

DOI: 10.32347/2786-7269.2023.5.201-211

УДК 624.04

д.т.н., професор Сур'янінов М.Г.,  
sng@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2592-5221,к.т.н., доцент Корнеєва І.Б.,  
korneevairinaborisovna@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0104-6938,  
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРІЙНОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПАГ З ДОДАТКОВИМ АРМУВАННЯМ СТАЛЕВОЮ ФІБРОЮ

Таким чином, в лабораторних умовах проведено експериментальні дослідження несучої здатності та тріщиностійкості серійної плити ПАГ з додатковим армуванням сталевую фібрую в обсязі 1%. Відповідно до нормативних документів, що діють в Україні, розглянуто одну з двох можливих схем навантаження – при навантаженні зосередженою силою, прикладеною на консольній частині плити. Плита випробовувалась на спеціально виготовленому стенді, що складається з чотирьох опорних стоек, пов'язаних попарно між собою балками, на які спиралася плита. Навантаження прикладалися по ширині плити сходами — по 0,04 від руйнівного, по двох зосереджених вертикальних смуг. Кожна ступінь навантаження закінчувалася п'ятихвилинною витримкою, на початку і наприкінці якої знімалися показання на вимірювальних приладах. Усі випробування проводилися з використанням двох домкратів 30 т та 50-тонного динамометра. Принцип роботи домкрата полягав у тому, що його нижня площина тиснула на дворівневу перехресно-балкову систему, а через неї навантаження розподілялося на плиту. У процесі випробування плити фіксували прикладене навантаження, прогини та деформації. Як вимірювальні прилади використовувалися індикатори годинного типу і прогиноміри. Процес тріщиноутворення на поверхнях плити спостерігався за допомогою трубки Брінелля у місцях найбільшого розкриття тріщин.

В результаті випробувань несуча здатність плити склала 211,2 кН при згинальному моменті 101,4 кНм. Навантаження, що відповідає початку тріщиноутворення, дорівнює 96,0 кН при згинальному моменті 46,1 кНм. Максимальна ширина розкриття тріщин становила 0,25 мм. За показаннями індикаторів побудовано графіки залежності відносної деформації від навантаження. Графіки залежності прогинів від навантаження, побудовані за даними двох прогиномірів. До появи першої тріщини максимальний прогин плити становить 17,0% від прогину, зафіксованого наприкінці випробувань.

*Ключові слова: фібробетон; плита ПАГ; несуча здатність; деформативність; тріщиностійкість; експериментальні дослідження.*

**Вступ.** Аеродромні плити ПАГ виготовляються з важкого бетону. Застосовуються такі плити для облаштування збірних покриттів постійних або тимчасових аеродромів (майданчики, злітно-посадочні смуги та ін.). Також такі плити використовуються при будівництві автомобільних доріг і майданчиків великих терміналів, під автотранспорт дуже високої тоннажності. Вони відрізняються від звичайних дорожніх плит завдяки більшій міцності і надійності. Часто аеродромні плити служать ще і для установки баштових кранів. Аеродромні плити більш довговічні, надійні і безпечні з точки зору зіткнення поверхні і транспортного засобу. Їх укладання на ґрунт відбувається в короткий проміжок часу. Одна з головних переваг аеродромних плит полягає в їх багаторазовому використанні. Аеродромні плити, які вже були у вжитку, не втрачають своїх якостей. А ціна на такі плити набагато нижче, ніж на нові, тому їх купівля дуже вигідна. Висока міцність плит забезпечує довгий термін їх служби. Завдяки використанню у виробництві плит ПАГ добротних матеріалів, вони можуть експлуатуватися в досить суворих кліматичних умовах.

Незважаючи на високі механічні та експлуатаційні властивості плит, вчені продовжують працювати над їх покращенням. У цьому зв'язку одним із перспективних напрямків є додаткове армування плит ПАГ сталеву фібру.

