

Дослідження плоскої залізобетонної плити підсиленої зовнішньою напруженою арматурою

Олександр Журавський¹, Владислав Тимошук²

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037
¹ zhuravskiy.od@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-7065-3312>
² tymoshchuk_vlad@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-6855-0031>

DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.4-11

Анотація. Під час влаштування монолітних залізобетонних плоских перекриттів [1] часто виникають проблеми, пов'язані з понаднормовими прогинами та появами тріщин.

Вони можуть виникати як під час експлуатації, так і під час будівництва.

До причин, що зумовлюють надмірні прогини, можна віднести: відхилення від технології виготовлення, помилки при проектуванні тощо.

В такому випадку конструкція може стати непридатною для експлуатації в умовах для яких вона була спроектована.

У випадку виникнення подібних ситуацій потрібно виконувати підсилення конструкцій, що не відповідають умовам експлуатації [2,3].

При розрахунку підсилення необхідно враховувати характеристики існуючих конструкцій, та проаналізувати їх роботу до підсилення та з підсиленням.

В даній статті наведені результати експериментальних досліджень моделі плоскої залізобетонної плити, що підсилена зовнішньою напруженою арматурою.

Даний вид підсилення є новим та малодослідженим у будівництві. У випадку підсилення зовнішньою напруженою арматурою, стержні розташовуються в прольоті по нижній грані, та на опорах. Відстані між стержнями становлять 1/3 довжини прольоту.

Проведено порівняння результатів роботи плити під навантаженням без підсилення, та з навантаженням і з підсиленням.

За результатом проведеного дослідження встановлено, що дана методика підсилення плоских плит дає позитивний результат.

Тобто даний метод може бути використаний для підсилення плоских плит.



Олександр Журавський
завідувач кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, к.т.н., доцент.



Владислав Тимошук
аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій

Ключові слова. Підсилення; плоскі залізобетонні плити; напружена арматура; різьбове з'єднання.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При написанні дисертації, використання тільки теоретичних досліджень [4, 5,6] було не достатньо, для більш повного розуміння як буде поводити себе плита при напруженні арматури.

Тому було прийнято рішення створити на базі лабораторії кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій КНУБА натурну модель плоскої залізобетонної плити, в масштабі 1:6 до реального розміру.

Таким чином була отримана плоска залізобетонна плита розмірами 2,5х2,5м товщиною 25 мм, з кроком колон 1 м (рис.1 та рис.2)

В якості поперечно-напруженої арматури було використано арматуру Вр-2 (1400) діаметром 5мм.

Кріплення арматури на плиту виконувалося за допомогою анкерних пластин та кутиків підсилених ребрами жорсткості (рис.3).

Натягувальний пристрій було виконано з болта М12х85мм з висвердленим центральним отвором по довжині (рис.3)

Для зменшення сил тертя при натягуванні арматури було використано упорні підшипники кочення (рис.3).

Для фіксації арматури в анкерних кутиках, в якості цанг, було виконано на кінцях арматури різьбу розміром М5 довжиною 10 мм, та накручено подовжену гайку М5 (рис.3).

