

UDC 624.154.3

## CALCULATION OF REINFORCED -CONCRETE FRAME FOR STABILITY UNDER THE ACTION OF AGGRESSIVE ENVIRONMENT

V. Fomin<sup>1</sup>, I. Fomina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

**Abstract.** The stability of a double-span reinforced concrete frame depends on many factors, including the geometry of the frame, the characteristics of the materials, the loads it must withstand, and the operating conditions. One of the main factors that affect the stability of the frame is its shape. The optimal shape of the frame should be such that it can effectively distribute the loads it must withstand and minimize stresses in the materials. Another factor is the quality of the materials used to build the frame. Reinforced concrete is a durable material, but its strength can vary greatly depending on the quality of the concrete and reinforcement used in the structure.

The load that the frame must withstand is also an important factor. Frames can be subject to loads from wind, snow, traffic, people, and other sources, and they must be designed to withstand all of these loads. In addition, operating conditions can affect the stability of the frame.

For example, frames located in areas where earthquakes occur frequently should be designed and built with this factor in mind. In general, the stability of a double-span reinforced concrete frame depends on many factors, and its design and construction must be carefully thought out and executed by professionals taking into account all these factors.

The stability of frames (such as metal frames) under environmental influences can depend on various factors, including material, surface treatment and operating conditions. The environment may include moisture, corrosives, temperature changes and wear, which can affect the stability of frames. Some materials, such as stainless steel, aluminum or alloys, have natural resistance to oxidation and corrosion, which ensures their long service life in various environments. Other materials, such as ordinary steel, may be more susceptible to corrosion, and therefore require protective coatings, such as painting or electroplating, to maintain their stability. Additionally, if frames are used in high humidity environments, measures can be taken to prevent icing or condensation, such as well-designed drainage or ventilation systems. In addition, frames can be subjected to endurance and stability tests according to established norms and standards, which are based on the specific production of frames. At the same time, in order to ensure the stability of the frames for the activity of the northern environment, it is important to obitate the foreign material.

**Keywords:** reinforce concrete, corrosion, stability, method of limit elements, method of finite elements, frame, delivery and arrangement.

## РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ РАМИ НА СТІЙКІСТЬ ПІД ДІЄЮ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА

Фомін В. М.<sup>1</sup>, Фоміна І. П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

**Анотація.** Стійкість двопрогонувої залізобетонної рами залежить від багатьох факторів, включаючи геометрію рами, характеристики матеріалів, навантаження, які вона повинна витримувати, і умови експлуатації.

Одним із основних факторів, що впливають на стійкість рами, є її форма. Оптимальна форма рами повинна бути такою, щоб вона могла ефективно розподіляти навантаження, які вона повинна витримувати, і мінімізувати напруження в матеріалах.

Іншим фактором є якість матеріалів, що використовуються для будівництва рами. Залізобетон є міцним матеріалом, але його міцність може сильно варіюватися в залежності від якості бетону і арматури, що використовуються в конструкції.

Навантаження, яке має витримувати рама, також є важливим фактором. Рами можуть бути схильні до навантажень від вітру, снігу, транспорту, людей та інших джерел, і вони повинні бути спроектовані таким чином, щоб витримувати всі ці навантаження.

Крім того, умови експлуатації можуть вплинути на стійкість рами. Наприклад, рами, розташовані на місцевості, де часто відбуваються землетруси, мають бути спроектовані та побудовані з урахуванням цього фактора.

В цілому, стійкість двопрогонової залізобетонної рами залежить від багатьох факторів, і її проектування та будівництво повинні бути ретельно продумані та виконані професіоналами з урахуванням усіх цих факторів.

Стійкість рам (як, наприклад, металевих рам) під дією навколишнього середовища може залежати від різних факторів, включаючи матеріал, обробку поверхні та умови експлуатації. Навколишнє середовище може включати в себе вологу, агресивні речовини, температурні зміни і зношування, які можуть впливати на стійкість рам.

Деякі матеріали, наприклад, нержавіюча сталь, алюміній або сплави, мають природну стійкість до окислення та корозії, що забезпечує їх тривалий термін служби в різних середовищах. Інші матеріали, такі як звичайна сталь, можуть бути більш схильні до корозії, і тому вимагають захисних покриттів, таких як фарбування або гальванічне покриття, для збереження їх стійкості.