**Аналіз попередніх досліджень.** Експериментальні дослідження аеродромних плит, як і методи їхнього розрахунку, дуже різноманітні. Відповідні роботи проводяться в багатьох країнах, але слід зазначити, що випробування плит ПАГ потребують спеціального обладнання, є трудомісткими та дорогими. Більшість випробувань аеродромних плит — це натурні випробування, які можуть бути статичними (під дією східчасто прикладених статичних навантажень) або динамічними (під дією рухливих навантажень, що багаторазово повторюються). Проводять такі випробування, зазвичай, на аеродромах. Випробування у лабораторних умовах проводять вкрай рідко. А опис у науковій літературі подібних випробувань серійних сталевіфібробетонних плит авторам взагалі не зустрічався.

У статті [1] описується еволюція збірних залізобетонних покриттів у різних країнах і, зокрема, США. Наведено огляд результатів прискорених вантажних випробувань за допомогою симулятора важкого транспортного засобу. У [2] наведено результати експериментальних досліджень несучої здатності залізобетонних плит покриття доріг, попередньо напружених плит та порогових нерівностей випробувального полігону. Вплив неповного контакту плити ПАГ із основою напружено-деформований стан, як самої плити, і її

підстави розглянуто у роботі [3]. У [4] наведено результати випробувань шістнадцяти аеродромних плит на міцність втоми. Цій самій проблемі присвячена стаття [5].

У роботі [6] описуються випробування залізобетонних плит із додаванням сталевих фібри. Випробування на 4-точковий вигин проводиться на шести плитах для вивчення структурної поведінки плит з урахуванням двох різних параметрів, а саме товщини плити та обсягу фракції сталевих фібри. Отримані результати свідчать про поліпшення несучої здатності (до 32%) і пластичності (до 87%), а також затримки поширення тріщин. Крім того, помічено, що додавання волокон компенсує зменшення товщини плити, а також змінює режим руйнування конструкції з крихкого на більш пластичний.

Використання сталевих фібробетону для дорожнього покриття досліджується в [7]. У роботі [8] оцінені довготривалі характеристики сталевих фібробетону, поліпропіленового фібробетону і бетону із додаванням латексних волокон. Практичне використання бетону, армованого сталевим волокном, в плитах, які піддані повному завантаженню від колеса гігантського літака, розглянуто в [9]. Відмітимо також роботи [10-13].

**Мета.** Метою даної роботи є експериментальні дослідження несучої здатності та тріщиностійкості серійної плити ПАГ з додатковим армуванням сталевими фіброю в лабораторних умовах.

**Матеріали та методи дослідження.** Досліджувалась серійна залізобетонна плита 1П30-18-30, виготовлена на ТОВ «Великодолинський завод ЗБК» на замовлення Одеської державної академії будівництва та архітектури (ОДАБА). При виготовленні плити в бетонну суміш додали 1% сталевих фібри із загнутими кінцями [14]. Для армування використано арматуру типу АІ КР5, КР11, діаметром 12 мм [15]. Навантаження прикладались невеликими ступенями для детального вивчення процесу деформування плити. На кожній ступені двічі фіксувалися показання приладів, а також, починаючи з моменту утворення першої тріщини, вимірювалася ширина розкриття тріщин. Як вимірювальні прилади використовувалися індикатори годинного типу, прогиноміри і трубка Брінелля [16]. Згідно з діючими в Україні нормативними документами [17], аеродромні плити (як і дорожні) розраховують за двома схемами навантаження — при навантаженні зосередженою силою, що прикладається в середині прольоту, та при навантаженні зосередженою силою, що додається на консолі. Тут розглядалася консольна схема навантаження. Випробування проводились у лабораторії кафедри будівельної механіки ОДАБА.