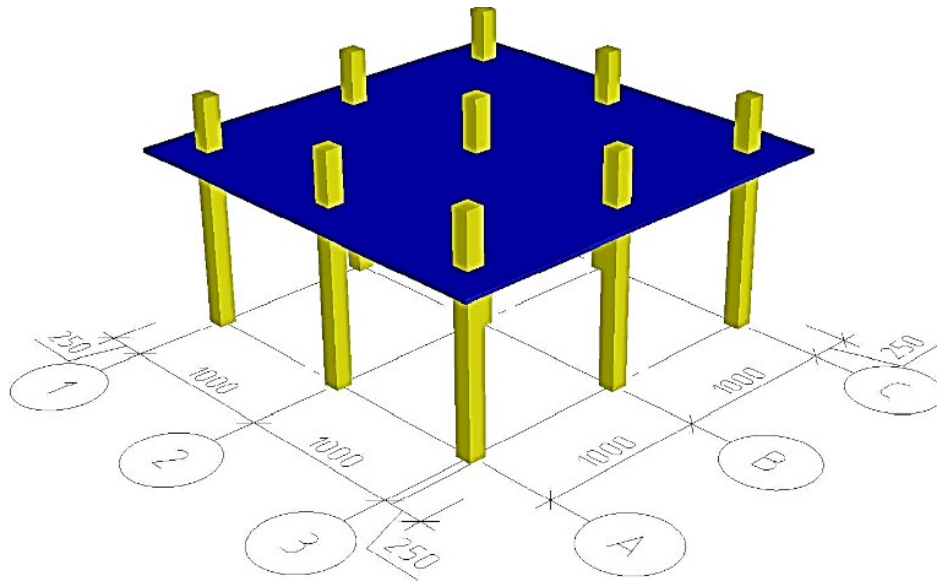


Рис.1. Комп'ютерна модель плоскої залізобетонної плити.

Fig.1. Computer's model of reinforced flat slab



Рис.2. Дослідний зразок плоскої залізобетонної плити.

Fig.2. Research model of reinforced flat slab

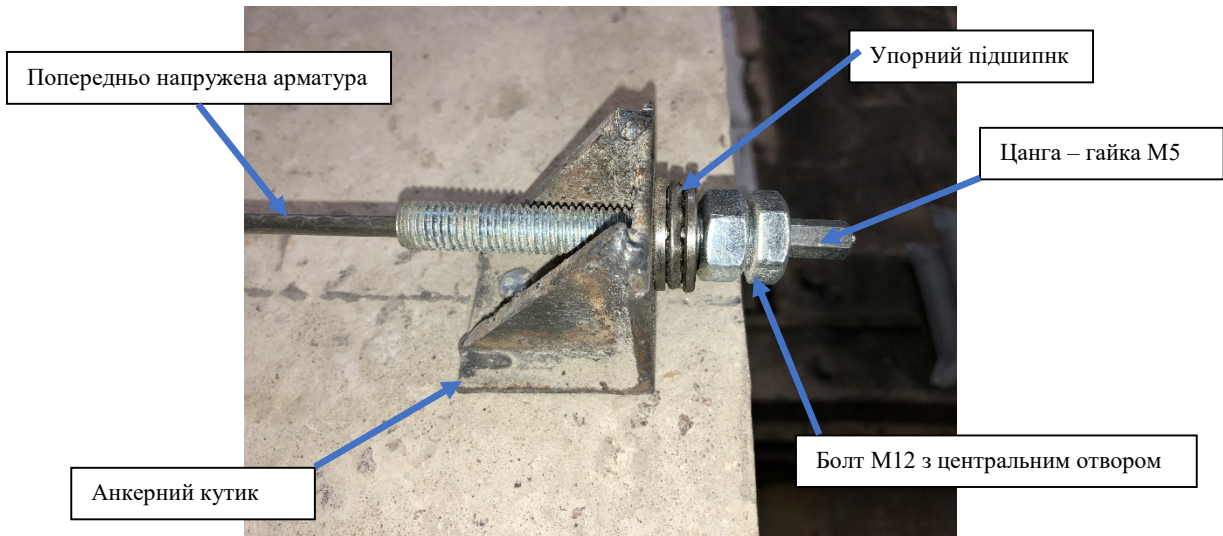


Рис.3. Кріплення зовнішньої арматури на плиті
Fig.3. Anchorage of external reinforcement on the flat slab

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведення досліду було поділено на 3 частини:

1. Плита без попереднього напруження поступово завантажена корисним навантаженням в 4 етапи.

2. Плита з попереднім напруженням арматури з поступовим прикладенням напруження – 2 етапи (0,5N та N)

3. Плита з попереднім напруженням поступово завантажена корисним навантаженням в 4 етапи.

Навантаження було поділено на 4 етапи :

- 1 етап – сумарне навантаження 251 кг.
- 2 етап – сумарне навантаження 581 кг.
- 3 етап – сумарне навантаження 677 кг.
- 4 етап – сумарне навантаження 773 кг.