Додатково, якщо рами використовуються в середовищі з високою вологістю, можуть бути вжиті заходи для запобігання заledenінню або утворенню конденсату, такі як добре розроблені системи дренажу або вентиляції.

Крім того, рами можуть бути піддані випробуванням на витривалість та стійкість відповідно до встановлених норм і стандартів, які залежать від конкретного застосування рам.

У загальному випадку, для забезпечення стійкості рам під дією навколишнього середовища, важливо обирати відповідний матеріал.

**Ключові слова:** железобетон, коррозия, устойчивость, метод граничных элементов, метод конечных элементов, рама, здания и сооружения.

## 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 OF LITERARY DATA AND PROBLEM STATEMENT

The methodology for calculating the stability of reinforced concrete structures, including a two-span reinforced concrete frame, is determined by regulatory documents and standards of the construction industry in accordance with safety requirements [1-5]. One of the most common methods for calculating the stability of reinforced concrete structures is the Finite Element Method (FEM), which allows you to carry out complex calculations for the strength and stability of structures, taking into account all the necessary factors. To calculate the stability of reinforced concrete structures, including a double-span reinforced concrete frame, it is necessary to take into account factors such as the shape and geometry of the structure, the materials from which it is made, the loads it must withstand, and the operating conditions.

The following factors must also be taken into account in stability calculations: Compressed and flexural stresses caused by loads; Stresses caused by bending moment and longitudinal force; Various types of loads, such as static, dynamic and fatigue. The influence of temperature, wind and other factors on the structure [6-8]. Calculations for the stability of reinforced concrete structures can be carried out both manually, using mathematical formulas and tables, and using specialized software tools based on the finite element method. However, to ensure the safety of the structure, such calculations must be performed by professional engineers who have the necessary qualifications [9-12].

## 3 PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE RESEARCH

In this article, the stability of a two-span reinforced concrete frame under aggressive environmental conditions is investigated.

## 4 RESEARCH RESULTS

The frame is part of the structure of a single-story industrial building (Fig. 1). The corrosive environment is located inside the building, so the side columns of the frame are exposed to asymmetrical environmental influences.

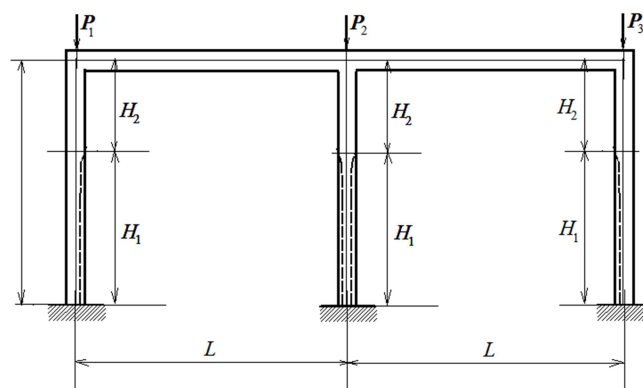


Fig. 1. Double-span frame

To determine the critical combination of loads  $P_1$ ,  $P_2$  and  $P_3$  we will use the method of boundary elements [1]. On each of the rods, a local coordinate system is selected (Fig. 2, rod

numbers are placed in circles, node numbers are in squares). For each rod, write the following equality:

$$Y^{(i)} = A^{(i)}(l_i)X^{(i)}. \tag{1}$$

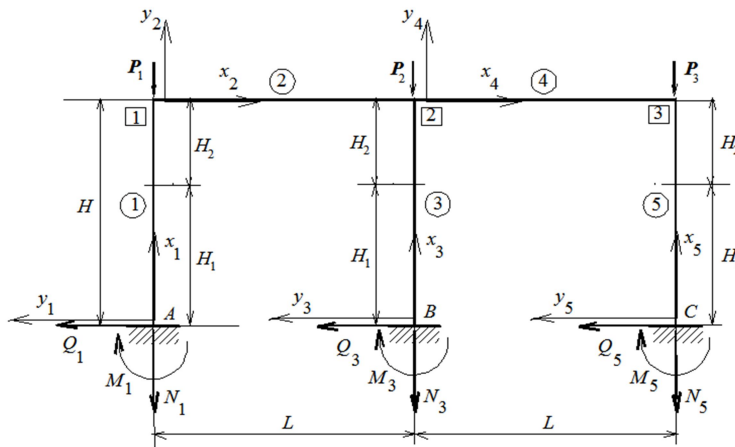


Fig. 2. Forces acting on the frame

In here:

