

УДК 624.012.45

**МІЦНОСТЬ ТА ДЕФОРМАЦІЇ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЇХ АНКЕРУВАННЯ В ПРОЛЬОТІ**

**ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАЦИИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИХ АНКЕРОВКИ В ПРОЛЁТЕ**

**STRENGTH AND DEFORMATION OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE FLOOR SLABS PROVIDING ANCHORING IN THE SPAN**

**Шармаков Є.Л., аспірант** (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

**Шармаков Е.Л., аспирант** (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

**Sharmakov Y.L., postgraduate** (Kyiv national university of building and architecture, Kyiv)

Розглянуті конструктивні рішення із забезпечення зчеплення сталевих профільованих настилу та залізобетонної плити. Проведений аналіз значень напружено-деформованих станів випробуваних зразків та їх поведінка під навантаженням при різних способах анкерування в прольоті плити.

Рассмотрены конструктивные решения по обеспечению сцепления стального профилированного настила и железобетонной плиты. Проведён анализ значений напряженно-деформированного состояния испытанных образцов и их поведение под нагрузкой при разных способах анкеровки в пролёте плиты.

Constructive solutions of ensuring the adhesion of steel profiled sheet and reinforced concrete slab are viewed. The values of the stress-strain state of the tested samples and their behavior under load with different anchoring in the span are analyzed.

**Ключові слова:**

Сталезалізобетон, анкерування, порівняння, аналіз.

Сталежелезобетон, анкеровка, сравнение, анализ.

Composite steel and concrete, anchorage, comparison, analysis.

**Вступ.** На сьогоднішній день дослідження та впровадження залізобетонних плит перекриття по сталевому профільованому настилу (СПН) в практику будівництва набуває широкого розповсюдження. Проведені експериментальні дослідження показують, що міцність і надійність стале залізобетонних плит перекриття в значній мірі залежить від міцності і надійності анкерних засобів, які влаштовують для забезпечення сумісної роботи СПН та монолітної залізобетонної плити [1,3,4]. Дані дослідження потребують детального обґрунтування, оскільки визначення найбільш ефективного способу анкерування можливе лише на основі порівняння отриманих експериментальних значень напружено-деформованого стану конструкцій та їх поведінки під час навантаження.

**Мета та задачі досліджень.** Метою порівняльного аналізу є визначення найбільш ефективного способу забезпечення зчеплення сталевого листа із залізобетонною плитою, в залежності від умов експлуатації та призначення конструкції.

**Методика досліджень.** Зразки випробуваних сталезалізобетонних плит перекриття, що розглядаються в роботі, обрані з умов:

- використання однакових фізико-механічних характеристик матеріалів при виготовленні зразків плит;
- ідентичних схем навантаження дослідних зразків;
- однакових габаритних розмірів та висоти поперечного перерізу плит.

Для подальшого порівняння розглянуті дослідні зразки серій П1 – П7, в яких (крім серії П5) використані сталевий профільований лист Н75-750-0,7 та бетон класу В40. Розміри плит в плані становлять 2000×810 мм та мають висоту поперечного перерізу 125мм. У плитах серії П5 використаний бетон такого складу Ц/П/Щ/В=300/863/1080/155 кг/м<sup>3</sup> (за ГОСТ 7473-94) і профільований настил Н75-750-0,8. Розміри плит П5 становлять 1200×900 мм, висота поперечного перерізу – 115мм. Об'єм та зміст конструкцій зразків для подальшого аналізу наведений у табл. 1.

Для загального порівняння та визначення ефекту конструктивних рішень анкерування у прольоті плити, розглянуті плити П1, в яких сумісну роботу СПН та залізобетонної плити забезпечують лише приклеюванням складової бетону до сталевого листа та тертям між бетонною та сталеві частини [1]. На сьогоднішній день, такий метод забезпечення анкерування у прольоті плити при зведенні залізобетонних перекриттів по сталевому профільованому настилу є найбільш поширеним.

