

## METHODOLOGY FOR TESTING DOUBLE-HINGED REINFORCED CONCRETE FRAMES WITH ARTIFICIAL REGULATION OF FORCES

### МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ ДВОШАРНІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РАМ З ШТУЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ЗУСИЛЬ

Filipchuk S.V. doctor of technical sciences, professor, ORCID ID: 0000-0002-4464-4620, Sobishchanskyi O.L. postgraduate, Kovalchuk Y.T. senior teacher (National university of water and environmental engineering)

Філіпчук С.В. д.т.н., доц., ORCID ID: 0000-0002-4464-4620, Собіщанський О.Л. аспірант, Ковальчук Ю.Т. ст. викладач (Національний університет водного господарства та природокористування)

Currently, monolithic reinforced concrete is the main building material in the construction of housing, social and cultural facilities, in industrial construction, in the effective development of underground space, in transport construction, in the construction of buildings and structures of various configurations. At the same time, one of the main load-bearing elements of buildings and structures is frame structures. Despite the fact that reinforced concrete frames are widely used in modern construction practice, there has been insufficient experimental research into the operation of frames, especially frames with artificial force regulation. To study П-shaped reinforced concrete frames with artificial force regulation, reinforced concrete frame samples were manufactured. During the research, three series of reinforced concrete frames were tested, four frames in each series

В теперішній час монолітний залізобетон є основним будівельним матеріалом при будівництві житла, об'єктів соцкультпобуту, в промисловому будівництві, в ефективному освоєнні підземного простору, транспортному будівництві, при зведенні будинків та споруд різноманітної конфігурації. При цьому одним із основних несучих елементів будівель та споруд є рамні конструкції. Незважаючи на те, що залізобетонні рами мають широке застосування в практиці сучасного будівництва, експериментальних досліджень роботи рам виконано недостатньо, а особливо рам з штучним регулюванням зусиль.

Для дослідження П-подібних залізобетонних рам з штучним регулюванням зусиль були виготовлені залізобетонні зразки рам, які мали розміри в осях: проліт  $l = 2000$  мм, висота  $h = 1100$  мм, поперечний переріз ригеля рами –  $160 \times 100$  мм, поперечний переріз стійки рами  $180 \times 100$  мм. Розглядалися двошарнірні залізобетонні рами з такими

габаритними розмірами: висота рами –  $H = 1,1$  м, проліт –  $L = 2,0$  м. Ригель рами завантажений двома зосередженими силами  $P/2$ , що розташовані на відстані  $L_1 = 0,75$  м від осей стійок. При завантаженні залізобетонної рами без штучного регулювання зусиль, згинальний момент у вузлі рами менший за згинальний момент у прольоті ригеля  $M_{sp} > M_{sup}$ . За такого навантаження руйнування рами відбувається при утворенні трьох пластичних шарнірів, спочатку пластичний шарнір утворюється в ригелі рами, а зі збільшенням навантаження пластичні шарніри утворюються у вузлах рами. Тому для розвантаження ригеля доцільно мати у вузлі момент  $M_{sup}$ , близький по абсолютній величині до прольотного  $M_{sp}$ . За теоретичними розрахунками даний стан в залізобетонній рамі досягається за допомогою штучного регулювання зусиль, тобто створення попереднього напруження  $N$  в затяжці рами. При попередньому напруженні рами в прольоті та вузлі виникає згинальний момент  $M_{reg}$ .

Під час досліджень було випробувано три серії залізобетонних рам, по чотири рами в кожній серії.

#### Keywords:

Reinforced concrete frame, stressed-deformed a state, artificial regulation of efforts, method of analysis

Залізобетонна рама, напружено-деформований стан, штучне регулювання зусиль, методика розрахунку

**Introduction.** Currently, monolithic reinforced concrete is the main building material in the construction of housing, social and cultural facilities, in industrial construction, in the effective development of underground space, in transport construction, in the construction of buildings and structures of various configurations. At the same time, one of the main load-bearing elements of buildings and structures is frame structures. They perceive the main loads acting on buildings and structures, the vast majority of which are repetitive in nature [1-3].

It is known that repeated low-cycle loads can affect the strength and deformation characteristics of concrete and reinforcement, the load-bearing capacity, deformability and crack resistance of reinforced concrete structures. It is certain that such loads will affect the operation of reinforced concrete frames.

