

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОШАРОВИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ
ЗА ДІЇ СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

¹**Ковров А.В.**, к.т.н, професор,
rektor@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6037-6080

¹**Шеховцов І.В.**, к.т.н, доцент,

¹**Петраш С.В.**, к.т.н, доцент,
svet_lana_petrash@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8567-3962

¹**Овсак І.І.**, здобувач,
usk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1184-4810

¹*Одеська державна академія будівництва та архітектури*
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. Останнім часом у практиці будівництва все більшої популярності набувають багатошарові конструкції завдяки своїй економічній ефективності, що в сучасних економічних умовах відіграє першорядну роль. Значний резерв підвищення ефективності використання таких конструкцій – використання незнімної опалубки. Одним із популярних виробників незнімної опалубки із тріскоцементних плит є компанія VELOX, вироби якої знайшли своє широке застосування у малоповерховому будівництві. Тріскоцементні плити – це деревно-цементно-бетонні композиції в «незнімній опалубці» – синтез натуральних матеріалів – каменю та дерева в сучасному вигляді.

Метою цієї статті є дослідження роботи багатошарових плит перекриття, виготовлених із застосуванням елементів незнімної опалубки VELOX, за дії статичного навантаження при різних варіантах кріплення опалубки. Випробування дослідних зразків проводили до появи та розкриття нормальних тріщин у нижній розтягнутій зоні бетону або до перевищення значення прогину критичного значення. На підставі експериментальних та чисельних даних отримано значення руйнівних навантажень та деформацій у дослідних конструкціях.

У процесі проведення випробувань руйнування дослідних зразків відбувалося за класичною схемою руйнування згинальних елементів з роздробленням бетону стиснутої зони та утворенням нормальних тріщин. За результатами випробувань визначено величини відносних деформацій крайніх стиснутих та розтягнутих волокон плити, а також деформації на межі матеріалів (бетону та VELOX), значення прогинів. Побудовано відповідні графіки. Визначена несуча здатність плит, виготовлених із застосуванням елементів незнімної опалубки VELOX з різними варіантами кріплення тріскоцементної плити (дослідні зразки П2, П3), перевищила несучу здатність залізобетонних плит (маркування П1) на 10 та 50 % відповідно.

Застосування на практиці багатошарових комплексних конструкцій вимагає подальшого проведення експериментальних досліджень за цим напрямком, що дозволить знаходити оптимальні конструктивні рішення для споруд із застосуванням конструкцій такого типу.

Ключові слова: багатошарові перекриття, незнімна опалубка, VELOX, руйнівне навантаження, прогини, відносні деформації.

Вступ. Важко уявити сучасне будівництво без залізобетону. Залізобетонні конструкції використовуються при будівництві житла, громадських будівель та споруд, промисловому будівництві, ефективному освоєнні підземного простору, транспортному будівництві, зведенні будівель та споруд, що визначають вигляд міської архітектури.

Останнім часом набувають актуальності багатошарові конструкції, завдяки своїй економічній ефективності. Завдяки доцільному вибору та складу окремих шарів можуть бути створені багатошарові панелі з відмінними статичними та конструктивними властивостями.

Залежно від форми поперечного перерізу, матеріалів та видів обпирання існує велика різноманітність комбінаційних можливостей. Властивості багатошарових панелей переважно залежать від будови їхніх шарів. Спільними для більшості багатошарових панелей є такі властивості як: велика несуча здатність при невеликій власній вазі, висока втомна міцність при змінних навантаженнях, добра звукоізоляція та теплоізоляція в порівнянні із однорідними панелями за однакової маси і жорсткості.

Багатошарові конструкції можуть застосовуватися для різних конструктивних систем будівель. При використанні перекриття з плитною незнімною опалубкою створюється своєрідна залізобетонна шкаралупа, що попередньо укладається на опори. Ця шкаралупа має орієнтовані догори випуски арматури і на неї укладається бетон. Такі перекриття, що застосовуються у цивільному та промисловому будівництві, поєднують переваги збірної конструкції (прискорений монтаж при використанні легкого вантажопідйомного обладнання, створенню гладких стель, що не потребують додаткової штукатурки) та монолітної конструкції (будь-яка форма перекриття в плані, приховані балки та комунікації).

Аналіз останніх досліджень. Дослідженню роботи багатошарових плит перекриття присвячено достатню кількість наукових робіт як в Україні [1-7], так і за кордоном [8-14]. Значний резерв підвищення ефективності використання таких конструкцій – використання незнімної опалубки. Одним із популярних виробників незнімної опалубки із тріскоцементних плит є компанія VELOX, вироби якої знайшли своє широке застосування у малоповерховому будівництві.