Для вимірювання деформацій використовувалися аналогові індикатори годинникового типу з точністю 0,001 мм (рис.4а). Всього було використано 16 індикаторів:

8 по верхній грані навколо центральної колони, та 8 по нижній грані – по 2 в кож-



(а)



(б)

Рис.4. (а) Індикатор годинникового типу точністю 0,001 мм, (б) Індикатор годинникового типу точністю 0,01 мм

Fig.4. (a) Clock-type indicator – tolerance 0.001 mm, (b) Clock-type indicator – tolerance 0.01 mm.

ному прольоті.

Для вимірювань прогинів використовувалися аналогові індикатори годинникового типу з точністю 0,01 мм (рис.4б). Всього було використано 4 індикатори – по одному в кожному прольоті плити (рис.5).

Навантаження створювалося за допомогою сталевих пружин вагою від 15 до 19 кг, та мішками з піском вагою 3 кг (рис.6)

Контроль натягу виконувався динамометричним ключем по осьовому зусиллю на болті. Розрахунок моменту затяжки було розраховано за формулою 2.10 [7. с.19]

$$T = 0.5 \times F_0 \times d_2 \frac{P / (\pi \times d_2) + f_p}{1 - f_p \times P / (\pi \times d_2)}, \quad (1)$$

де F_0 – осьова сила, P – крок різьби (для болта М12 $P=1.75$), d_2 – середній діаметр різьби (для М12 $d_2=10.863$), f_p – коефіцієнт тертя по різьбі.

Таким чином виходячи з цієї формули, було розраховано через момент затяжки, напруження в арматурі.

Розрахунок сили попереднього напруження було отримано в програмному комплексі Ліра-САПР.

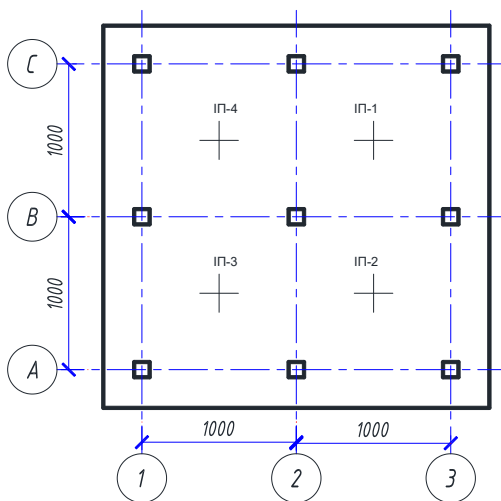


Рис.5. Схема розміщення індикаторів точністю 0,01 по нижній грані

Fig.5. Location of 0.01 mm tolerance indicators on the bottom of slab.



Рис.6. Завантаження експериментальної моделі. 2 етап – сумарне навантаження 581 кг.

Fig.6. Loading for experimental model. 2nd step – sum loading 581 kg

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Після проведення експерименту було отримано дані про прогини плити від прикладених навантажень, та проведено порівняння даних [8], отриманих експериментальним шляхом та теоретичних даних отриманих при розрахунку в програмному комплексі [4], [5].

В даному випадку в результаті експерименту було встановлено відповідність результатів розрахунковим тільки в одному прольоті на індикаторі ІП-2. Є певна розбіжність даних в інших прольотах (табл. 1 та 2).

Табл. 1. Значення прогинів після закінчення першої частини експерименту.**Table 1.** The value of deflections after first part of experiment

№ п.п.		ІІ-1 (мм)	ІІ-2 (мм)	ІІ-3 (мм)	ІІ-4 (мм)
Етап 1	початкові	2.13	3.64	3.41	5.02
	кінцеві	2.54	4.04	3.61	5.2
	різниця	0.41	0.4	0.2	0.18
	сумарне	0.41	0.4	0.2	0.18
Етап 2	початкові	2.54	4.04	3.61	5.2
	кінцеві	2.76	4.6	3.9	5.4
	різниця	0.22	0.56	0.29	0.2
	сумарне	0.63	0.96	0.49	0.38
Етап 3	початкові	2.76	4.6	3.9	5.4
	кінцеві	2.81	5.04	4.06	5.55
	різниця	0.05	0.44	0.16	0.15
	сумарне	0.68	1.4	0.65	0.53
Етап 4	початкові	2.81	5.04	4.06	5.55
	кінцеві	2.92	5.28	4.21	5.6
	різниця	0.11	0.24	0.15	0.05
	сумарне	0.79	1.64	0.8	0.58

Табл. 2. Значення прогинів першої частини експерименту отримані в результаті розрахунку.**Table 2.** The value of deflections after first part of experiment obtained after calculation.