Despite the fact that reinforced concrete frames are widely used in modern construction practice, there has been insufficient experimental research into the operation of frames, especially frames with artificial force regulation.

Known studies of V.Kh. Glenville and F.D. Thomas, A.E. Kuzmichov, A.P. Makarenko, A.S. Schepotiev and V.S. Bulgakov, studies carried out under the leadership of A.Ya. Barashikov and E.M. Babich. The analysis of the operation of frames of various structures is devoted to the work of a number of German scientists. Their works analyze in more detail the methods of static calculation of

U-shaped and closed frames and present some experimental data. In view of the above, experimental research of reinforced concrete frames is an urgent task.

**Design of experimental frames with artificial force regulation and their testing methods.** To study II-shaped reinforced concrete frames with artificial force regulation, reinforced concrete frame samples were manufactured, which had the following dimensions in the axes: span  $l = 2000$  mm, height  $h = 1100$  mm, cross-section of the frame beam –  $160 \times 100$  mm, cross-section of the frame column  $180 \times 100$  mm (Fig. 1).

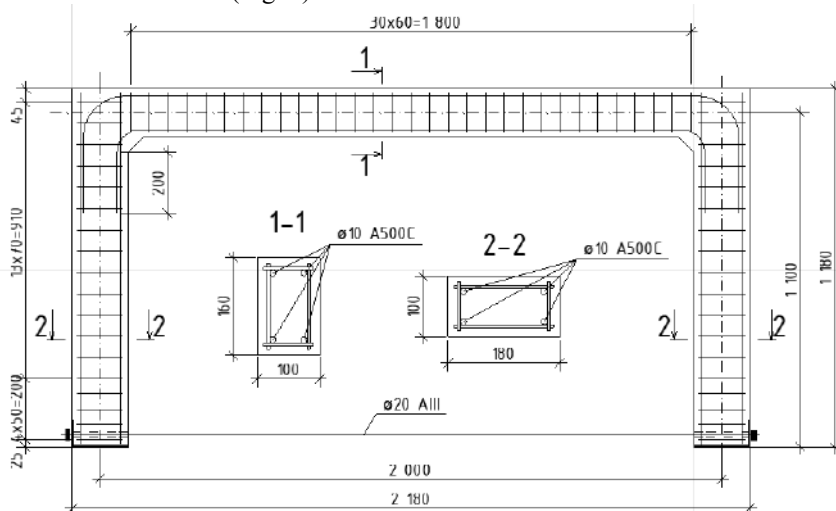


Fig. 1. Structural diagram of the experimental frames

The frame posts are reinforced with a spatial frame with four symmetrically arranged  $\phi 14$ A400C rods. The frame crossbar is reinforced with a spatial frame: lower reinforcement – 2  $\phi 14$ A400C, upper reinforcement –  $\phi 18$ A500C (rounded and inserted into the post beyond the lower edge of the crossbar by 450 mm). The transverse reinforcement in the posts and crossbars is made in the form of closed welded frames of  $\phi 6$ Bp-I rods, installed in the crossbar with a pitch of 60, and in the post 70 and 50 mm in the support zone. At the ends of the uprights, embedded parts made of plates  $t = 5$  mm are arranged. The frame tightening is made of  $\phi 18$  A500C bar reinforcement, a  $\phi 18$  thread was arranged at one end of the tightening. The pre-tension in the tightening was created using a torque wrench.

The frames were tested using a two-hinged system in a special rig, loading the crossbar with two concentrated forces at a distance of 75 cm from the axis of the uprights. The forces were created by a hydraulic jack, and the force was measured by a calibrated ring dynamometer (Fig. 2, Fig. 3).

During the research, three series of reinforced concrete frames were tested, four frames in each series (see Table 1).