VELOX [15] – деревно-цементно-бетонні композиції в «незнімній опалубці» – синтез натуральних матеріалів – каменю та дерева в сучасному вигляді. Технологія монолітного домобудівництва в незнімній опалубці VELOX розроблена в Австрії, де набула широкого поширення. Тріска деревини нетвердих порід, виготовлена з відходів деревообробної промисловості – вихідний натуральний матеріал для виготовлення тріскоцементних плит. Монолітне будівництво за системою VELOX забезпечує ідеальне поєднання теплоізолюючих та теплоакумуючих властивостей, вона дозволяє будувати швидко та без застосування важкої техніки. Ще одна перевага – багатоваріантність використання матеріалів та конструкцій VELOX на будинках різної поверховості, легких дачних будинках, господарських спорудах, реконструкції та ремонті будівель, мансардних поверхах.

Проведений аналіз стану та тенденцій удосконалення будівництва із застосуванням такої технології показує необхідність його подальшого розвитку та вдосконалення.

Мета дослідження. Метою статті є дослідження роботи багатошарових плит перекриття, виготовлених із застосуванням елементів незнімної опалубки VELOX, за дії статичного навантаження при різних варіантах кріплення опалубки та порівняння отриманих значень руйнівних навантажень та деформацій у дослідних конструкціях.

Методика досліджень. В лабораторних умовах були проведені випробування монолітних залізобетонних плит [16] з розмірами перерізу 900×150 мм завдовжки 2000 мм (плити з маркуванням П-1) та аналогічних ним плит із застосуванням елементів незнімної опалубки VELOX, закріпленої до нижньої грані плити (плити з маркуванням П-2 та П-3). Розміри елементів VELOX – 450×35 мм. Дослідні зразки армувалися поздовжньою та поперечною арматурою Ø8A400C. Використовувалися два типи анкерування тріскоцементних плит VELOX: для плит П-2 в якості анкерів застосовувалися шурупи по дереву 3.5×2.5 мм, а в плитах П-3 використовувався гіпсокартонний профіль СД60, площа перерізу якого орієнтовно дорівнює площі поперечного перерізу арматурного стрижня Ø8 мм (при цьому гіпсокартонний профіль був закріплений за допомогою саморізів, встановлених у шаховому порядку). Дослідні зразки наведено на рис. 1.

На етапах виготовлення були проведені випробування матеріалів, що використовуються при виготовленні дослідних зразків багатошарових плит для визначення їх фізико-механічних властивостей (тріскоцементних плит VELOX, арматурних стрижнів, а також зразків бетону).

Схему випробувань зразків наведено на рис. 2. Дослідні зразки випробовувалися як шарнірно-обперті. В якості рухомої шарнірної опори використовувався металевий каток, встановлений між двома пластинами для запобігання процесу зминання. Як шарнірно-нерухомі опори використовувалися ковзанки, в яких не було вільного переміщення. Навантаження передавалось за допомогою домкрата через металеву траверсу ступенями по 5 кН кожна з витримкою по 10 хв.

В процесі випробувань визначалися наявність процесу зминання в тріскоцементній плиті на опорах, прогини багат шарової конструкції в середньому по її довжині перерізу, відносні деформації верхньої та нижньої грані багат шарової плити та на межі матеріалів.

Випробування дослідних зразків проводилися до появи та розкриття нормальних тріщин у нижній розтягнутій зоні бетону або до перевищення значення величини прогину в 1/200 прольоту.

