

УДК 624.072.2

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАСОБІВ АНКЕРУВАННЯ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ КОМБІНОВАНИХ ЛЕГКОБЕТОННИХ ПЛИТ

ВОСКОБІЙНИК О. П.<sup>1\*</sup>, *д. т. н., с. н. с.*,  
ЧЕРЕДНІКОВА О. В.<sup>2\*</sup>, *аспірант*

<sup>1\*</sup> Кафедра організації і технології будівництва та охорони праці, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, м. Полтава, Україна, тел.: +38 (050) 304-40-23, e-mail: elenvosko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8547-762X>

<sup>2\*</sup> Кафедра архітектури та міського будівництва, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, м. Полтава, Україна, тел.: +38 (095) 546-80-41, e-mail: [al.chered108@gmail.com](mailto:al.chered108@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-4684-9870>

**Анотація. Мета.** Визначення раціональних типів анкерів і армування легкобетонних комбінованих плит з профільованим настилом за допомогою експериментальних досліджень. **Наукова новизна.** Для конструктивного забезпечення сумісної роботи компонентів комплексного перерізу комбінованих плит (сталевий профільований настил – зовнішнього армування та легкобетонної плити) авторами було розроблено 5 типів засобів анкерування: гнучкі анкери, що розташовуються вертикально і під кутом  $\pm 25^\circ$  від вертикалі (плита ПМА-2); анкеруючі засоби у вигляді поперечної арматури, що розташована у горизонтальній площині та перетинає стінки профнастилу (плита ПМА-3); вертикальні болтові анкери у різній кількості, що з'єднують верхні на нижні поверхні плит (плити ПМА-1, ПМА-5, ПМА-4). **Методика.** З метою отримання експериментальних даних щодо ефективності запропонованих засобів анкерування проведено цикл експериментальних досліджень, що включали в себе випробування п'яти дослідних зразків плит (ПМА-1 ... ПМА-5) з відношенням довжини плити до висоти її перерізу, що дорівнює 10, у яких варіювалися анкерні засоби та способи анкерування. Під час експериментів досліджували роботу компонентів плит (легкого бетону, анкерів, профнастилу) під короткочасним навантаженням, прогини посередині прольоту плит, а також визначали характер втрати несучої здатності залежно від типу анкерного засобу та анкерування. Для виготовлення дослідних зразків використовували профільований лист, гнучку арматуру, болтові анкери з різьбовою нарізкою та полістиролбетон. **Результати.** Експериментальним шляхом підтверджено ефективність застосування запропонованих авторами конструкцій анкерування у вигляді гнучкого армування (плита ПМА-2, збільшення несучої здатності в 2,4 рази у порівнянні з плитою без додаткових засобів анкерування) та горизонтального армування (ПМА-3, зменшення деформативності на 8% (при навантаженні  $0,6M_{ult, exp}$ ) у порівнянні з плитою без додаткових засобів анкерування). **Практична значимість.** Вищезазначені конструктивні засоби забезпечення сумісної роботи можна рекомендувати для практичного застосування як основні при проектуванні комбінованих конструктивних елементів, що поєднують у собі матеріали, фізико-механічні характеристики яких суттєво (на декілька порядків) відрізняються (наприклад, при використанні як матеріалу плити надлегких – теплоізоляційних бетонів, в тому числі пінополістиролбетонів з низьким модулем пружності).

**Ключові слова:** легкобетонні комбіновані плити; профільований настил; полістирол бетон; армування; деформативність; навантаження

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ АНКЕРОВКИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ЛЕГКОБЕТОННЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПЛИТ

ВОСКОВОЙНИК Е. П.<sup>1\*</sup>, *д. т. н., с. н. с.*,  
ЧЕРЕДНИКОВА А. В.<sup>2\*</sup>, *аспірант*

<sup>1\*</sup> Кафедра организации и технологии строительства и охраны труда, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, 36011, м. Полтава, Украина, тел.: +38 (050) 304-40-23, e-mail: elenvosko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8547-762X>

<sup>2\*</sup> Кафедра архитектуры и городского строительства Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, 36011, м. Полтава, Украина, тел.: +38 (095) 546-80-41, e-mail: [al.chered108@gmail.com](mailto:al.chered108@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-4684-9870>

**Аннотация. Цель.** Определение рациональных типов анкеров и армирования легкобетонных комбинированных плит с профилированным настилом с помощью экспериментальных исследований. **Научная новизна.** Для конструктивного обеспечения совместной работы компонентов комплексного сечения комбинированных плит (стального профилированного