**Результати та обговорення.** Для проведення випробувань було розроблено спеціальний стенд, який складається з чотирьох опорних стоек,

пов'язаних попарно між собою балками. На балки спиралася досліджувана плита. Навантаження прикладалося по ширині плити ступенями — по 0,04 від руйнівного, по двох зосереджених вертикальних смуг. Кожна ступінь навантаження закінчувалася п'ятихвилинною витримкою, на початку і наприкінці якої знімалися показання на вимірювальних приладах. Усі випробування проводилися з використанням двох домкратів 30 т та 50-тонного динамометра. Принцип роботи домкрата полягав у тому, що його нижня площина тиснула на дворівневу перехресно-балкову систему, а через неї навантаження розподілялося на плиту (рис. 1).



Рис. 1. Випробувальний стенд

У процесі випробування плити (рис. 2) фіксували прикладене навантаження, прогини та деформації. Деформації вимірювали за допомогою індикаторів годинного типу з ціною розподілу 0,01 мм та базою 24 см у консольній частині плити, 36 см — у прогоновій. Процес тріщиноутворення на поверхнях плит спостерігався за допомогою трубки Брінелля у місцях найбільшого розкриття тріщин. Ціна поділу трубки Брінелля становила 0,1 мм.

Відповідно до прийнятої схеми навантаження, на верхню поверхню плити встановили два ряди індикаторів. Перша група індикаторів (2і – 6і) встановлена у верхній прогоновій частині плити, а друга група (9і – 13і) — на консольній ділянці, що завантажується. Індикатори 8і, 14і були змонтовані на бічних гранях у зоні опори консольної ділянки. Пара індикаторів 1і, 7і фіксувала деформації стиснутої зони пролітної частини плити.

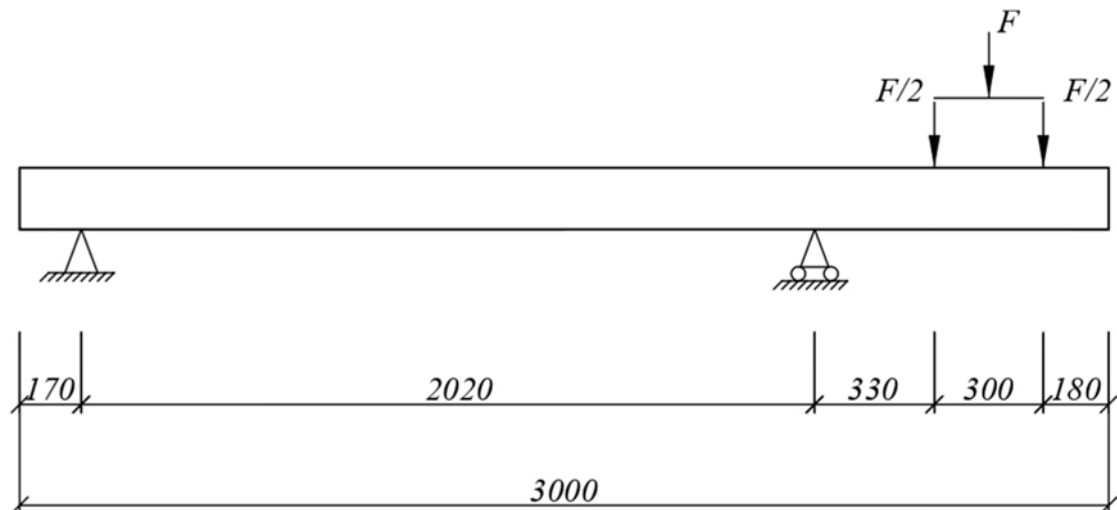


Рис. 2. Консольна схема навантаження

Результати випробувань представлені в табл. 1.