$$X^{(i)} = \begin{bmatrix} B_i(0)y_i(0) \\ B_i(0)y_i'(0) \\ M_i(0) \\ Q_i \\ N_i \end{bmatrix}, \quad Y^{(i)} = \begin{bmatrix} B_i(l_i)y_i(l_i) \\ B_i(l_i)y_i'(l_i) \\ M_i(l_i) \\ Q_i \\ N_i \end{bmatrix}, \tag{2}$$

$$A^{(i)}(k_i, x_i) = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2}(k_i, x_i) & a_{1,3}(k_i, x_i) & a_{1,4}(k_i, x_i) & 0 \\ 0 & a_{2,2}(k_i, x_i) & a_{2,3}(k_i, x_i) & a_{2,4}(k_i, x_i) & 0 \\ 0 & a_{3,2}(k_i, x_i) & a_{3,3}(k_i, x_i) & a_{3,4}(k_i, x_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

( $i$  – rod number,  $B_i(x_i)$  – its flexural rigidity,  $M_i(x_i)$ ,  $Q_i$ ,  $N_i$  – bending moment, transverse and longitudinal forces). If the cross-section of the rod and reinforcement remain unchanged along its length, then the functions  $a_j(x_i)$  ( $j = 1, 2, 3; k = 2, 3, 4$ ) have the following form:

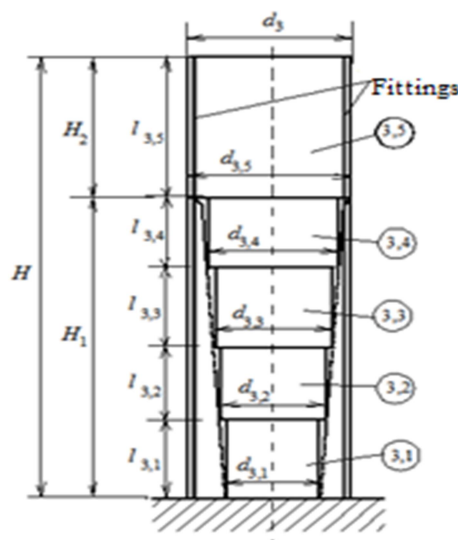


Fig. 3. Breaking the rod into parts

$$\begin{aligned}
 a_{1,2}(k_i, x_i) &= \frac{\sin k_i x_i}{k_i}, & a_{1,3}(k_i, x_i) &= \frac{1 - \cos k_i x_i}{k_i^2}, & a_{1,4}(k_i, x_i) &= \frac{k_i x_i - \sin k_i x_i}{k_i^3}, \\
 a_{2,2}(k_i, x_i) &= \cos k_i x_i, & a_{3,2}(k_i, x_i) &= -k_i \sin k_i x_i, & k_i &= \sqrt{\frac{N_i}{B_i}}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

In Fig. 2 points  $A$ ,  $B$  and  $C$  show the two components of the support reaction and the reactive moment. They are presented in the form of longitudinal and transverse forces and bending moment in the lower section of rods 1, 2 and 3 (the drawing shows their positive directions). Following [1] we build matrices  $A^{(1)}$  and  $A^{(5)}$  for rods 1 and 5. To construct the matrix  $A^{(3)}$ , we do the same. We divide the rod 3 into several sections, within each of which the cross-section will be considered constant (Fig. 3). Each of the sections, as well as its length and width, received double numbering. The first of the numbers is the rod number and the second is the parcel number.