настила – внешнего армирования и легкобетонных плит) авторами было разработано 5 типов средств анкерровки: гибкие анкеры, которые располагаются вертикально и под углом  $\pm 25^\circ$  от вертикали (плита ПМА-2) анкерующие средства в виде поперечной арматуры, расположенной в горизонтальной плоскости и пересекающей стенки профнастила (плита ПМА-3); вертикальные болтовые анкеры в разном количестве, соединявшие верхние и нижние поверхности плит (плиты ПМА-1, ПМА-5, ПМА-4). **Методика.** С целью получения экспериментальных данных об эффективности предложенных средств анкерровки, авторами был проведен цикл экспериментальных исследований, включавших в себя испытания пяти опытных образцов плит (ПМА-1 ... ПМА-5) с отношением длины плиты к высоте сечения, равной 10, в которых варьировались анкерные средства и способы анкерровки. Во время экспериментов исследовали работу компонентов плит (легкого бетона, анкеров, профнастила) под кратковременными нагрузками, находили прогибы посередине пролета плит, а также определяли характер потери несущей способности в зависимости от типа анкерного средства и анкерровки. Для изготовления опытных образцов использовали профилированный лист, гибкую арматуру, болтовые анкеры с резьбовой нарезкой и полистиролбетон. **Результаты.** Экспериментальным путем подтверждена эффективность применения предложенных авторами конструкций анкерровки в виде гибкого армирования (плита ПМА-2, увеличение несущей способности в 2,4 раза по сравнению с плитой без дополнительных средств анкерровки) и горизонтального армирования (ПМА-3, уменьшение деформативности на 8% (при нагрузке  $0,6M_{ult, exp}$ ) по сравнению с плитой без дополнительных средств анкерровки). **Практическая значимость.** Вышеперечисленные конструктивные средства обеспечения совместной работы можно рекомендовать для практического применения как основные при проектировании комбинированных конструктивных элементов, что объединяют в себе материалы, физико-механические характеристики которых существенно (на несколько порядков) отличаются (например, при использовании в качестве материала плиты сверхлегких – теплоизоляционных бетонов, в том числе пенополистиролбетон с низким модулем упругости).

*Ключевые слова:* легкобетонные комбинированные плиты; профилированный настил; полистиролбетон; армирование; деформативность; нагрузка

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF ANCHORAGE ON BEARING CAPACITY AND DEFORMATION PROPERTY OF THE LIGHT CONCRETE COMPOSITE SLABS

VOSKOBIINYK O. P.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Senior Scientist*,  
CHEREDNIKOVA O. V.<sup>2\*</sup>, *graduate student*

<sup>1\*</sup> Department of organization and technology of building and health safety, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravneviy avenue, 24, 36011, Poltava, Ukraine, phone +38 (050) 304-40-23, e-mail: [elenvosko@gmail.com](mailto:elenvosko@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8547-762X>

<sup>2\*</sup> Department of architecture and urban construction, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravneviy avenue, 24, 36011, Poltava, Ukraine, phone +38 (095) 546-80-41, e-mail: [al.chered108@gmail.com](mailto:al.chered108@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-4684-9870>

**Abstract. Purpose.** The question of determining the rational types of anchors and reinforcing of the light concrete composite slabs with profiled steel sheeting was considered. For this, experimental studies were performed. **Originality.** For constructive provision of combined action of components of the composite section of composite slabs (steel profiled sheeting – external reinforcement and light concrete slab), 5 types of anchorage were developed by the authors: flexible reinforcement, which was located vertically and at angle of  $\pm 25^\circ$  from the vertical (slab PMA-2); transverse reinforcement, which was located in the horizontal plane and which intersected the webs of the profiled steel sheeting (slab PMA-3); vertical bolted anchors in different quantities, which connected top and bottom surfaces of slabs (slabs PMA-1, PMA-5, PMA-4). **Methodology.** In order to obtain experimental data on the effectiveness of the proposed anchorage, the authors conducted series of experimental studies. The studies included the testing of five specimens of slabs with the ratio of the length of the slab to the height of its cross-section, equal to 10. Different anchors and methods of anchorage of specimens were used. The behavior of components of slabs (lightweight concrete, anchors, reinforcement, profiled steel sheeting) under short-term loading was studied during experiments. The deflections in the middle of the slab span were found, and the nature of the loss of bearing capacity, which depended of the type of anchors and the reinforcement, was determined. Profiled steel sheeting, flexible reinforcement, threaded screw bolt anchors and polystyrene concrete were used to make test specimens. **Findings.** As a result of experimental studies, the effectiveness of the author's proposed designs of the anchors in the form of flexible reinforcement (slab PMA-2, increase in bearing capacity by 2.4 times in comparison with the slab without anchorage) and transverse reinforcement (slab PMA-3, decrease of deformability by 8% (at load of  $0,6M_{ult, exp}$ ) compared with the slab without anchorage) was confirmed. **Practical value.** The anchorage of the slab PMA-2 and PMA-3 can be recommended as the main ones in the design of composite structural elements with very different physical and mechanical properties of materials (several orders). For example, using of ultra-light heat insulating concrete including polystyrene concretes with a low modulus of elasticity as a material of plates.

