M. Lobodanov, P.I. Vehera, Z.Ya Blihariskiy, "Analiz vplyvu osnovnykh vydiv defektiv ta poshkodzen na zalizobetonnu zdannist zalizobetonnykh elementiv", Visnyk Natsionalnoho

- universytetu «Lvivska politehnika», seria «Teoriia i praktyka budivnytstva», № 888, pp. 93-100, 2018.
13. E. Sola, J. Ožbolt, G. Balabanic, “Modelling Corrosion of Steel Reinforcement in Concrete: Natural vs. Accelerated Corrosion”, Conference Paper: 9th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. <https://doi.org/10.21012/FC9.097>, 2016.

Література

1. Фомина И.П. Устойчивость П-образной железобетонной рамы подверженной воздействию агрессивной среды// Вісник ОДАБА. Вып.57, – Одесса, 2014.
2. Бліхарський З.Я. Залізобетонні конструкції в агресивному середовищі за дії навантаження та їх підсилення. Львів. 2011.
3. Бліхарський З. Я. Напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій в агресивному середовищі при дії навантаження : дис. д-ра техн. наук: 05.23.01 / Національний ун-т "Львівська політехніка". — Л., 2005. — 348арк.: рис., табл. — Бібліогр.: арк. 298-338.
4. Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій заглиблених будівель з урахуванням їх взаємодії з ґрунтовим масивом. Т. D. Nikiforova Вісник ПДАБА № 1-2, 2013.
5. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояния сооружений. Прокопович И.Е. Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. М. 1963, 260 страниц.
6. Косточка В.А. Влияние окружающей среды на состояние железобетонных конструкций. Академия строительства и архитектуры СамГТУ №12, 2019,стр. 56-59.
7. Long-term deflections of reinforced concrete elements: accuracy analysis of predictions by different methods.Viktor Gribniak, Darius Bacinskas, Rimantas Kacianauskas, Gintaris Kaklauskas, Lluís Torres. Received: 2 November 2011 / Accepted: 28 July 2012 / Published online: 15 August 2012.
8. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії – К. Мінрегіонбуд, 2010.-52 с.
9. Зараковская К.И., Захаров В.Ф. Опытные диаграммы состояния бетона составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой после длительных испытаний // Вестник Евразийской науки, 2018 №3, <https://esj.today/PDF/33SAVN418.pdf> .
10. Країнський Павло Іванович Міцність та деформативність залізобетонних стиснуто - зігнутих елементів, підсилених залізобетонною обоймою при дії навантаження Спеціальність 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.
11. Sadeghi K., Nouban F. Damage and fatigue quantification of RC structures. Structural Engineering and Mechanics. 2016. 58 (6), pp. 1021–1044.
12. Лободанов М.М., Вегера П.І., Бліхарський З.Я. Аналіз впливу основних видів дефектів та пошкоджень на залізобетонну здатність залізобетонних елементів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка», серія «Теорія і практика будівництва». 2018. № 888. С. 93-100.
13. Sola E., Ožbolt J., Balabanic G. Modelling Corrosion of Steel Reinforcement in Concrete: Natural vs. Accelerated Corrosion. Conference Paper: 9th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. 2016. <https://doi.org/10.21012/FC9.097>.

Фомін Володимир Михайлович

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
д.т.н., професор
вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна 65029
Fomin@odaba.edu.ua
ORCID: 0000-0003-4814-6415



Фоміна Інна Петрівна

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
старший викладач
вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна 65029
Fomina@ogasa.org.ua
ORCID: 0000-0001-7366-1537

For references:

V. Fomin , I. Fomina. (2025). Analysis of the sustainability of a spatial building. Mechanics and Mathematical Methods. VII (1). 58–65.

Для посилань:

Фомін В. М., Фоміна І. П. Аналіз стійкості просторової будівлі.
Механіка та математичні методи, 2025. Т. VII. № 1. С. 58–65.