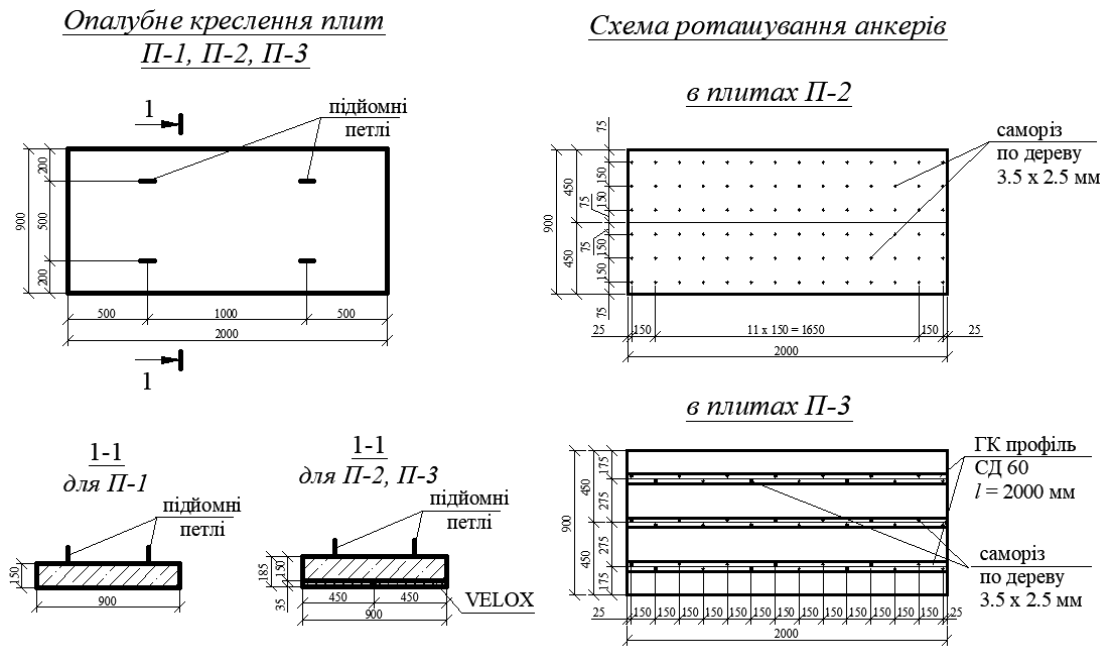


Рис. 1. Дослідні зразки плит П-1, П-2, П-3



Рис. 2. Схема передачі навантаження та місця встановлення приладів при проведенні випробувань зразків

Результати досліджень. Усі плити у процесі випробувань зруйнувалися за нормальним перерізом. Руйнування відбувалося за класичною схемою руйнування згинальних елементів з роздробленням бетону стиснутої зони та утворенням нормальних тріщин. У таблиці 1 наведено середні значення руйнівних навантажень для плит П-1, П-2, П-3.

Таблиця 1 – Середні значення руйнівних навантажень

Маркування плит	Руйнівне навантаження F_u , кН	$F_u / F_u^{П-1} *$
П- 1	45	1,0
П- 2	50	1,11
П- 3	70	1,55

* – в якості $F_u^{П-1}$ прийнято середнє значення руйнівного навантаження для плит П-1.

За результатами випробувань визначено величини відносних деформацій крайніх стиснутих та розтягнутих волокон плити, а також деформації на межі матеріалів (бетону та VELOX), значення прогинів у центральній зоні. Результати у вигляді відповідних графіків наведено на рис. 3...5.