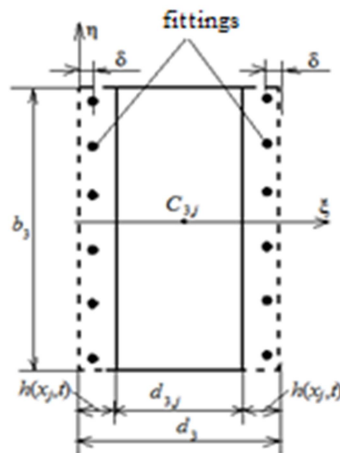


Fig. 4. Cross-section of the site

The cross-section of each of the sections is shown in Fig. 4. Considering the conditions of continuity of functions  $y_1(x_1)$  and  $y_1'(x_1)$  on the boundaries of the parcels, you can write the following ratio:

$$\mathbf{X}^{(3,j+1)} = \mathbf{C}^{(3,j)} \mathbf{Y}^{(3,j)}.
 \tag{4}$$

Where is

$$\mathbf{C}^{(3,j)} = \begin{bmatrix} B_{3,j+1} / B_{3,j} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_{3,j+1} / B_{3,j} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

For the first section we have:

$$\mathbf{Y}^{(3,1)} = \mathbf{A}^{(3,1)}(k_{3,1}, l_{3,1}) \mathbf{X}^{(3)}, \quad \mathbf{X}^{(3)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_3 \\ Q_3 \\ N_3 \end{bmatrix}.
 \tag{5}$$

For subsequent:

$$X^{(3,i)} = C^{(3,i-1)} Y^{(3,i-1)}, Y^{(3,i)} = A^{(3,i)}(k_{3,i}, l_{3,i}) X^{(3,i)}. \quad (6)$$

From (5) and (6) we get for the last section:

$$Y^{(3,n_{pl})} = A^{(3,n_{pl})}(k_{3,n_{pl}}, l_{3,n_{pl}}) \prod_{i=1}^{n_{pl}-1} C^{(3,i)} A^{(3,i)}(k_{3,i}, l_{3,i}) X^{(3)}. \quad (7)$$

( $n_{pl}$  – number of plots). Given that  $Y^{(3,n_{pl})} = Y^{(3)}$ , we find that

$$A^{(3)} = A^{(3,n_{pl})}(k_{3,n_{pl}}, l_{3,n_{pl}}) \prod_{i=1}^{n_{pl}-1} C^{(3,i)} A^{(3,i)}(k_{3,i}, l_{3,i}), \quad (8)$$

i. e. we get a matrix  $A^{(3)}$  for the rod 3. In [1] the following ratio is obtained:

$$X^{(2)} = D^{(1)} Y^{(1)} + \hat{P}_1, D^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 / B_1(l_1) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \hat{P}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ P_1 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

From which it follows that:

$$Y^{(2)} = A^{(2)}(k_2, L) (D^{(1)} A^{(1)} X^{(1)} + \hat{P}_1). \quad (10)$$

Equality (1) at  $i = 3$  and  $i = 5$  it is written as follows:

$$Y^{(i)} = A^{(i)} X^{(i)}, X^{(i)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_i \\ Q_i \\ N_i \end{bmatrix} (i = 3, 5). \quad (11)$$

Where is  $Q_i, N_i, M_i (i = 3, 5)$  – reference reactions and reactive moments at points  $B$  and  $C$  (Fig. 2).

Let us now consider the equilibrium of the boundary element 2 located between the members 2, 3 and 4 (Fig. 5). Let's make the equations of equilibrium.

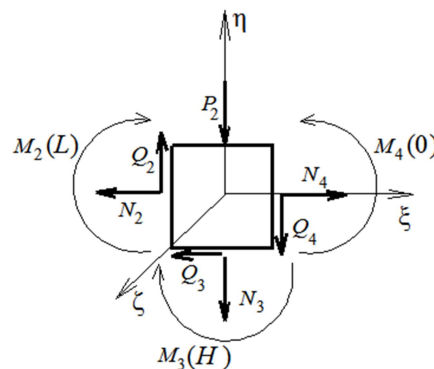


Fig. 5. Boundary element

$$\begin{aligned} N_4 - N_2 - Q_3 &= 0, \\ Q_2 - N_3 - Q_4 - P_2 &= 0, \\ M_4(0) - M_2(L) - M_3(H) &= 0. \end{aligned} \tag{12}$$

Let's also take into account the ratios:

$$y_4(0) = 0, \quad y_4'(0) = y_2'(L). \tag{13}$$

Equations (12) and (13) can be written as follows:

$$X_1^{(4)} = 0, \quad X_2^{(4)} = Y_2^{(2)}, \quad X_3^{(4)} = Y_3^{(2)} + Y_3^{(3)}, \quad X_4^{(4)} = Y_4^{(2)} + Y_5^{(3)} + P_2, \quad X_5^{(4)} = Y_4^{(3)} + Y_5^{(2)}. \tag{14}$$