Таблиця 1

## Результати випробувань плити

Номер ступені навантаження	Навантаження, кН	Ширина розкриття тріщини, мм	
		Початкова	Кінцева
1	19,2		
2	38,4		
3	48,0		
4	57,6		
5	67,2		
6	76,8		
7	86,4		
8	96,0	1 – 0,05	1 – 0,05
9	105,6		
10	115,2	2, 3 – 0,05	2 – 0,25; 3 – 0,05
11	124,8	4 – 0,05	4 – 0,05
12	134,4	5 – 0,05	5 – 0,05
13	144,0		
14	153,6	6 – 0,05	6 – 0,05
15	163,2		
16	172,8		
17	182,4		
18	192,0	7 – 0,05	7 – 0,05
19	201,6		
20	211,2	8, 9 – 0,05	8, 9 – 0,05

В результаті випробувань несуча здатність плити склала 211,2 кН при згинальний момент 101,4 кНм.

Навантаження, що відповідає початку тріщиноутворення, дорівнює 96,0 кН при згинальний момент 46,1 кНм.

На рис. 3 показано графіки залежності відносної деформації від навантаження, побудовані за показаннями індикаторів.

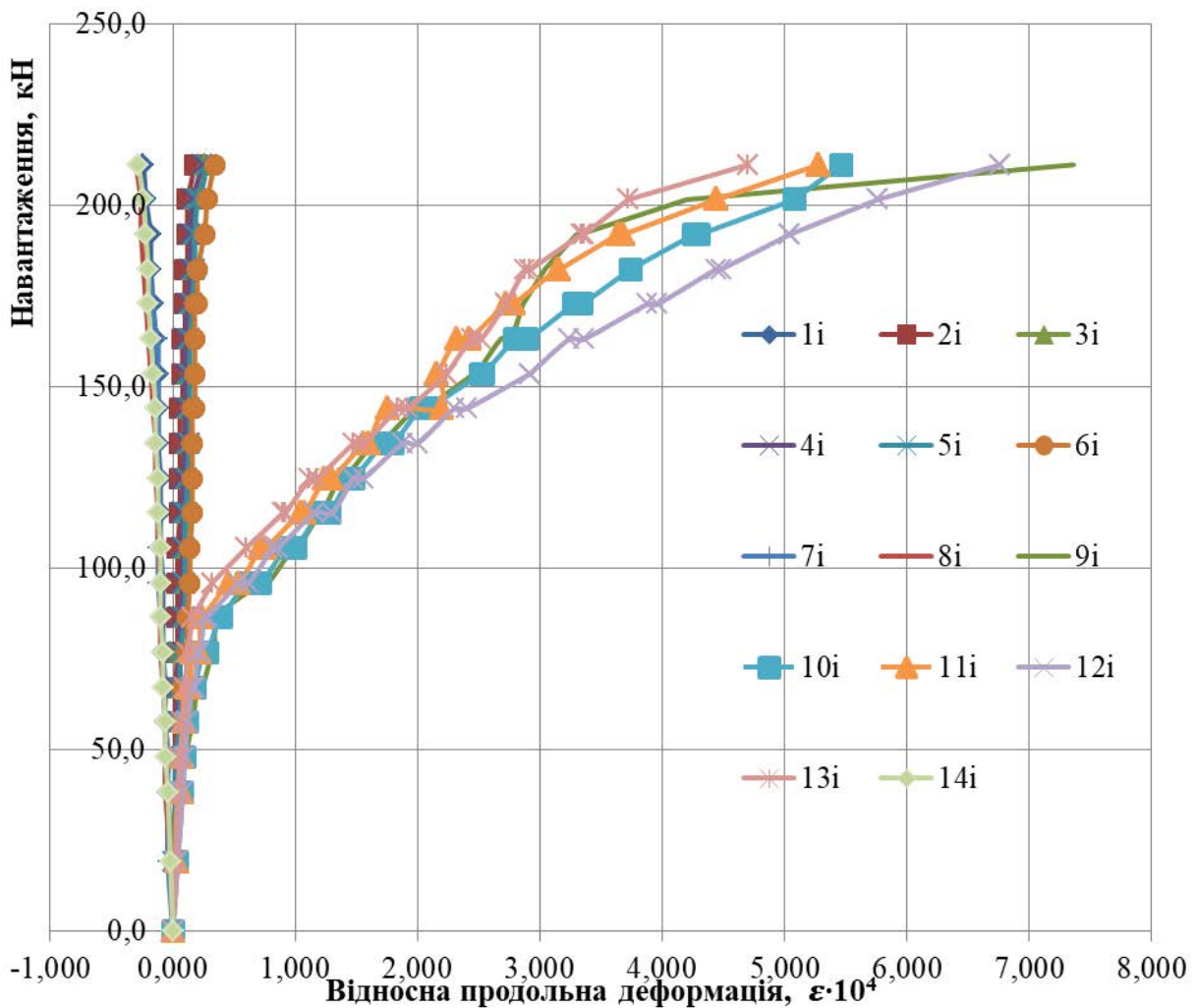


Рис. 3. Відносна деформація за показаннями індикаторів

Графіки залежності прогинів від навантаження, побудовані за даними двох прогиномірів, показано на рис. 4.

До появи першої тріщини максимальний прогин плити становить 17,0% від прогину, зафіксованого наприкінці випробувань.