*Keywords:* light concrete composite slabs; profiled steel sheeting; polystyrene concrete; reinforcement; deformation property, load

### Постановка проблеми.

Економічна ситуація в Україні з кожним роком все більше стимулює забудовників вдаватися до використання енергозберігаючих заходів, як на етапі виробництва, так і при будівництві. Враховуючи це будівництво повинно застосовувати економічно та енергетично ефективні будинки та споруди. З цієї точки зору легкобетонні комбіновані плити з профільованим настилом [2, 10] можуть бути використані не тільки як конструкції з гарними конструктивними якостями, а і теплоізоляційними. В ідеалі плити мають бути легкими, але поряд з цим і міцними, мати низьку деформативність і невеликий коефіцієнт теплопровідності. Легкобетонні комбіновані плити, в яких легкий бетон працюватиме сумісно з профільованим настилом, поєднують усі вищенаведені якості. Питання залишається в одному – який тип з'єднання краще застосовувати в таких плитах. Відповідь на це питання повинні дати результати проведених досліджень.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Теплотехнічним властивостям легких сталезалізобетонних конструкцій на основі полістиролбетонів присвячені роботи Семка В.О., Лещенко М.В. [4]. Вченими у сфері будівництва проводилися роботи по застосуванню різних типів анкерування та армування в балкових сталезалізобетонних конструкціях. Але переважно в цих конструкціях використовували важкий бетон. Такого роду дослідженнями займалися Скиба О.В., Беляєва С.Ю., Дарієнко В.В. та інші [1, 3, 5, 6]. Дослідження роботи полістиролбетонних зразків залежно від класу міцності бетону з урахуванням стійкості профілю в сталезалізобетонних зразках наведені в роботах Авраменка Ю.О. та Семка О.В. [7, 11]

### Виділення невирішених частин загальної проблеми.

Питання, яке не розглядалося попередніми вченими, але є актуальним у зв'язку з поширенням використання енергоефективних конструкцій, полягає у теоретичному та експериментальному дослідженні напружено-деформованого стану легкобетонних (полістиролбетонних) комбінованих плит з профільованим настилом при їх застосуванні як теплоізоляційно-конструктивних елементів будівель. При цьому одним із ключових аспектів при проектуванні такого типу плит є забезпечення сумісної роботи компонентів комплексного перерізу: зовнішнього армування та бетонної плити, чого можливо досягти за допомогою застосування додаткових конструктивних анкеруючих засобів.

### Визначення мети та задач дослідження.

Метою експериментальних досліджень було визначення раціональних типів анкерів і армування легкобетонних комбінованих плит з профільованим настилом.

При цьому основними задачами були: розроблення різних типів анкерів і способів анкерування легкого полістиролбетону та профільованого настилу для забезпечення їх сумісної роботи у складі комбінованих легкобетонних плит; дослідження і аналіз роботи компонентів плит (легкого бетону плити, анкерів, профнастилу) під дією короткочасного навантаження; визначення характеру втрати несучої здатності залежно від типу анкерного засобу та анкерування; отримання даних, які в подальшому можливо порівняти з розрахунковими значеннями, що отримані за аналітичними моделями [8].

Експериментальне та аналітичне дослідження зразка плити без анкерування та армування ПМ-1 було проведено раніше та детально описано в [9].

### Основна частина дослідження.

Під час досліджень використовувалися зразки легкобетонних комбінованих плит з профільованим настилом з відношенням  $h/l=1/10$  (висота перерізу/довжина плити), що дає змогу експериментальним шляхом дослідити вплив дотичних напружень на роботу конструкцію.

П'ять зразків плит були армовані різними типами анкерних засобів. В експериментальних дослідженнях визначали несучу здатність плит та їх деформативність на різних ступенях навантаження при згині.

Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану зразків легкобетонних комбінованих плит проводились в акредитованій Держстандартом України лабораторії випробувального центру Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Для виготовлення всіх дослідних зразків використовувалися такі матеріали:

- зовнішнє армування – профільований лист Н75J (Н-75-750-0.7) з розрахунковим опором сталі на межі текучості  $f_{yd} = 330$  МПа;
- гнучка арматура: арматурні стержні Ø4 з арматурної проволочки Вр-1;
- болтові анкери з різьбовою нарізкою Ø6;
- бетон: полістиролбетон (всі зразки були виготовлені з бетону трьох замісів, бетон був одного складу).

Полістиролбетон, який входив до складу зразків мав такі фізико-механічні характеристики: середня об'ємна вага зразків –  $335 \text{ кг/м}^3$ , середній модуль пружності – 480 МПа, середня кубикова міцність – 700 кПа.