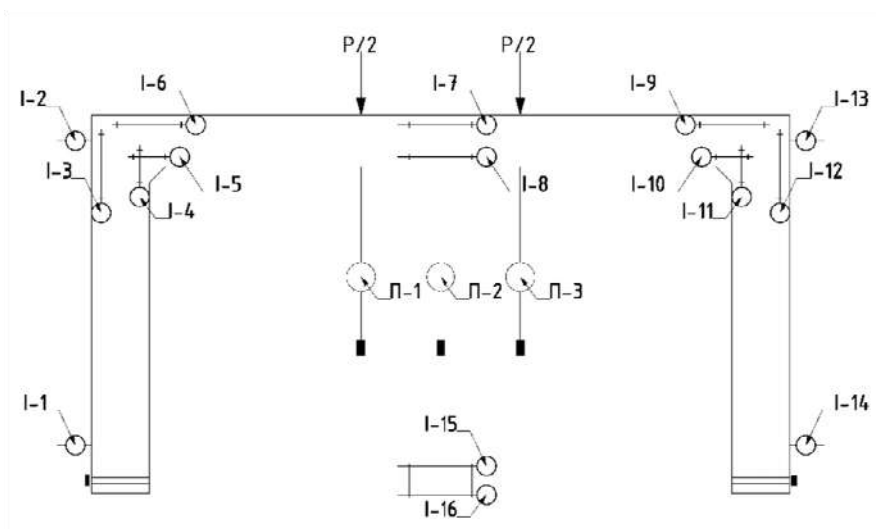


Fig. 2. Scheme of testing frames and arrangement of devices  
(I – indicators, П – protractors)

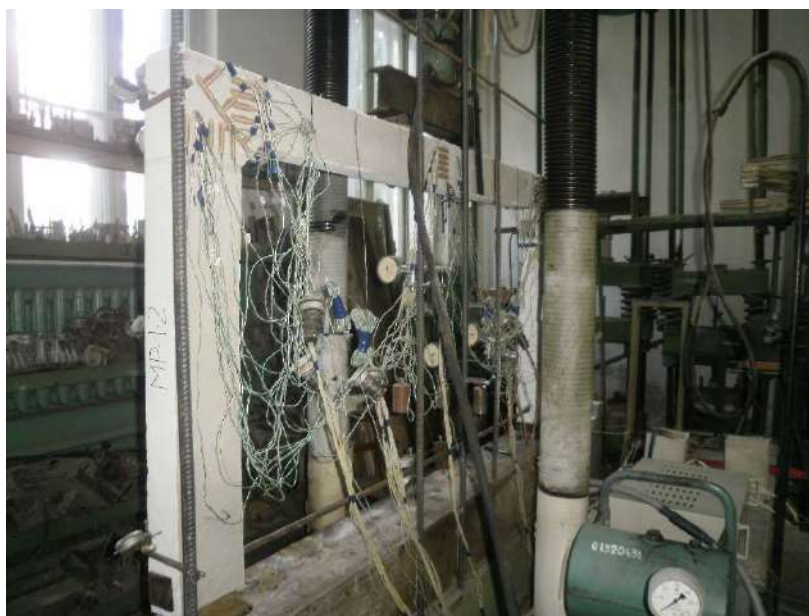


Fig. 3. General view of testing experimental frames

Table 1

Characteristics of loading of reinforced concrete frames  
with artificial adjustment of forces

Character of frame loading in series	Frame series and brands		
	I series	II series	III series
The frame was loaded once to failure without artificial adjustment of forces.	P1-K	P2-K	P3-K
The frame without artificial adjustment of forces was subjected to repeated loads (ten cycles) and was brought to destruction.	P1-Π	-	-
The frame with artificial force regulation was loaded once to failure.	P1-KP	P2-KP	P3-KP
The frame with artificial force regulation was subjected to repeated loading (ten cycles) and was brought to failure.	P1-ΠP	P2-ΠP1 P2-ΠP2	-
The frame with artificial force regulation was subjected to repeated loads (of varying levels) and was brought to failure.	-	-	P3-ΠP1 P3-ΠP2

**Features of the operation of two-hinged reinforced concrete frames with artificial adjustment of forces.** Two-hinged reinforced concrete frames with the following overall dimensions were considered: frame height –  $H = 1,1$  m, span –  $L = 2,0$  m. The frame crossbar is loaded by two concentrated forces  $P/2$ , which are located at a distance  $L_1 = 0,75$  m from the axes of the uprights.

When loading a reinforced concrete frame without artificial adjustment of forces, the bending moment in the frame node is less than the bending moment in the span of the crossbar  $M_{sp} > M_{sup}$  (Fig. 4, a).