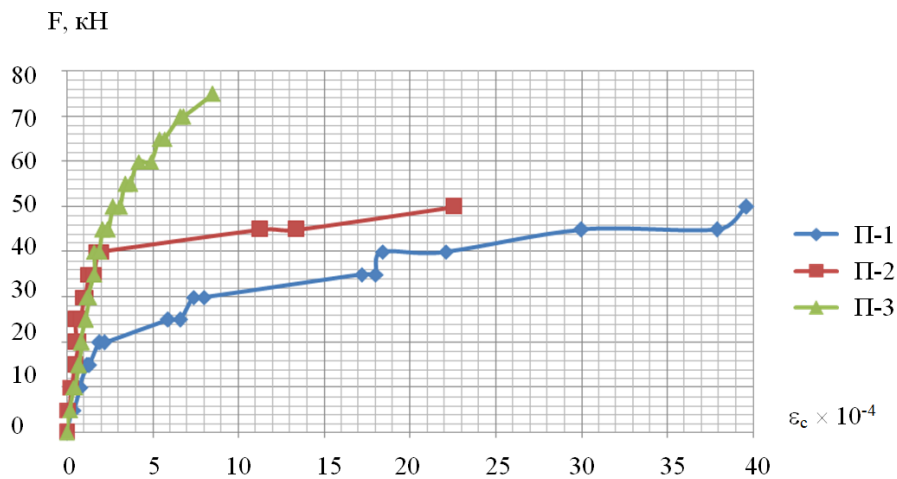


Рис. 3. Залежність $F - \varepsilon_c$ для верхніх волокон плит П-1, П-2, П-3

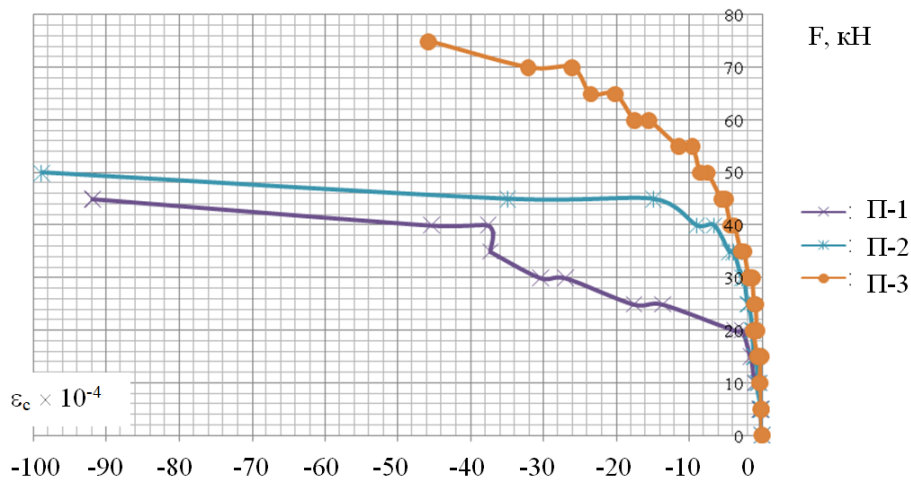


Рис. 4. Залежність $F - \varepsilon_c$ для нижніх волокон плит П-1, П-2, П-3

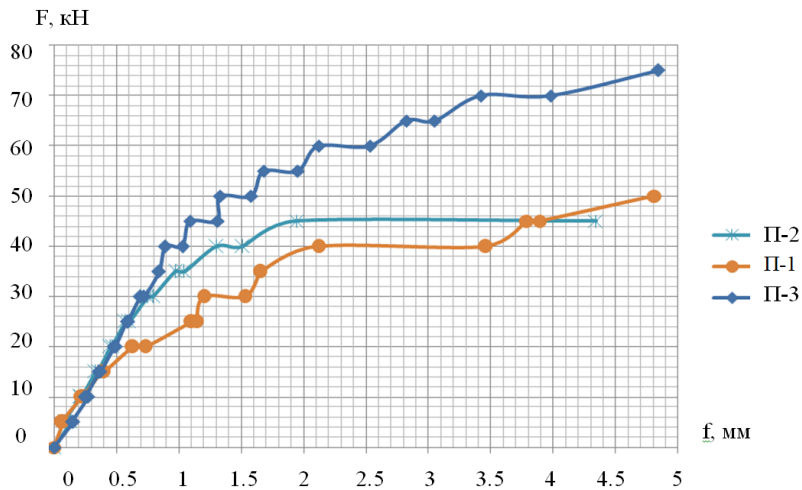


Рис. 5. Залежність $F - f$ для плит П- 1, П- 2, П- 3

Висновки:

1. Проведені експериментальні дослідження роботи багатошарових плит перекриття, виготовлених із застосуванням елементів незнімної опалубки VELOX, за дії статичного навантаження при різних варіантах кріплення опалубки для забезпечення спільної роботи її шару з тілом бетону з метою оцінки можливості її роботи як елемента перекриття.

2. Руйнування дослідних зразків відбувалося за схемою руйнування згинальних елементів з роздробленням бетону стиснутої зони та утворенням нормальних тріщин. За результатами випробувань визначено значення відносних деформацій крайніх стиснутих та розтягнутих волокон плити, а також деформації на межі матеріалів (бетону та VELOX).

3. Несуча здатність плит перекриття з використанням елементів незнімної опалубки (маркування П2 та П3) перевищує несучу здатність залізобетонних плит (маркування П1) на 10 та 50 % відповідно. Значення прогинів у центральній зоні плит при максимальних навантаженнях мають порівняні значення.

4. Застосування на практиці багатошарових комплексних конструкцій вимагає подальшого проведення експериментальних досліджень за цим напрямком, що дозволить знаходити оптимальні конструктивні рішення для споруд із застосуванням конструкцій такого типу.