Зразки ПМА-1 – ПМА-5 являють собою легкобетонні комбіновані плити висотою 150 мм, які складаються з наступних компонентів:

профільованого настилу розмірами 1500x400 мм, монолітного полістеробетону, гнучкої арматури (плита ПМА-2, рисунки 1-2), поперечної горизонтальної арматури (плита ПМА-3, рисунки 3-5), болтових анкерів у різній кількості (плити ПМА-1, ПМА-4, ПМА-5, рисунки 6-8). Схема розташування гнучкої арматури плити ПМА-2 та загальний вид зразка до бетонування наведені на рисунках 2 та 5. Гнучка арматура була виготовлена з арматурної проволочки Вр-1 діаметром 4 мм.

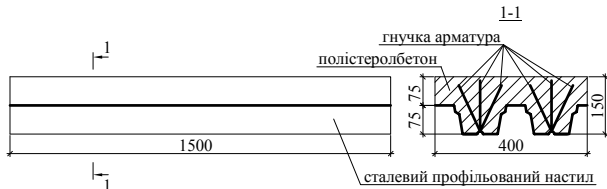


Рис. 1. Конструкція досліджувального зразка ПМА-2/  
Design of the test specimen PMA-2

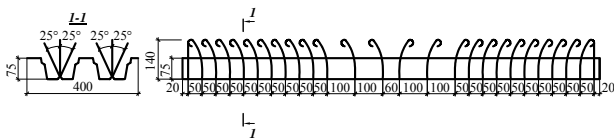


Рис. 2. Схема армування зразка ПМА-2/  
Scheme of reinforcing the specimen PMA-2

Схема розташування горизонтальної арматури плити ПМА-3 та загальний зовнішній вигляд зразка до бетонування наведені на рисунках 4 та 5. Арматура зразка ПМА-3 була також виготовлена з арматурної проволочки Вр-1 діаметром 4 мм.

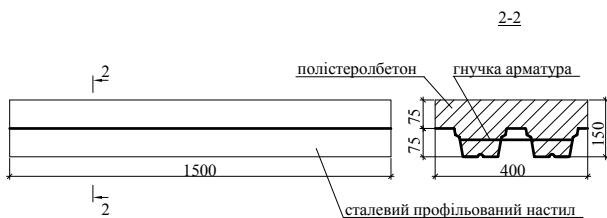


Рис. 3. Конструкція досліджувального зразка ПМА-3/  
Design of the test specimen PMA-3

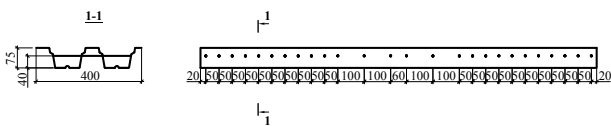


Рис. 4. Схема армування зразка ПМА-3/  
Scheme of reinforcing the specimen PMA-3

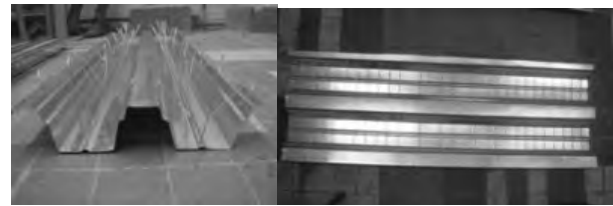


Рис. 5. Розміщення гнучкої арматури на зразках ПМА-2 та ПМА-3/

Placement flexible reinforcement on the specimens PMA-2 and PMA-3

Третій (ПМА-1), четвертий (ПМА-5) та п'ятий (ПМА-4) зразки відрізняються кількістю болтових з'єднань - кожна наступна плита має на дві пари анкерів більше ніж попередня, тобто зразок ПМА-1 має 4 анкери, ПМА-5 - 8 анкерів та ПМА-4 - 12 анкерів. Схеми розташування та крок анкерів зображено на рисунках 6-8.

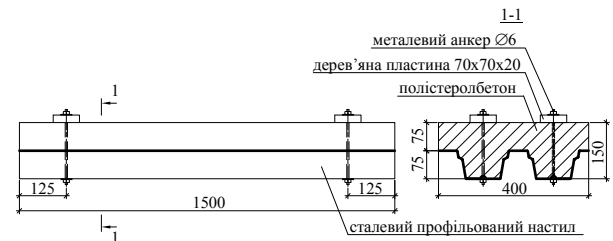


Рис. 6. Конструкція досліджувального зразка ПМА-1/  
Design of the test specimen PMA-1

При виготовленні зразків замість бетону виконувався за допомогою механічних засобів з використанням ручного інструменту, задля рівномірного розповсюдження компонентів бетону. Зважування компонентів проводилося на вагах лабораторії з точністю до 50 грамів.