Under such a load, the frame fails when three plastic hinges are formed. Initially, a plastic hinge is formed in the frame crossbar, and with increasing load, plastic hinges are formed in the frame nodes [4].

Therefore, to unload the crossbar, it is advisable to have a moment  $M_{sup}$  in the node, close in absolute value to the span  $M_{sp}$ . According to theoretical calculations, this state in a reinforced concrete frame is achieved by artificially regulating the forces, i.e. creating a prestress  $N$  in the frame tension. When the frame is prestressed in the span and node, a bending moment  $M_{reg}$  arises (Fig. 4, b).

When loading this reinforced concrete frame, the bending moment in the frame node is equal to the bending moment in the span of the crossbar  $M_{sp,reg} = M_{sup,reg}$  (Fig. 4, c) and the failure occurs with the almost simultaneous formation of plastic hinges in the node and crossbar of the frame [4].

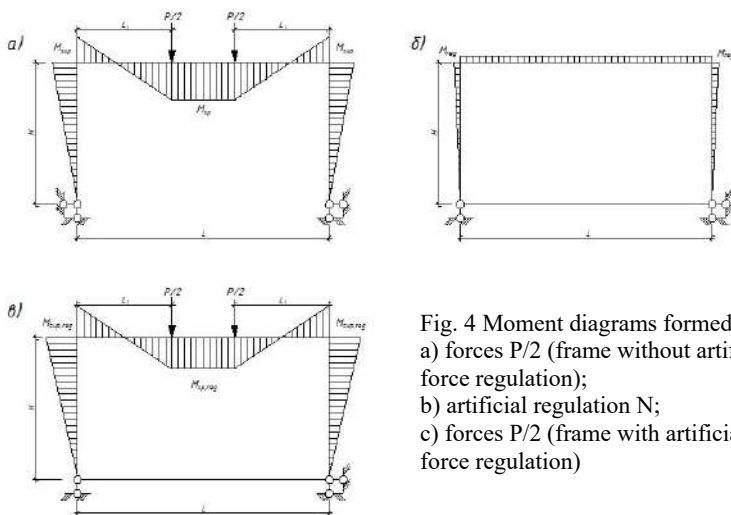


Fig. 4 Moment diagrams formed by:  
a) forces  $P/2$  (frame without artificial force regulation);  
b) artificial regulation  $N$ ;  
c) forces  $P/2$  (frame with artificial force regulation)

**Conclusion.** An analysis of the relevance of the planned research was conducted. The purpose of the experimental research was substantiated and research objectives were set.

1. Філіпчук С. В. Робота замкнутих залізобетонних рам при повторних малоциклових навантаженнях: дис. к-та наук. Полтава, 2009. 287 с.

Filipchuk S. V. Robota zamknytykh zalizobetonnykh ram pry povtornykh malotsyklovykh navantazhenniakh: dys. k-ta nauk. Poltava, 2009. 287 s.

2. ДБН В.2.6–98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.:Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

DBN V.2.6–98:2009. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. – K.:Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 71 s.

3. Філіпчук С.В. Дослідження тріщиностійкості замкнутих залізобетонних рам при повторних навантаженнях. Ресурсоекономні конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Рівне: Видавництво НУВГП, 2008. – Випуск 17 – С. 282 – 287.

Filipchuk S.V. Doslidzhennia trishchynostiikosti zamknytykh zalizobetonnykh ram pry povtornykh navantazhenniakh. Resursoekonomni konstruktsii, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats. Rivne: Vydavnytstvo NUVHP, 2008. – Vypusk 17 – S. 282 – 287.

4. Бабич В.Є., Ковальчук Ю.Т. Напружено-деформований стан залізобетонних П-подібних рам, розрахованих за пружною стадією роботи та стадією з урахуванням перерозподілу зусиль. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, Рівне: Видавництво НУВГП, 2023. Випуск 44, С. 120-132.

Babych V.Ie., Kovalchuk Yu.T. Napruzhenno-deformovanyi stan zalizobetonnykh P-podibnykh ram, rozrakhovanykh za pruzhnoiui stadiiieu roboty ta stadiiieu z urakhuvanniam pererozpodilu zusyl. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy, Rivne: Vydavnytstvo NUVHP, 2023. Vypusk 44, S. 120-132.