Література

1. Shmukler V.S. Evolutionist approach in rationalization of building. *ISEC-03 Third International structural Engineering and construction Conference*, Shunan. 2005.
2. Шмуклер В. С. Климов Ю. А., Бурак Н. П. Каркасные системы облегченного типа. Харьков: Золотые страницы, 2008. 336 с.
3. Вознюк Л.І., Рутковська І.З. Проектування і дослідження багатошарових конструкцій. *Сборник научных трудов "Строительство, материаловедение, машиностроение"*. Дніпропетровськ, 2007. Вип. 628. С. 100–104.
4. Вознюк Л.І., Демчина Б.Г., Собчак-Пястка Ю. Випробування керамзитобетонних плит перекриття із ефективними вставками. *Вісник Львівського національного аграрного університету : архітектура і сільськогосподарське будівництво*, 2016. Вип. 17. С. 109–117.
5. Вознюк Л.І., Демчина Б.Г., Дубіжанський Д.І. Дослідження трьохшарових балочних плит на згин. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*, 2015. Вип.4 (68). С. 232–238.
6. Майборода В.М., Карпюк В.Ф. Трёхслойные железобетонные конструкции. К.: Будівельник, 1990. 144 с.
7. Вознюк Л.І. Несуча здатність та деформативність багатошарових плит перекриття: дис....к-та техн.. наук (д-ра філософії): 05.23.01 / Національний університет "Львівська політехніка". Львів, 2018. 190 с.

8. Schnellenbach-Held M., Ehmann S., Pfeffer K. BubbleDeck. New Ways in Concrete Building, Darmstadt, 1998. Vol.13. P. 93-100.
9. Daniel Ronald Joseph J., Prabakar J., P. Alagusundaramoorthy, Experimental and numerical study on flexural behavior of precast light-weight concrete sandwich panels, *Int. J.Res. Eng. Technol.* 2015. Vol. 4(13). P. 463-467.
10. Benayoune A., Samad A.A.A., Trikha D.N., Abang Ali A.A., Ellinna S. H.M. Flexural behavior of precast concrete sandwich composite panel – experimental and theoretical investigations, *Constr. Build.*, 2008. Vol. 22. P. 580-592.
11. Bush T.D., Wu Z. Flexural analysis of prestressed concrete sandwich panels with truss connectors, 1998. Vol. 43 (5). P. 76-86.
12. Carbonari A., De Grassi M., Di Perna C., Principi P. Numerical and experimental analyses of PCM containing sandwich panels for prefabricated walls. *Energy and Buildings*, 2006. Vol. 38 (5). P. 472-483.
13. Foraboschi, P. Three-layered plate: Elasticity solution. *Compos. Pat B Eng.*, 2014. Vol.60. P. 764-776.
14. Frenzel, M., Curbach, M. Tragverhalten vongeschichteten Deckenelementen aus Normalund Porenleichtbeton. *Beton- und Stahlbetonbau* 111, 2016. Vol. 12. P. 828-839.
15. VELOX. Bau-systeme: веб-сайт. URL: <https://velox.at/en>.
16. ДСТУ Б В.2.6-7-95 (ГОСТ 8829-94). Конструкції будинків і споруд. Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості. [Чинний від 01.04.1996]. К., Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 45 с. (Національний стандарт України).

References

- [1] V.S. Shmukler, "Evolutionist approach in rationalization of building", *ISEC-03 Third International structural Engineering and construction Conference*, Shunan. 2005.
- [2] V.S. Shmukler, YU.A. Klimov, N.P. Burak, *Karkasnyye sistemy oblegchennogo tipa*. Khar'kov: Zolotyie stranitsy, 2008.
- [3] L.I. Vozniuk, I.Z. Rutkovska, "Proektuvannia i doslidzhennia bahatosharovykh konstruksii", *Sbornyk nauchnykh trudov "Stroytelstvo, materyalovedenye, mashynostroenye"*, no. 628, pp. 100–104, 2007.
- [4] L.I. Vozniuk, B.H. Demchyna, Yu. SobchakPiastka, "Vyprobuvannia keramzytobetonnykh plyt perekryttia iz efektyvnymy vstavkamy", *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu : arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo*, no. 17, pp. 109–117, 2016.
- [5] L.I. Vozniuk, B.H. Demchyna, D.Y. Dubizhanskyi, "Doslidzhennia trokhsharovykh balochnykh plyt na zghyn", *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, no. 4(68), pp. 232–238, 2015.
- [6] V.M. Mayboroda V.F. Karpyuk, *Trokhslonnyye zhelezobetonnyye konstruksii*. К.: Budivsel'nik, 1990.
- [7] L.I. Vozniuk, "Nesucha zdatnist' ta deformatyvnyist' bahatosharovykh plyt perekryttia", *dis...k-ta tekhn. nauk (d-ra filosofiyi): 05.23.01, Natsional'nyy universytet "L'vivs'ka politekhnika"*. L'viv, 2018.
- [8] M. Schnellenbach-Held, S. Ehmann, Pfeffer K. BubbleDeck, *New Ways in Concrete Building*. Darmstadt, vol. 13, pp. 93-100, 1998.
- [9] J. Daniel Ronald Joseph, J. Prabakar, P. Alagusundaramoorthy, "Experimental and numerical study on flexural behavior of precast light-weight concrete sandwich panels", *Int. J.Res. Eng. Technol.*, vol. 4(13), pp. 463-467, 2015.
- [10] A. Benayoune, A.A.A. Samad, D.N. Trikha, Ali A.A. Abang, S. H.M. Ellinna, "Flexural behavior of precast concrete sandwich composite panel – experimental and theoretical investigations", *Constr. Build.*, vol. 22, pp. 580–592, 2008.
- [11] T.D. Bush, Z.Wu, "Flexural analysis of prestressed concrete sandwich panels with truss connectors", vol. 43 (5), pp. 76– 86, 1998.
- [12] A. Carbonari, M.De Grassi, C.Di Perna, P. Principi, "Numerical and experimental analyses of PCM containing sandwich panels for prefabricated walls", *Energy and*