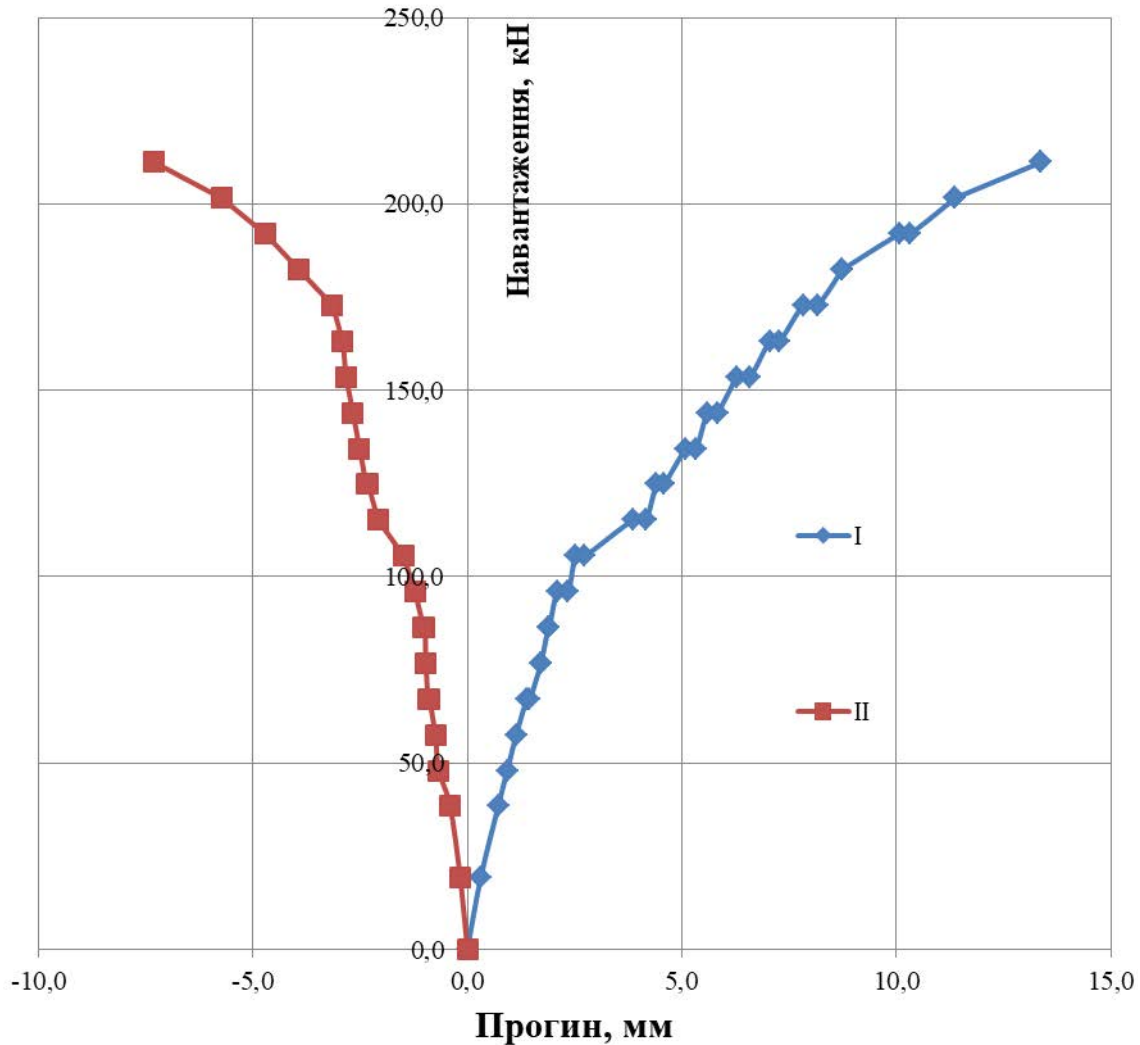


Рис. 4. Прогини плити

### Висновки

Таким чином, в лабораторних умовах проведено експериментальні дослідження несучої здатності та тріщиностійкості серійної плити ПАГ з додатковим армуванням сталеву фібру в обсязі 1%. Випробування проводили на спеціально виготовленому стенді.

Як вимірювальні прилади використовувалися індикатори годинного типу і прогиноміри. Процес тріщиноутворення на поверхнях плити спостерігався за допомогою трубки Брінелля у місцях найбільшого розкриття тріщин.

В результаті випробувань несуча здатність плити склала 211,2 кН при згинальному моменті 101,4 кНм. Навантаження, що відповідає початку тріщиноутворення, дорівнює 96,0 кН при згинальному моменті 46,1 кНм. Максимальна ширина розкриття тріщин становила 0,25 мм. За показаннями індикаторів побудовано графіки залежності відносної деформації від навантаження. Графіки залежності прогинів від навантаження, побудовані за

даними двох прогібомірів. До появи першої тріщини максимальний прогин плити становить 17,0% від прогину, зафіксованого наприкінці випробувань.

### Список літератури

1. Kohler Erwin du Plessis, Louw Smith, Peter Harvey, John Pyle, Tom Kohler, Plessis, Du Pyle, Harvey. Precast Concrete Pavements and Results of Accelerated Traffic Load Test. Precast/Prestressed Concrete Institute, 2020. Pp. 263–281.