№ етапу навантаження	Переміщення по осі Z, мм
Етап 1	0,467
Етап 2	1,148
Етап 3	1,371
Етап 4	1,60

Табл. 3. Значення прогинів після закінчення другої частини експерименту**Table 3.** The value of deflections after second part of experiment obtained after calculation.

№ п.п.		ІІ-1 (мм)	ІІ-2 (мм)	ІІ-3 (мм)	ІІ-4 (мм)
Етап 1	початкові	2.09	4.07	3.64	5.01
	кінцеві	1.88	3.77	3.42	4.93
	різниця	-0.21	-0.3	-0.22	-0.08
	сумарне	-0.21	-0.3	-0.22	-0.08
Етап 2	початкові	1.88	3.77	3.42	4.93
	кінцеві	1.41	3.25	3.31	4.84
	різниця	-0.47	-0.52	-0.11	-0.09
	сумарне	-0.68	-0.82	-0.33	-0.17

Табл. 4. Значення прогинів другої частини експерименту отримані в результаті розрахунку.**Table 4.** The value of deflections after second part of experiment obtained after calculation.

№ етапу навантаження	Переміщення по осі Z, мм
Етап 1	-0,208
Етап 2	-0,566

В даному випадку в результаті експерименту було встановлено відповідність результатів розрахунковим тільки в одному прольоті на індикаторі ПІ-1. Згідно даних

отриманих в результаті експерименту видно, що в даному випадку плита має додатні прогини. Є певна розбіжність даних в інших прольотах (табл. 3 та 4).

Табл. 5. Значення прогинів після закінчення третьої частини експерименту.

Table 5. The value of deflections after third part of experiment.

№ п.п.		ПІ-1 (мм)	ПІ-2 (мм)	ПІ-3 (мм)	ПІ-4 (мм)
Етап 1	початкові	1.41	3.23	3.29	4.82
	кінцеві	1.69	3.62	3.5	4.99
	різниця	0.28	0.39	0.21	0.17
	сумарне	0.28	0.39	0.21	0.17
Етап 2	початкові	1.69	3.62	3.5	4.99
	кінцеві	1.99	4.05	3.78	5.18
	різниця	0.3	0.43	0.28	0.19
	сумарне	0.58	0.82	0.49	0.36
Етап 3	початкові	1.99	4.05	3.78	5.18
	кінцеві	2.09	4.17	3.81	5.22
	різниця	0.1	0.12	0.03	0.04
	сумарне	0.68	0.94	0.52	0.4
Етап 4	початкові	2.09	4.17	3.81	5.22
	кінцеві	2.17	4.29	3.94	5.28
	різниця	0.08	0.12	0.13	0.06
	сумарне	0.76	1.06	0.65	0.46

Табл. 6. Значення прогинів третьої частини експерименту отримані в результаті розрахунку.

Table 6. The value of deflections after third part of experiment obtained after calculation.

№ етапу навантаження	Переміщення по осі Z, мм
Етап 1	0,132
Етап 2	0,310
Етап 3	0,439
Етап 4	0,570

В даному випадку в результаті експерименту було встановлено відповідність результатів розрахунковим тільки в одному прольоті на індикаторі ПІ-4.

Є певна розбіжність даних в інших прольотах (табл. 5 та 6)

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як видно з проведених теоретичних та експериментальних досліджень метод підсилення зовнішньою арматурою має пози-

тивний вплив на експлуатаційні якості залізобетонної плити.

Даний метод підсилення дозволяє зменшити прогини в плиті.