From (14) it follows:

$$X^{(4)} = D^{(2)}Y^{(2)} + D^{(3)}Y^{(3)} + \hat{P}_2. \tag{15}$$

Where is:

$$D^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_4 / B_2(L) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad D^{(3)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad P_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ P_2 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

From (10), (11) and (15) we find:

$$Y^{(4)} = A^{(4)}(k_4, L)X^{(4)} = A^{(4)}(k_4, L) \left\{ D^{(2)}A^{(2)}(k_4, L) \left[ D^{(1)}A^{(1)}X^{(1)} + \hat{P}_1 \right] + D^{(3)}A^{(3)}X^{(3)} + \hat{P}_2 \right\}. \tag{16}$$

From formulas (11) and (16) it follows that the components of the vectors  $Y^{(4)}$  and  $Y^{(5)}$  are functions of nine unknown quantities  $M_i, Q_i, N_i (i=1, 3, 5)$ .

Note that the elements of the matrices  $A^{(1)}, A^{(2)}$  and  $A^{(3)}$  also depend on  $M_i, Q_i, N_i (i=1, 3, 5)$ , since the quantities  $k$  included in formulas (3) are functions of these quantities. Consider the equilibrium of the boundary element 3 located between the rods 4 and 5 (Fig. 6). Equilibrium equations:

$$\begin{aligned} N_4 + Q_5 &= 0, \\ Q_4 - N_5 - P_3 &= 0, \\ M_4(L) + M_5(H) &= 0. \end{aligned}$$

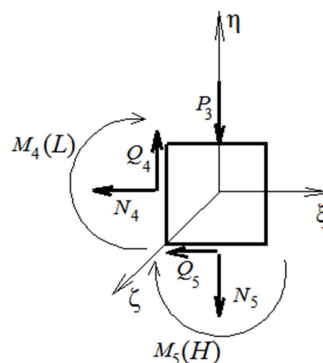


Fig. 6. Third boundary element



They can be presented in the following form:

$$\begin{aligned} Y_5^{(4)} + Y_4^{(5)} &= 0, \\ Y_4^{(4)} - Y_5^{(5)} - P_3 &= 0, \\ Y_3^{(4)} + Y_3^{(5)} &= 0. \end{aligned} \tag{17}$$

Equations (17) are three equations with respect to the above nine unknowns. To compile additional equations, we will use the relations:

$$y_2'(L) = y_3'(H), \quad y_4'(L) = y_5'(H), \tag{18}$$

As well as the equations resulting from the assumption that there are no longitudinal displacements of the points of the members:

$$y_2(L) = 0, \quad y_4(L) = 0, \quad y_3(H) = y_1(H), \quad y_5(H) = y_1(H). \tag{19}$$

Let's write (18) and (19) as follows:

$$\begin{aligned} Y_2^{(2)} - Y_2^{(3)} &= 0, \\ Y_2^{(4)} - Y_2^{(5)} &= 0, \\ Y_1^{(2)} &= 0, \\ Y_1^{(4)} &= 0, \\ Y_1^{(3)} - Y_1^{(1)} &= 0, \\ Y_1^{(5)} - Y_1^{(1)} &= 0. \end{aligned} \tag{20}$$

Equations (17) and (20) are a system of equations with respect to unknowns  $M_i, Q_i, N_i (i=1, 3, 5)$ . Let's write this system in the following form:

$$U(\mathbf{u}, \mathbf{p})\mathbf{u} = \mathbf{w}(\mathbf{u}, \mathbf{p}). \tag{21}$$

In here

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ N_1 \\ M_1 \\ Q_3 \\ N_3 \\ M_3 \\ Q_5 \\ N_5 \\ M_5 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{p} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}.$$

To solve the problems of longitudinal-transverse bending at given values  $P_1, P_2$  and  $P_3$  we use the method of successive approximations: at the first step we believe  $n_1 = -P_2, n_3 = -P_2, n_5 = -P_3, Q_1 = Q_3 = Q_5 = M_1 = M_3 = M_5 = 0$ , thereby defining the vector  $\mathbf{u}$ . Then we define the elements of the matrix  $U(\mathbf{u}, \mathbf{p})$  and vector  $\mathbf{w}(\mathbf{u}, \mathbf{p})$  and solving the system (21), we find new values  $M_i, Q_i, N_i (i=1, 3, 5)$ , through them, we determine the new values of the matrix elements  $U(\mathbf{u}, \mathbf{p})$  and vectors  $\mathbf{w}(\mathbf{u}, \mathbf{p})$  etc. The method turns out to



converge quickly due to the smallness of the values of the function  $h(x, t)$  compared to cross-sectional dimensions.