2. Семенюк С.Д., Кумашов Р.В., Кетнер Э.А. Несущая и эксплуатационная способность железобетонных плит покрытия автомобильных дорог. Наука та будівництво, 2016. Вип. 8. С. 11–18.

3. Артемова Л.Ю. К вопросу неполного контакта плиты с основанием. Проектирование и расчет прочности конструкций и сооружений аэропортов: сборник научных трудов. Издание МАДИ (ТУ), 1999. 94 с.

4. Roesler, J.R., Hiller, J.E., & Littleton, P.C. (2005). Large-scale airfield concrete slab fatigue tests. 8th International Conference on Concrete Pavements: Innovations for Concrete Pavement: Technology Transfer for the Next Generation; Vol. 3. Pp. 1247-1268.

5. Yuan J, Li W, Li Y, Ma L, Zhang J. Fatigue Models for Airfield Concrete Pavement: Literature Review and Discussion. Materials (Basel). 2021;14(21):6579. Published 2021 Nov 2. doi:10.3390/ma14216579

6. Baarimah A.O. and Syed Mohsin S.M. An overview of using steel fibers in reinforced concrete structural elements to improve shear reinforcement. In: Proc. of the National Conf. for Postgraduate Research. Malaysia: University Malaysia Pahang, 2016. Pp. 260–265.

7. Elsaigh W. Kearsley Elsabé, Robberts J. Steel fibre reinforced concrete for road pavement applications. 24 SATC 2005: Transport Challenges, 2010. Pp. 191–201.