При подальших дослідженнях плоских залізобетонних плит, потрібно вивчити та проаналізувати роботу опорних ділянок анкерів, а також їх вплив на залізобетонну плиту при тривалому впливі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Павліков А.М., Балясний Д.К., Гарькава О.В., Довженко О.О., Микитенко С.М.,

- Пінчук Н.М., Федоров Д.Ф.** Сучасні конструктивні системи будівель із залізобетону : *Монографія*. – Полтава: ПолтНТУ, 2017. – 120 с.
2. **ДСТУ Б В.3.1-2:2016.** Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. – К.: ДП «УкрНДНЦ» 2017. – 68 с.
 3. **Савйовський В. В., Молодід О. С., Малець Н. О.** Підсилення залізобетонних балочних конструкцій зовнішнім армуванням // *Управління розвитком складних систем : зб. наук. праць* – Київ : КНУБА, 2017. – № 29. – С. 198 - 203.
 4. **Журавський О.Д., Тимощук В.А.** Розрахунок плоских залізобетонних плит, підсилених зовнішньою напруженою арматурою. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр. Київ, КНУБА, 2017. Вип. 1. С. 193-198.*
 5. **Журавський О.Д., Тимощук В.А.** Розрахункова модель плоских залізобетонних плит, підсилених зовнішньою напруженою арматурою. // *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Архітектура і сільськогосподарське будівництво. - 2018. - № 19. - С. 41-45*
 6. **Журавський О. Д., Мельник І. В.** Робота монолітних залізобетонних плит з постнапруженою арматурою // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. - 2013. - № 755. - С. 135-138.*
 7. **Биргер И.А., Иосилевич Г.Б.** Резьбовые и фланцевые соединения – *М.:Машиностроение, 1990. -368с.*
 8. **Сморкалов Д. В.** Дослідження прогинів плит, опертих по контуру // *Будівельні конструкції. Теорія і практика : зб. наук. праць - Київ : КНУБА, 2017. - Вип. 1. - С. 136-143.*
 9. **Стрелец-Стрелецкий Е. Б., Боговис В. Е., Гензерский Ю. В. та ін.** Лира 9.4. Руководство пользователя. Основы: учеб. Пособ. / *Київ: ФАКТ, 2008. 164 с.*
 10. **Михайлов В. В.** Предварительно-напряженные железобетонные конструкции. *Москва: Стройиздат, 1978. 383 с.*
 11. **Sami Khan, Martin Williams** Post-tensioned concrete floors, 1995, 312 p.
 12. **Гензерский Ю.В., Медведенко Д.В., Палиенко О.И., Титок В.П.** ЛИРА – САПР 2011. Учебное пособие. – *Київ: Электронное издание, 2011, – 396 с*
 13. **ДБН В.2.6-98:2009.** Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: *Мін-регіон України, 2011. – 71 с.*
 14. **Колякова В.М.** Про вимоги щодо статей, які публікуються у збірнику наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика» // *Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр. Київ, КНУБА, 2020. Вип. 6. С. 114-118.*
 15. **ДСТУ 3760:2019.** Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. – К.: ДП «УкрНДНЦ» 2019. – 21 с.