When solving stability problems to find the value of critical forces, we use the equation:

$$\det[U(\mathbf{u}, \mathbf{p})] = 0. \quad (22)$$

The solution of this equation defines some surface (let's call it critical) in the coordinate system  $P_1, P_2, P_3$ . Let's set some value  $P_2 = P_2^{(0)}$ . This value will determine the curve resulting from the intersection of the said surface by the plane  $P_2 = P_2^{(0)}$ . Then we set the initial values  $P_1$  and  $P_3$  and we use the method of successive approximations in the same way as in solving problems of longitudinal-transverse bending, as a result, we find the value of the determinant  $\det[U(\mathbf{u}, \mathbf{p})]$ . If it turns out to be not equal to zero, then fix the value  $P_1$  and changing the value  $P_3$ . We find its value at which equation (22) is satisfied, and for each value  $P_3$  using the method of successive approximations. Then we set the new value  $P_1$  and for it we find the value  $P_3$ , at which (27) is executed, etc. Using a polynomial approximation, we can find the equation for the cross-section of a critical surface by a plane  $P_2 = P_2^{(0)}$ . Changing the values  $P_2^{(0)}$ , we build a new section of the critical surface, etc.

## 5 DISCUSSION OF RESEARCH RESULTS

This technique allows us to consider the problems that arise in the study of the impact of the environment on reinforced concrete structures, in particular, on two-span frames. The same technique can be taken into account when exposed to corrosion of various origins.

## 6 CONCLUSIONS

The method of boundary elements makes it possible to accurately carry out calculations for the stability of multi-span frame reinforced concrete structures, taking into account the forces and mo-ments that arise.

## References

1. Fomina, I. P. (2014). Ustoichevost zeleobetonoy P-obraznoy rami pod deystviem agresivnoy sredy. *Visnik ODABA*. 57. 436-444. [in Russian].
2. Bliarskiy, Z. Y. (2011). *Zalizobetonni konstrukcii v agresivnomu seredovischi za dii navantazhenya tai h pidsilenya* [Reinforced concrete structures in an aggressive environment under the action of loads and their reinforcement]. Lviv. [in Ukraine].
3. Bliarskiy, Z. Y. (2005). Naprujeno-deformovany stan zalizobetonnyh konstruktsiy v agresivnomu seredovischi pri dii navantazheniya [The stressed-deformed state of reinforced concrete structures in an aggressive environment under load]. *Lvivska politehnikaark.: ris., tabl. Bibliogr.:* ark. 298–338. [in Ukrainian].
4. Nikiforova, T. D. (2013). Doslidjenya naprujeno-deformovanogo stanu zalizobetonnyh konstruktsiy zagliblenyh budivel z urahuvanyam ih vzaemodii z gruntovim masivov [Study of the stress-strain state of reinforced concrete structures of buried buildings taking into account their interaction with the soil massif]. *Visnik PDABA*. 1–2. 19–25 [in Ukraine].
5. Prokopovich, I. E. (1963). *Vliyanie dlitelnih procesov na napryajenoe i deformirovanoe sostoyanie sooruzheniy* [The influence of long-term processes on the stressed and deformed state of structures]. Gosudarstvenoe izdatelstvo literaturi po stroitelstvu, arhitekture i stroitel'nim materialam. M. [in Russian].