8. Li G., Xu W. New concrete improving performance of airfield pavement. Proceedings of the 9th International Conference of Chinese Transportation Professionals, ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation System Planning, Development, and Management, 2009. Vol. 358. Pp. 2195–2200.

9. Lal Rattan, D'Souza J.P., Sen A.K., Raghavendra N., Mullick A.K. Steel fibre reinforced concrete for airfield pavements. Cement Research Institute of India: Research Bulletin RB, 1982. Pp. 1–20.

10. Linek Małgorzata, Piotrowska Patrycja. Natural thermal loads and their influence on airfield concrete slabs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. Vol. 603. Pp. 2042–2054.

11. Bazgir A. The Behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete Material and Its Effect on Impact Resistance of Slabs. City University London, 2016. Pp. 1–101.



12. McMahon, Joshua & Birely, Anna. (2018). Experimental Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete Bridge Deck. *Journal of Bridge Engineering*. 23. 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001287.

13. Mathi K.K, Nallasivam K. Static analysis of rigid airfield pavement using finite element method vs closedform solution. *Comput Eng Phys Model* 2022;5(4):23–50. <https://doi.org/10.22115/сepm.2023.354941.1219>

14. BS EN 14889-1:2006 (2006). Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions ad specifications and conformity. BSI.

15. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови.

16. ДСТУ Б. В.2.6–137:2010 (ГОСТ 25912.2–91, MOD). Конструкції будинків і споруд. Плити залізобетонні попередньо напружені ПАГ–18 для аеродромного покриття. Конструкція. [Чинний від 2011–07–01]. ТОВ НТК "Будстандарт", 2011. 8 с. (Інформація та документація).

17. Плити залізобетонні з ненапруженою арматурою для покриття міських доріг. ДСТУ Б.В.2.6-122:2010. [Чинний від 2011-07-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 23 с. (Національний стандарт України).

Doctor of Science, Professor **Mykola Surianinov**,  
PhD **Irina Korneeva**,  
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

## **EXPERIMENTAL STUDIES OF SERIAL REINFORCED CONCRETE PAG SLAB WITH ADDITIONAL STEEL FIBER REINFORCEMENT**

Thus, in laboratory conditions, experimental studies of the bearing capacity and crack resistance of a serial PAG plate with additional steel fiber reinforcement in the amount of 1% were carried out. In accordance with the regulatory documents in force in Ukraine, one of two possible load schemes was considered — when loaded by a concentrated force applied to the cantilever part of the slab. The plate was tested on a specially made stand consisting of four support racks connected in pairs by beams on which the plate rested. The load was applied across the width of the slab in steps of 0.04 from the destructive load, in two concentrated vertical strips. Each level of load ended with a five-minute exposure, at the beginning and end of which the readings on the measuring devices were taken. All tests were carried out using two 30-ton jacks and a 50-ton dynamometer. The working principle of the jack consisted in the fact that its lower plane pressed on a two-level cross-beam system, and through it the load was distributed on the slab. In the process of testing the plates, the applied load, deflections and deformations were recorded. Clock-type indicators and protractors

were used as measuring devices. The process of crack formation on the plate surfaces was observed with the help of a Brinell tube in the places of the largest crack opening.

As a result of the tests, the bearing capacity of the plate was 211.2 kN with a bending moment of 101.4 kNm. The load corresponding to the beginning of crack formation is equal to 96.0 kN at a bending moment of 46.1 kNm. The maximum width of crack opening was 0.25 mm. According to the readings of the indicators, graphs of the dependence of the relative deformation on the load were constructed. Graphs of the dependence of deflections on the load, constructed from the data of two deflection gauges. Before the appearance of the first crack, the maximum deflection of the plate is 17.0% of the deflection recorded at the end of the tests.

Keywords: fiber concrete; PAG plate; bearing capacity; deformability; crack resistance; experimental studies.