- Buildings*, vol. 38 (5), pp. 472–483, 2006.
- [13] P. Foraboschi, "Three-layered plate: Elasticity solution", *Compos. Pat B Eng.*, vol. 60, pp. 764–776, 2014.
- [14] M. Frenzel, M. Curbach, "Tragverhalten vongeschichteten Deckenelementen aus Normalund Porenleichtbeton", *Beton- und Stahlbetonbau 111*, vol. 12, pp. 828-839, 2016.
- [15] VELOX. Bau-systeme: website. [Online]. Available: <https://velox.at/en>. Accessed on: December 10, 2024.
- [16] DSTU B V.2.6-7-95 (HOST 8829-94). Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Vyroby budivel'ni betonni ta zalizobetonni zbirni. Metody vyprobuvan' navantazhennyam. Pravyla otsinky mitsnosti, zhorstkosti ta trishchynostiykosti. K.: Derzhavnyy komitet Ukrainy u spravakh mistobuduvannya i arkhitektury, 1997.

EXPERIMENTAL STUDIES OF MULTI-LAYER SLABS UNDER THE ACTION OF STATIC LOAD

¹**Kovrov A.**, PhD., Assistant Professor,
rektor@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6037-6080

Shehovtcov I., PhD., Assistant Professor,

¹**Petrash S.**, PhD., Assistant Professor,
svet_lana_petrash@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8567-3962

¹**Ovsak I.**, competitor,
usk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1184-4810

¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrikhson str., Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. In recent years multilayer structures have become increasingly popular in construction practice due to their cost-effectiveness. In today's economic climate, this factor plays a crucial role. A significant reserve for increasing the efficiency of such structures is the use of fixed formwork. One of the most popular manufacturers of fixed formwork made of wood chip cement slabs is VELOX. The company's products are widely used in low-rise construction. Wood-cement slabs are wood-cement-concrete compositions in 'fixed formwork'. It is a synthesis of natural materials – stone and wood – in a modern form.

The purpose of this paper is to study the performance of multilayer slabs made using VELOX fixed formwork elements with different options for its fastening. The load was static. The tests of the prototypes were carried out until the appearance and opening of normal cracks in the lower tensile zone of concrete or until the deflection exceeded the critical value. Based on the experimental and numerical data the values of destructive loads and deformations in the experimental structures were obtained.

During the tests the destruction of the prototypes occurred according to the classical scheme of destruction of bending elements with the fragmentation of the concrete of the compressed zone and the formation of normal cracks. Based on the test results the values of relative deformations of the extreme compressed and tensile fibres of the slab and the deformation at the interface of materials (concrete and VELOX), deflection values in the central zone were determined. The corresponding graphs were constructed. The bearing capacity of the slabs made using VELOX fixed formwork elements with different options for fixing the aggregate-cement slab (prototypes P2, P3) exceeded the bearing capacity of reinforced concrete slabs (marking P1) by 10 and 50 %, respectively.

The practical application of multilayer complex structures requires further experimental research in this area. This will make it possible to find optimal design solutions for structures using structures of this type.

Keywords: multilayer floors, permanent formwork VELOX, breaking load, deflection, relative deformations.

Стаття надійшла до редакції 4.01.2025

This work by Kovrov A., Shehovtcov I., Petrash S., Ovsak I. is licensed under [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)