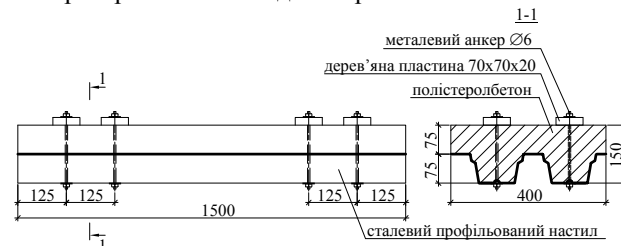


Рис. 7. Конструкція досліджувального зразка ПМА-5/  
Design of the test specimen PMA-5

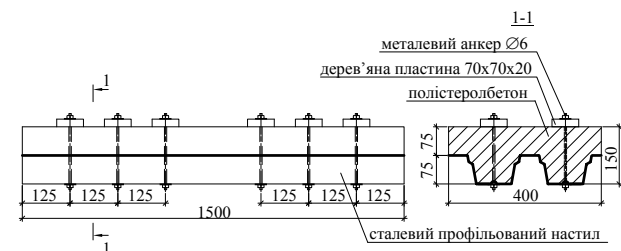


Рис. 8. Конструкція досліджувального зразка ПМА-4/  
Design of the test specimen PMA-4

Склад бетону, прийнятого для виготовлення дослідних зразків, із розрахунку на  $1 \text{ м}^3$  був таким: цемент М500 – 200 кг, пористий заповнювач (полістиролбетонні кульки) –  $1,05 \text{ м}^3$ , рідка повітрявтягуюча добавка (СДО) – 1 кг, вода – 100 л.

Укладання бетонної суміші проводилося вручну кельмою. Для кращого щеплення полістиролбетону з настилом, суміш укладали кидками. В кінці суміш вирівнювали по проектній позначці. Щоб суміш не розтікалась, було влаштовано опалубку з ОЗБ листа, яку було вкрито поліетиленовою плівкою.

Випробовування зразків здійснювалося після досягнення бетоном проектної міцності у віці 28 діб і більше. Зразки весь час зберігались при постійній позитивній температурі  $15...25 \text{ }^\circ\text{C}$  і постійній відносній вологості  $\approx 95\%$ .

Випробування зразків ПМА-1 – ПМА-5 виконувалося по однопрольотній схемі з розрахунковим прольотом 1400 мм. Навантаження прикладалися статично за допомогою гідравлічного домкрату на відстанях  $1/3$  від опор (рисунок 9). Схема установки зображена на рисунку 10. На кожному етапі навантаження витримували незмінним 5-10 хв. За цей час знімали відліки з прогиномірів та деформації зсуву профільованого настилу відносно полістиролбетону по торцям панелі.

У процесі випробовування зразка ПМА-2 на тринадцятій ступені навантаження був чутний характерний тріск, який супроводжувався відставанням бетону від стінок профільованого настилу. На сімнадцятій і вісімнадцятій ступенях звук посилювався (більш нагадував різкі хлопки), що означало відривання бетону від нижніх полиць профільованого настилу. Після того, як настил відірвався від бетону, сумісну роботу бетону з профільованим настилом забезпечували тільки поперечні гнучкі анкери. Слід зауважити, що в експерименті не була зафіксована деформація анкерів, а відбулось змінання стінок профільованого настилу. Тому можна зробити висновок, що діаметр гнучкої арматури можна зменшувати. Двадцять перша ступень характеризувала втрату несучої здатності профільованого настилу (рисунок 11).

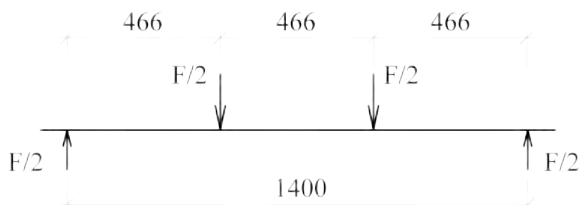


Рис. 9. Схема завантаження зразків ПМА-1 - ПМА-5/  
Scheme for loading specimens PMA-1 - PMA-5



Рис. 10. Розташування зразка ПМА-2 в дослідній установці/  
The location of the PMA-2 specimen in the experimental installation

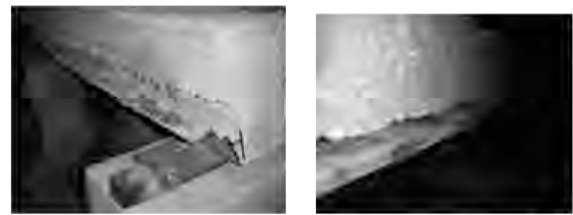


Рис. 11. Характер руйнування зразка ПМА-2/  
Destruction nature of the specimen PMA-2

При випробовуванні зразка ПМА-3 відставання бетону від профільованого настилу спостерігалось вже на одинадцятій ступені навантаження. Так само, як при випробовуваннях зразка ПМА-2 деформація анкерів не відбувалась, а відбувалось змінання стінок профільованого настилу. Вісімнадцята ступень характеризувала втрату несучої здатності.