## REFERENCES

1. Kohler Erwin du Plessis, Louw Smith, Peter Harvey, John Pyle, Tom Kohler, Plessis, Du Pyle, Harvey. Precast Concrete Pavements and Results of Accelerated Traffic Load Test. Precast/Prestressed Concrete Institute, 2020. Pp. 263–281. {in English}
2. Semenyuk S.D., Kumashov R.V., Ketner E.A. Load-bearing and operational capacity of reinforced concrete slabs for road surfaces. Science and Budivnitstvo, 2016. VIP. 8. Pp. 11–18. {in Russian}
3. Artemova L.Yu. On the issue of incomplete contact of the slab with the base. Design and calculation of the strength of airport structures and structures: a collection of scientific papers. Publication MADI (TU), 1999. 94 p. {in Russian}
4. Roesler, J.R., Hiller, J.E., & Littleton, P.C. (2005). Large-scale airfield concrete slab fatigue tests. 8th International Conference on Concrete Pavements: Innovations for Concrete Pavement: Technology Transfer for the Next Generation; Vol. 3. Pp. 1247-1268. {in English}
5. Yuan J., Li W., Li Y., Ma L., Zhang J. Fatigue Models for Airfield Concrete Pavement: Literature Review and Discussion. Materials (Basel). 2021;14(21):6579. Published 2021 Nov 2. doi:10.3390/ma14216579. {in English}
6. Baarimah A.O. and Syed Mohsin S.M. An overview of using steel fibers in reinforced concrete structural elements to improve shear reinforcement. In: Proc. of the National Conf. for Postgraduate Research. Malaysia: University Malaysia Pahang, 2016. Pp. 260–265. {in English}
7. Elsaigh W. Kearsley Elsabé, Robberts J. Steel fibre reinforced concrete for road pavement applications. 24 SATC 2005: Transport Challenges, 2010. Pp. 191–201. {in English}

8. Li G., Xu W. New concrete improving performance of airfield pavement. Proceedings of the 9th International Conference of Chinese Transportation Professionals, ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation System Planning, Development, and Management, 2009. Vol. 358. Pp. 2195–2200. {in English}
9. Lal Rattan, D'Souza J.P., Sen A.K., Raghavendra N., Mullick A.K. Steel fibre reinforced concrete for airfield pavements. Cement Research Institute of India: Research Bulletin RB, 1982. Pp. 1–20. {in English}
10. Linek Małgorzata, Piotrowska Patrycja. Natural thermal loads and their influence on airfield concrete slabs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. Vol. 603. Pp.2042–2054. {in English}
11. Bazgir A. The Behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete Material and Its Effect on Impact Resistance of Slabs. City University London, 2016. Pp. 1–101. {in English}
12. McMahon, Joshua & Birely, Anna. (2018). Experimental Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete Bridge Deck. Journal of Bridge Engineering. 23. 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001287. {in English}
13. Mathi K.K, Nallasivam K. Static analysis of rigid airfield pavement using finite element method vs closedform solution. Comput Eng Phys Model 2022;5(4):23–50. <https://doi.org/10.22115/cepm.2023.354941.1219>. {in English}
14. BS EN 14889-1:2006 (2006). Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions ad specifications and conformity. BSI. {in English}
15. DSTU 3760:2019. Rolled reinforcement for reinforced concrete structures. General technical conditions. {in Ukrainian}
16. DSTU B.V.2.6–137:2010 (GOST 25912.2–91, MOD). Structures of buildings and structures. PAG-18 prestressed reinforced concrete slabs for airfield pavement. Construction. [Effective from 2011-07-01]. LLC NTK "Budstandart", 2011. 8 p. (Information and documentation). {in Ukrainian}
17. Reinforced concrete slabs with non-stressed reinforcement for covering city roads. DSTU B.V.2.6-122:2010. [Effective from 2011-07-01]. K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2011. 23 p. (National Standard of Ukraine). {in Ukrainian}