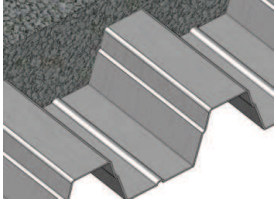
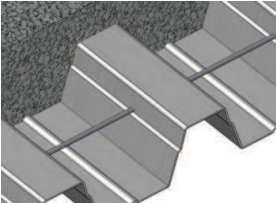
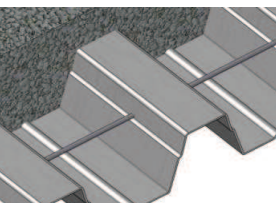
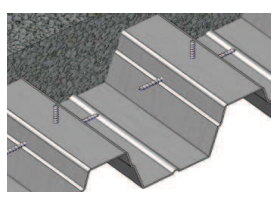
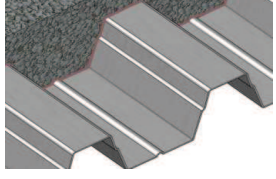
В роботі [1] розглянуті плити серій П2 та П3, в яких анкерування в прольоті плити забезпечено поперечною стрижньовою арматурою з дроту Ø5 Вр-П. Поперечні анкери, які розміщені посередині гофри з кроком в прольоті плити 200мм та 400мм відповідно, пропускають через всю ширину сталевго листа перед бетонуванням плити перекриття.

В роботі [3] розглянута серія плит П4, у яких роль анкерів відіграють самонарізні гвинти 5×35, розміщені всередині кожної гофри та полки СПН з

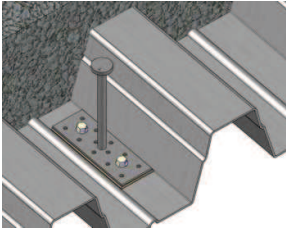
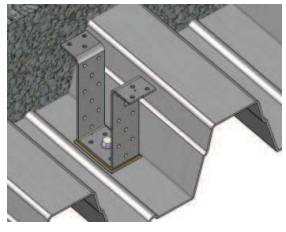
кроком 200мм. Перед бетонуванням конструкції в СПН висвердлюють отвори із подальшим встановленням у них самонарізних гвинтів.

Таблиця 1

Порівняні конструкції сталезалізобетонних плит перекриття

Серія	Ескіз	Спосіб анкерування	Максимальне навання, кН	Прогин, мм	Зсув СПН, мм
П1		Приклеювання СПН складовою бетону і тертям	35,6	23,2	1,13
П2		Поперечна стрижньова арматура Ø5 Вр-II з кроком 200мм	61,9	33	0,6
П3		Поперечна стрижньова арматура Ø5 Вр-II з кроком 400мм	52,6	35,8	0,9
П4		Самонарізні гвинти 5×35 з кроком 200мм	57,9	54,6	–
П5		Приклеювання СПН акріловою композицією	50,5	20,4	–

продовження табл. 1

П6		Анкери з оголовком з кроком 200мм	61,3	14,2	1,26
П7		Анкери з лапками з кроком 300мм	59,3	17,5	1,4

В плитах серії П5 зчеплення забезпечують приклеюванням сталевого профільованого настилу до залізобетонної плити акриловою композицією. Зразки плит у місцях контакту сталі і бетону покривають шаром клею завтовшки 3мм і заповнюють бетоном [4].

Сумісну роботу в плитах П6 та П7 забезпечують анкери двох типів з кроком 200мм та 300мм відповідно. Анкери кріплять до СПН за допомогою самонарізних гвинтів та клейового з'єднання. Розміщення анкерів на профлісті обирали на основі раніше проведених досліджень та з урахуванням перетину конусів виривання бетону цими анкерами.

В зв'язку із невідповідністю габаритних розмірів, схеми навантаження та фізико-механічних характеристик зразків серії П5 з іншими серіями, значення напружено-деформованого стану плит серії П5(отримані в роботі [4]) переведені у значення, що відповідають геометричним та фізико-механічним характеристикам плит інших серій (табл. 1). При переведенні значень використовується процентне співвідношення показників для плит із анкеруванням та без нього [4]. В якості показників плит без анкерування прийняті показники плит серії П1.

Оскільки, основу процесу зведення сталезалізобетонних перекриттів складає комплекс технологічних та організаційних заходів, направлених на оптимізацію термінів виконання робіт, зниження трудомісткості робіт, забезпечення необхідної якості будівельних матеріалів та надійності конструктивних рішень, то огляд наведених вище конструктивних рішень базується на деяких показниках, а саме:

- максимальне навантаження, яке передається на плиту;
- деформації прогину, що були зафіксовані при максимальному навантаженні;

- деформації зсуву СПН відносно бетонної плити при відшаруванні;
- характер руйнування плит переkritтя;
- трудомісткість процесу монтажних робіт.