Для зразка ПМА-1 на сьомій ступені навантаження був чутний характерний тріск, який супроводжувався відставанням бетону від стінок профільованого настилу. На десятій-одинадцятій ступенях звук посилювався, що означало відривання бетону від нижніх полиць профільованого настилу. Втрата несучої здатності відбулася на сімнадцятій ступені, під час цього зразок продовжував деформуватися без збільшення навантаження. Після того, як настил відірвався від бетону, сумісну роботу бетону з профільованим настилом забезпечували тільки вертикальні болтові анкери. Деформація анкерів також не спостерігалось.



Рис. 12. Розташування зразка ПМА-3 в установці/  
The location of the PMA-3 specimen in the experimental installation



Рис. 13. Характер руйнування зразка ПМА-3/  
Destruction nature of the specimen PMA-3



Рис. 14. Характер руйнування зразків: а) ПМА-1;  
b) ПМА-4; c) ПМА-5/  
Destruction nature of the specimens: a) PMA-1;  
b) PMA-4; c) PMA-5

Під час випробовування зразка ПМА-4 на сьомій ступені навантаження відбулося відставання бетону від стінок профільованого настилу. На десятій-одинадцятій ступені - відривання бетону від нижніх полиць профільованого настилу. Тринадцята ступень характеризувала втрату несучої здатності.

Відставання бетону від стінок профільованого настилу для зразка ПМА-5 відбулося на шостій ступені навантаження. На десятій-одинадцятій ступенях - відривання бетону від нижніх полиць профільованого настилу. Дванадцята ступень характеризувала втрату несучої здатності.

Слід зауважити, що в верхній зоні зразків в ПМА-1 – ПМА-5 не відбувалось руйнування полістиролбетону, що означає що нейтральна лінія проходила в площині профільованого настилу. Характер руйнування зразків ПМА-1, ПМА-4, ПМА-5 зображений на рисунку 14.

Таблиця 1

Результати випробування зразків на несучу здатність/ Test results for specimens' bearing capacity

Несуча здатність	Плита (зразок плити)				
	ПМА-2	ПМА-3	ПМА-1	ПМА-5	ПМА-4
По прикладеному навантаженню, Н	21480	18480	16480	12480	13480
По згинальному моменту, Н·м	5012	4312	3845	2912	3145

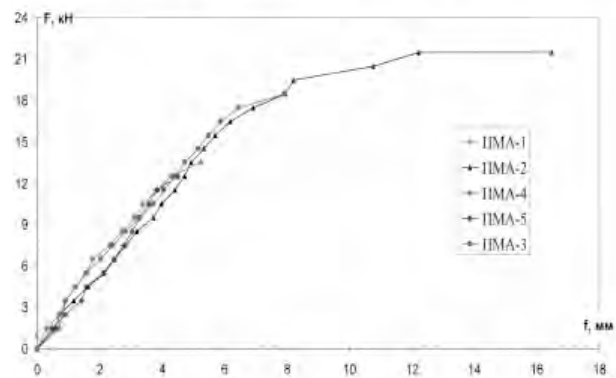


Рис. 15. Графік залежності прогинів від навантаження для усіх зразків плит/  
Curve of dependence of deflections on load for all specimens

Якщо підсумувати отримані під час експериментальних досліджень дані, то найбільшу несучу здатність мав зразок ПМА-2 з гнучким армуванням та найменшу деформативність - зразок ПМА-3 з горизонтальним армуванням. Відповідно, варіанти гнучкого армування (рисунок 2) та горизонтального армування (рисунок 4) можна рекомендувати при виготовленні легкобетонних комбінованих плит з профільованим настилем, так як вони покращують характеристики плит за рахунок більш надійного шеплення бетону з профільованим настилем. Всі елементи таких конструкцій працюють як єдине ціле, поки навантаження не досягне несучої здатності. Вертикальні анкери, які застосовувалися в плитах ПМА-1, ПМА-4, ПМА-5 (рисунок 6, 7, 8), показали свою недоцільність, так як не змогли забезпечити цілісність конструкції посередині прольоту, не змогли запобігти прослизанню бетону відносно профільованого настилу та разом з тим послабили поперечний переріз, в місцях свого розташування.

Таблиця 2

## Результати випробування зразків на деформативність/

## Test results for specimens' deformation

Ступень навантаження	F, кН	ПМА-2	ПМА-3	ПМА-1	ПМА-5	ПМА-4
		f, мм	f, мм	f, мм	f, мм	f, мм
		0,00	0,00	0	0,00	0,00
1	1,48	0,61	0,71	0,43	0,48	0,30
2	2,48	0,71	0,82	0,93	0,90	0,72
3	3,48	1,18	0,90	1,18	1,43	0,92
4	4,48	1,65	1,24	1,61	1,59	1,24
5	5,48	2,16	1,57	2,09	2,12	1,61
6	6,48	2,50	2,04	2,63	2,47	1,77
7	7,48	2,84	2,43	3,07	2,77	2,32
8	8,48	3,20	2,84	3,53	3,04	2,71
9	9,48	3,73	3,27	4,07	3,30	3,12
10	10,48	4,00	3,74	4,43	3,59	3,40
11	11,48	4,41	4,06	4,88	3,84	3,86
12	12,48	4,72	4,41	5,27	<b>4,52</b>	4,29
13	13,48	4,93	4,74	5,63	-	<b>5,25</b>
14	14,48	5,33	5,17	6,13	-	-