REFERENCES

1. **Pavlikov A.M., Baliasnyi D.K., Harkava O.V., Dovzhenko O.O., Mykytenko S.M., Pinchuk N.M., Fedorov D.F.** Suchasni konstruktivni systemy budivel iz zalizobetonu : *Monografii*. – *Poltava: PoltNTU, 2017. – 120 s.*
2. **DSTU B V.3.1-2:2016.** Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhualnykh budivelnykh konstrukttsii ta osnov budivel i sporud. – К.: *DP «UkrNDNTs» 2017. – 68 s.*
3. **Saviovskiy V. V., Molodid O. S., Malets N. O.** Pidsylennia zalizobetonnykh balochnykh konstrukttsii zovnishnim armuvanniam // *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system : zb. nauk. prats* – *Kyiv : KNUBA, 2017. – № 29. – S. 198 - 203.*
4. **Zhuravskiy O.D., Tymoshchuk V.A.** Rozrakhunok ploskykh zalizobetonnykh plyt, pidsylenykh zovnishnoiu napruzhenoiu armaturoiu. // *Budivelni konstrukttsii. Teoriia i praktyka: zb. nauk. pr. Kyiv, KNUBA, 2017. Vyp. 1. S. 193-198.*
5. **Zhuravskiy O.D., Tymoshchuk V.A.** Rozrakhunkova model ploskykh zalizobetonnykh plyt, pidsylenykh zovnishnoiu napruzhenoiu armaturoiu. // *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ah-rarnoho universytetu. Seriia: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. - 2018. - № 19. - S. 41-45*
6. **Zhuravskiy O. D., Melnyk I. V.** Robota monolitnykh zalizobetonnykh plyt z postnapruzhenoiu armaturoiu // *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Teoriia i praktyka budivnytstva. - 2013. - № 755. - S. 135-138.*
7. **Byrher Y.A., Yosylevykh H.B.** Rezbovye i flantsevye soedyneniya. – *М.:Mashynostroeniye, 1990. -368s.*

8. **Smorkalov D. V.** Doslidzhennia prohyniv plyt, opertykh po konturu // *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka* : zb. nauk. prats - Kyiv : KNUBA, 2017. - Vyp. 1. - S. 136-143.
9. **Strelets-Streletskyi E. B., Bohovys V. E., Henzerskyi Yu. V. ta in.** Lyra 9.4. Rukovodstvo polzovatelia. Osnovy: ucheb. Posob. / Kyiv: FAKT, 2008. 164 s..
10. **Mykhailov V. V.** Predvartelno-napriazhennye zhelezobetonnye konstruktsyy. Moskva: Stroiyzdat, 1978. 383 s.
11. **Sami Khan, Martin Williams** Post-tensioned concrete floors, 1995, 312 p.
12. **Henzerskyi Yu.V., Medvedenko D.V., Palyenko O.Y., Tytok V.P.** LYRA – SAPR 2011. Uchebnoe posobyie. – K.: *Elektronnoe izdanye*, 2011, – 396 s.
13. **DBN V.2.6-98:2009.** Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. – K.: *Minrehion Ukrainy*, 2011. – 71 s
14. **Koliakova V.M.** Pro vymohy shchodo statei, yaki publikuiutsia u zbirnyku naukovykh prats «Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka» // *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*: zb. nauk. pr. Kyiv, KNUBA, 2020. Vyp. 6. S. 114-118.
15. **DSTU 3760:2019.** Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruktsii. Zahalni tekhnichni umovy. – K.: DP «UkrNDNTs» 2019. – 21 s.

Investigation of a flat reinforced concrete slab reinforced with external prestressed reinforcement

Oleksandr Zhuravskyy, Vladyslav Tymoshchuk

Summary. When installing monolithic reinforced concrete flat floors [1], there are often problems associated with excessive deflections and cracks.

They can occur both during operation and during construction.

The reasons for excessive deflections include: deviations from the manufacturing technology, design errors, and so on.

In this case, the structure may become unusable in the conditions for which it was designed.

In the event of such situations, it is necessary to perform reinforcement of structures that do not meet the operating conditions [2,3].

When calculating the reinforcement, it is necessary to take into account the characteristics of existing structures, and analyze their work before reinforcement and with reinforcement.

This article presents the method of the experiment and the results obtained during the experimental studies of the model of a flat reinforced concrete slab reinforced with external prestressed reinforcement.

This type of reinforcement is new and little studied in construction. In the case of reinforcement by external tensioned reinforcement, the rods are located in the span on the lower face, and on the supports. The distances between the rods are 1/3 of the span length.

A comparison of the results of the plate operation under load without reinforcement, and under load with reinforcement.

According to the results of the experiment, it was found that this method of strengthening flat slabs gives a positive result on the performance characteristics of reinforced concrete slabs. That is, this method can be used to reinforce flat reinforced concrete slabs.

Keywords. Reinforcement; flat reinforced concrete slabs; prestressed reinforcement; threaded connection.