**Аналіз результатів досліджень.** Руйнування всіх серій плит відбувається в зоні дії максимального згинального моменту і проявляється через розкриття тріщин на боковій грані полиці плити. Для плит П1, в яких зчеплення сталевого профільованого настилу та залізобетонної плити забезпечено лише приклеюванням складової бетону та тертям поверхонь, характерні найнижчі показники міцності. Через відсутність спеціальних анкерних засобів у прольоті плити, втрата несучої здатності конструкції відбувається при миттєвому відшаруванні СПН від бетонної плити. Надалі СПН працює у складі плити переkritтя не як зовнішнє армування, а як незнімна опалубка.

Випробування серій плит П2 та П3 виявили, що відсутність анкерування у прольоті плити призводить до зниження несучої здатності конструкції в 1,9 раз порівняно із плитами серії П1. На завершальних етапах навантаження отвори у СПН від поперечного анкерування приймають еліптичну форму, що дає підставу стверджувати, що поперечні анкери, встановлені в прольоті плити, з початку навантаження і до руйнування сприймають дотичні зсувні зусилля між бетонною та сталеву частинами.

Високу трудомісткість забезпечення такого зчеплення між сталевим профільованим настилом та залізобетонною плитою виправдовують достатньо високі показники напружено-деформованого стану композитної конструкції. Максимальне навантаження у плитах П2 перевищує відповідні навантаження для плит П1 у 1,74 рази і в 1,18 раз – серії плит П3. Крім того, найбільше максимальне навантаження для зразків характерне саме для плит П2 (табл.1). Встановлений оптимальний крок анкерування дорівнює 200 мм [1].

Використання акрилових клеїв при забезпеченні зчеплення сталевого профільованого листа із залізобетонною плитою істотно впливає на напружено-деформований стан дослідних зразків. Несуча здатність досліджуваних елементів серії П5 вища на 42% у порівнянні з плитами без такого з'єднання (серія П1). Після відриву СПН від бетонної плити відбувається різка зміна прогину від навантаження та зсув бетонної та сталеві частин одна відносно одної, що свідчить про підвищення деформативності конструкції. Протягом всього навантаження, значення прогинів плавно збільшується, що підтверджує забезпечення надійної сумісної роботи обох компонентів композитної конструкції [4].

До переваг конструктивного рішення плит серії П5 слід віднести відсутність локальних концентрацій напружень – клейова суміш рівномірно розподіляє напруження по всій площі склеювання. На відміну від прийнятих конструктивних рішень у плитах П2 та П3 механічні властивості сталевго листа не порушуються отворами для анкерування, міцність перерізу не послаблюється. В результаті чого відсутні високі рівні концентрації напружень, що дозволяє у повній мірі використовувати властивості склеєних матеріалів.

В'язкі та пружні властивості клейових з'єднань підвищують міцність з'єднань при втомі у порівнянні з механічними кріпленнями [5]. Крім того, акрілові клеї мають високу довговічність.

Однак клейові з'єднання потребують значно більшої площі контакту між матеріалами, що склеюються, для витримування такого ж навантаження, що і при використанні механічного кріплення. Необхідність у належній підготовці поверхні СПН перед нанесенням клею, при неможливості завжди забезпечити його на будівельному майданчику, є одним із основних недоліків клейового з'єднання [2]. Забезпечення адгезії, перевірка цілісності та якості виконання робіт, оскільки клейовий вузол є внутрішнім типом з'єднань, уповільнюють впровадження подібних конструктивних рішень у практику будівництва.

Експериментальні випробування плит П4 показують, що анкерування сталевого профлиста самонарізними гвинтами у прольоті і на опорі плит з кроком 200 мм є достатнім для забезпечення їх несучої здатності при повному використанні міцності бетону. Одночасно відбувається сколювання бетону в місцях кріплення полок сталевого профільованого настилу самонарізними гвинтами до бетонної полиці. Експериментальні випробування показують, що анкерування гвинтами-саморізами дозволяє віддалити момент відшарування залізобетонної плити від СПН, тим самим збільшуючи несучу здатність плити.

Простота та міцність такого конструктивного рішення дозволяє влаштувати анкерування без суттєвої підготовки поверхні сталевого профільованого настилу. Міцність та якість самонарізного кріплення легко перевірити (без використання руйнівних методів) на відміну від клейового. Крім того, такий спосіб забезпечення зчеплення не є більш трудомістким на відміну від способу, використаного у плитах П2 та П3.