15	15,48	5,71	5,50	6,59	-	-
16	16,48	6,19	5,87	7,58	-	-
17	17,48	6,91	6,45	<b>7,72</b>	-	-
18	18,48	7,93	<b>7,92</b>	7,73	-	-
19	19,48	8,20	-	-	-	-
20	20,48	10,75	-	-	-	-
21	<b>21,48</b>	<b>12,22</b>	-	-	-	-

## Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.

Результати проведених експериментальних досліджень свідчать, що найбільш ефективними засобами забезпечення сумісної роботи компонентів легкобетонних комбінованих плит з профільованими настилами є анкерування у вигляді гнучкого армування (плита ПМА-2) та горизонтального армування (плита ПМА-3).

Застосування анкерування у вигляді гнучкого армування (ПМА-2) дає змогу підвищити в 2,4 рази несучу здатність у порівнянні з плитою без додаткових засобів анкерування та горизонтальне армування (ПМА-3) дає змогу знизити до 8% (при навантаженні  $0,6M_{ult,exp}$ ) деформативність досліджуваного типу ефективних теплоізоляційно-конструктивних конструкцій покриття та перекриття будівель.

## Список використаних джерел

1. Беляева С. Ю. Экспериментальные исследования железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом / С. Ю. Беляева // Зб. наук. праць Донбас. техніч. ун-ту. – Алчевск: «Лад» ДГМІ, 2005. - Вип. 20. – С. 344–348.
2. Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1994-1-1:2004, IDN) : ДСТУ Н Б EN 1994-1-1:2010 / Мінрегіонбуд України. - Київ, 2012. – 159 с.
3. Коваль М. П. Дослідження роботи монолітних залізобетонних плит зі сталевим профільованим настилом n80a та болтовими опорними анкерами при дії статичного й високорівневого малоциклового навантаження / М. П. Коваль, І. О. Кондюкова // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – ПолтНТУ, 2015. - Вип. 1(43). – С. 170-177. Режим доступу: <http://journals.pntu.edu.ua/index.php/znp/article/view/121>.
4. Лещенко М. В. Теплотехнические свойства стеновых ограждающих конструкций из стальных тонкостенных профилей и полистиролбетона / М. В. Лещенко, В. А. Семко // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – №8 (60). – С. 44-55. – Режим доступу: [http://engstroy.spbstu.ru/index\\_2015\\_08/06.pdf](http://engstroy.spbstu.ru/index_2015_08/06.pdf). - Назва з екрана. – Перевірено: 29.07.2017.
5. Семко О. В. Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних ребристих плит покриттів в розрахунковому комплексі NASTRAN / О. В. Семко, О. А. Крупченко, В. В. Дарієнко, М. І. Глінкін // «Проблеми розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів»: Збірник статей і тез міжнар. наук.-прак. конф., 03-05 жовтня 2013 р. – Кіровоград, 2013. – С. 358-363.
6. Семко О. В. Експериментальні дослідження обетонваних сталезалізобетонних балок з вигинами / О. В. Семко, О. В. Скиба, Є. В. Гутник // «Проблеми розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів»: Збірник статей і тез міжнар. наук.-прак. конф., 03-05 жовтня 2013 р. – Кіровоград, 2013. – С. 363-366.
7. Семко О. В. Легкий бетон для заповнення порожнин сталевих тонкостінних конструкцій / О. В. Семко, Д. М. Лазарев, Ю. О. Авраменко // Зб. наук. Праць. - Київ: ДП НДІБК, 2011.- №74. - С. 659-666.
8. Чередніков В.М. Про визначення параметрів напружено-деформованого стану сталезалізобетонних балочних елементів / В.М. Чередніков, О. П. Воскобійник, О. В. Череднікова // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – ПолтНТУ, 2012. - Вип. 3(33). – С. 279-287.
9. Cherednikov V. Evaluation of the warping model for analysis of polystyrene concrete slabs with profiled steel sheeting / V. Cherednikov, O. Voskobinyk, O. Cherednikova // Periodica Polytechnica Civil Engineering. – 2017. - 61(3). - P. 483-490. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3311/PPci.8717>.
10. Designers' Guide to Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures : 2th editions / Roger P. Johnson. – 2011. – 310 p.
11. Semko V. Effect of Bracing Systems on Overall Stability and Deformability of Cold-Formed Steel Roofing Structures / V. Semko, D. Prohorenko // Design, Fabrication and Economy of Metal Structures: International Conference Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, April 24 – 26, 2013. – Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013. – P. 229-234. – Режим доступу: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-36691-8\\_35](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-36691-8_35).