6. Kostochka, V. A. (2019). Vliyanie okruzhayushchey sredy na sostoyanie zalizobetonnykh konstruktсий [The influence of the environment on the condition of reinforced concrete structures]. *Akademiya stroitelstva i arhitekturi SamGTU*. 12. 56–59. [in Russian].
7. Gribniak, V., Bacinskas, D., Kacianauskas, R., Kaklauskas, G., Torres, L. (2013). Long-term deflections of reinforced concrete elements: accuracy analysis of predictions by different methods. *Mech Time-Depend Mater*. 17. 297–313.
8. DSTU B V.-145:2010 (2010). Zahist betonih i zalizobetonih konstrukciy vid korozii [Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion]. K. Minregionbud. [in Ukraine].
9. Zarakovskaya, K. I., Zaharov, V. F. Oпитnye diagrami sostoyaniya betona sostavnykh gelezobetonnykh sterzhney s visokoprochnoy armaturoy posle dlitelnykh ispitaniy [Experimental diagrams of the state of concrete of composite reinforced concrete rods with high-strength reinforcement after lengthy tests]. *Vesnik Evraziyskoy nauki*. 3. [in Russian].
10. Krainskiy, P. I. (2016). Mitsnist ta deformativnist zalizobetonnykh stisnuto - zignutikh elementiv, pidsilenikh zalizobetonnoyu oboymoyu pri dii navantazhennya [Mind and deformability of cast-in-place concrete squeezed-curved elements, strengthened by cast-in-place concrete clip with diversification]. Spetsialnist 05.23.01 – Budivelni konstruktсии budivli ta sporudi. Disertatsiya na zdobuttya naukovogo stupenya kandidata tekhnichnikh nauk. [in Ukraine].
11. Sadeghi, K., Nouban, F. (2016). Damage and fatigue quantification of RC structures. *Structural Engineering and Mechanics*. 58(6). 1021–1044.
12. Lobodanov, M. M., Vehera, P. I., Blikharskiy, Z. Ya. (2018). Analiz vplyvu osnovnykh vydiv defektiv ta poshkodzhen na zalizobetonnu zdatnist zalizobetonnykh elementiv [Analysis of the influence of the main types of defects and damage on the reinforced concrete capacity of reinforced concrete elements]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. Seriya «Teoriia i praktyka budivnytstva». 888. 93–100. [in Ukraine].
13. Sola, E., Ožbolt, J., Balabanic, G. (2016). 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>.

## Література

1. Фомина И. П. Устойчивость П-образной железобетонной рамы подверженной воздействию агрессивной среды. Вісник ОДАБА. Одесса, 2014. №57. С. 436–444.
2. Бліхарський З. Я. Залізобетонні конструкції в агресивному середовищі за дії навантаження та їх підсилення. Львів, 2011. 296 с.
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. 348 арк.: рис., табл. Бібліогр.: арк. 298–338.
4. Нікіфорова Т. Д. Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій заглиблених будівель з урахуванням їх взаємодії з ґрунтовим масивом, 2013. Вісник ПДАБА. №1–2. С. 19–25.
5. Прокопович И. Е. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояния сооружений. Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. М. 260 с.
6. Косточка В. А. Влияние окружающей среды на состояние железобетонных конструкций. Академия строительства и архитектуры СамГТУ, 2019. №12. С. 56–59.
7. Gribniak V., Bacinskas D., Kacianauskas R., Kaklauskas G., Torres L. Long-term deflections of reinforced concrete elements: accuracy analysis of predictions by different methods. *Mech Time-Depend Mater*. 2012. №17. pp. 297–313.
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.
10. Країнський П. І. Міцність та деформативність залізобетонних стиснуто – зігнутих елементів, підсилені залізобетонною обіймою при дії навантаження.

Спеціальність 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, 2016. 158 с.

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>.

**Fomin Volodymyr**

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture  
DScTech, Professor  
Didrihsona str., 4, Odessa, Ukraine, 65029  
Fomin@ogasa.org.ua  
ORCID: 0000-0003-4814-6415

**Fomina Inna**

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture  
Senior Lecturer  
Didrihsona str., 4, Odessa, Ukraine, 65029  
Fomina@ogasa.org.ua  
ORCID: 0000-0001-7366-1537

*For references:*

Fomin V., Fomina I. (2023). Calculation of reinforced -concrete frame for stability under the action of aggressive environment. *Mechanics and Mathematical Methods*. V(1). 61 – 71.

*Для посилань:*

Фомін В. М., Фоміна І. П. Розрахунок залізобетонної рами на стійкість під дією агресивного середовища. *Механіка та математичні методи*, 2023. Т. V. №. 1. С. 61–71.