Недоліком самонарізного кріплення є послаблення перерізу СПН отворами від гвинтів та видимість тіла самого гвинта. При змінних температурах відбувається послаблення міцності такого з'єднання, оскільки різниця температур ззовні та всередині композитної конструкції призводить до розширення та звуження металевих частин кріплення. На стадії монтажу міцність самонарізного кріплення послаблюється через постійні навантаження та малу товщину сталевого листа, яка відіграє чималу роль у міцності самонарізного з'єднання [6].

Характер руйнування плит серій П6 та П7 подібний до наведених вище дослідних зразків (П1–П5), однак відшарування СПН у плитах відбувається на 3–4 стадії, що підтверджують гучні локальні потріскування (хлопки) по площі контакту сталевого листа із бетоном. На перших стадіях відшарування зафіксовані деформації самонарізних кріплень, у яких отвори крайніх рядів у СПН приймають овальну форму. При подальшому навантаженні деформація кріплень розвивається від торців плити до зосереджених сил. Підвищення деформативності плит спостерігається після першої стадії, значення прогинів

зростають з помітним прирощенням, однак стабілізуються при витримуванні навантаження. Остання стадія відшарування сталеві частини плити відбувається при  $\approx 80\%$  руйнуючого навантаження. Слід відзначити, що найслабшим місцем такого анкерування у прольоті плити є не конструкція самого анкера, а місце кріплення бази анкера до СПН.

Здатність клеїв не тільки формувати з'єднання, а й герметизувати його дають змогу зробити вузол кріплення анкера до СПН у плитах П6 та П7 захищеним від корозії та рівномірно охопити базою анкера більшу площу за допомогою склеювання. Самонарізне кріплення робить процес монтажу анкерів швидким та надійним, оскільки міцність самонарізного гвинта вища за міцність матеріалів, які з'єднуються. Багатостадійність відшарування дозволяє проектувати такі плити у районах із високою сейсмічною активністю, оскільки руйнування таких несучих конструкцій носить не раптовий, а поступовий характер.

Основним недоліком конструктивних рішень плит П6 та П7 є висока трудомісткість процесу виготовлення, а отже зниження темпів будівництва. Однак, з іншого боку, плити П6, як і плити П2, мають найвищі показники міцності, крім того найменші прогини характерні саме для плит П6. Це дозволяє зробити висновок про меншу деформативність таких конструкцій в порівнянні з іншими зразками, а отже – доцільність використання такого анкерування.

**Висновки.** Результати експериментальних досліджень та аналізу конструктивних рішень дозволяють стверджувати, що відсутність анкерування в прольоті плити призводить до неповного використання міцності стиснутого бетону та розтягнутого СПН, оскільки зсув сталевих листів відносно бетонної плити відбувається на більш ранніх стадіях навантаження у порівнянні із плитами, в прольоті яких забезпечено анкерування. Питання зчеплення між сталевими та бетонними частинами у сталезалізобетонних плитах перекриття потребує подальшого дослідження та вдосконалення конструктивних заходів, оскільки наведені конструкції перекриття, в яких не забезпечено анкерування в прольоті, працюють практично як бетонні елементи в опалубці із СПН.

1. Беляева С.Ю. Прочность и деформативность железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом и поперечными анкерами: Дис... канд. техн. наук: ДГТУ. – Алчевск, 2006. – 165с. 2. Поциус А.В. Клеи, адгезия, технология склеивания. – Санкт-Петербург.: Профессия, 2007. – 376 с. 3. Присяжнюк М.В. Напряженно-деформированное состояние многоспустотных ребристых плит, армированных стальным профилированным настилом: Дис... канд. техн. наук: ДГТУ. – Алчевск, 2009. – 175с. 4. Стороженко Л.І., Лапенко О.І., Горб О.Г. Конструкції залізобетонних перекриттів по профільному настилу із забезпеченням сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання. //Теорія і практика будівництва: Вісник Національного Університету "Львівська політехніка". – 2010. – №662. – С. 360–365. 5. Shliekelmann R.J., Trans. JSCM, 5(1/2), 1(1979). 6. Thomas Misiek, Saskia Käpplein, Detlef Ulbrich. Selecting materials for fastening screws for metal members and sheeting. Steel Construction, 2013, 6(1), 39–46. doi:10.1002/stco.201300009.