## REFERENCES

1. Belyaeva S. Yu. *Eksperimentalnye issledovaniya zhelezobetonnykh plit, armirovannykh stalnyim profilirovannym nastilom* [Experimental study of reinforced concrete slabs with steel profiled sheeting]. Zb. nauk. prats Donbas. tekhnichn. un-tu., Alchevsk: «Lado» DMMI, 2005, no. 20, pp. 344–348. (in Russian).
2. Minrehionbud Ukrainy. *Eurocode 4. Proektuvannia stalezalizobetonnykh konstruksii. Chastyna 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud (EN 1994-1-1:2004, IDN) DSTU-N B EN 1994-1-1:2010* [State standard of Ukraine N B EN 1994-1-1:2010 Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings]. Kyiv, 2012, 159 p. (in Ukrainian).
3. Koval M.P. and Kondriukova I.O. *Doslidzhennia roboty monolitnykh zalizobetonnykh plyt zi stalevym profilovannym nastylom n80a ta boltovymy opornymy ankeramy pry dii statychnoho y vysokorivnevoho malotsyklovoho navantazhennia* [Study of work of monolithic reinforced concrete slabs with corrugated steel decking type n80a and bolt anchors under static and high-level low-cycle loads]. *Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo* [Branch machine building, construction]. PoltNTU, 2015, no. 1(43), pp. 170-177. (in Ukrainian). Available at: <http://journals.pntu.edu.ua/index.php/znp/article/view/121>.
4. Leschenko M.V. and Semko V. A. *Teplotekhnicheskie svoystva stenovykh ograzhdayuschih konstruksiy iz stalnykh tonkostennykh profiley i polistirobetona* [Thermal characteristics of the external walling made of cold-formed steel studs and polystyrene concrete]. *Magazine of Civil Engineering*, 2015, Vol. 60 Issue 8, pp. 44-55. Available at: [http://engstroy.spbstu.ru/index\\_2015\\_08/06.pdf](http://engstroy.spbstu.ru/index_2015_08/06.pdf). (in Russian).
5. Semko O.V., Krupchenko O.A., Darienko V.V. and Hlinkin M.I. *Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu zalizobetonnykh rebrystnykh plyt pokryttiv v rozrakhunkovomu kompleksi NASTRAN* [Analysis of the stress-strain state of composite ribbed roofing slabs by software NASTRAN]. *Problemy rozvytku dorozhno-transportnoho i budivelnoho kompleksiv: Zbirnyk statei i tez mizhnar. nauk.-prak. konf.*, October 03-05, 2013, Kirovograd, 2013, pp. 358-363. (in Ukrainian).
6. Semko O.V., Skyba O.V. and Hutnyk Ye.V. *Eksperymentalni doslidzhennia obetonovanykh stalezalizobetonnykh balok z vyhynamy* [Experimental studies of concreted composite beams with bend]. *Problemy rozvytku dorozhno-transportnoho i budivelnoho kompleksiv: Zbirnyk statei i tez mizhnar. nauk.-prak. konf.*, October 03-05, 2013, Kirovograd, 2013, pp. 363-366. (in Ukrainian).
7. Semko O.V., Lazariiev D.M. and Avramenko Yu.O. *Lehkyyi beton dlia zapovnennia porozhnykh stalevykh tonkostimnykh konstruksii* [Lightweight Concrete to Fill the Cavities of Steel Thin-Walled Structures]. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. Dnipropetrovsk. PSAES*, 2011, no. 74, pp. 659–666. (in Ukrainian)
8. Cherednikov V.M., Voskobiinyk O.P., Cherednikova O.V. *Pro vyznachennia parametriv napruzhenno-deformovanoho stanu stalezalizobetonnykh balochnykh elementiv* [On the determination of stress-strain state of composite beam elements]. *Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo* [Branch machine building, construction]. PoltNTU, 2012, no. 3(33), pp. 279-287. (in Ukrainian).
9. Cherednikov V., Voskobiinyk O. and Cherednikova O. *Evaluation of the warping model for analysis of polystyrene concrete slabs with profiled steel sheeting*. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2017, no. 61(3), pp. 483-490. Available at: <https://doi.org/10.3311/PPci.8717>.
10. Roger P. Johnson. *Designers' Guide to Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures : 2th editions*, 2011, 310 p.
11. Semko V. Prohorenko D. *Effect of Bracing Systems on Overall Stability and Deformability of Cold-Formed Steel Roofing Structures*. *Design, Fabrication and Economy of Metal Structures: International Conference Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, April 24-26, 2013, Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 229-234. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-36691-8\_35*.

Стаття надійшла до редколегії: 15.08.2017.