

УДК 624.012.45

В.М.Колякова, Є.Л.Шармаков

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОЛЬОТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЇХ АНКЕРУВАННЯ У ПРОЛЬОТІ

Розглянуті конструктивні рішення із забезпечення сумісної роботи сталевого профільованого настилу та залізобетонної плити у прольотних сталезалізобетонних конструкціях. Наведені результати експериментальних випробувань сталезалізобетонних плит перекриття, в яких анкерування сталевого профільованого настилу до залізобетонної плити забезпечено у прольоті. Обґрунтовано застосування запропонованих конструктивних заходів при проектуванні прольотних залізобетонних конструкцій по сталевому профільованому настилу в умовах динамічного навантаження.

Ключові слова: сталезалізобетон, зчеплення, стадійне руйнування, динамічне навантаження.

Табл. 1. Рис. 6. Літ. 12.

В.М.Колякова, Е.Л.Шармаков

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИХ АНКЕРОВКИ В ПРОЛЁТЕ

Рассмотрены конструктивные решения по обеспечению совместной работы стального профилированного настила и железобетонной плиты в пролетных сталежелезобетонных конструкциях. Приведены результаты экспериментальных испытаний сталежелезобетонных плит перекрытия, в которых анкеровка стального профилированного настила к железобетонной плите обеспечена в пролёте. Обосновано использование предложенных конструктивных мер при проектировании пролетных железобетонных конструкций по стальному профилированному настилу в условиях динамической нагрузки.

Ключевые слова: сталежелезобетон, сцепление, стадийное разрушение, динамическая нагрузка.

V.Kolyakova, Y.Sharmakov

THE FEATURES OF COMPOSITE SPAN STRUCTURES PROVIDING ITS ANCHORAGE IN THE SPAN

Constructive solutions to ensure common work of profiled steel decking and concrete slab in the span of composite structures are reviewed. The results of experimental tests of composite slabs in which anchoring steel profiled sheeting to the concrete slab is provided in the span are showed. Proved the use of the proposed design solutions in the design of reinforced concrete span structures with a steel profiled decking under dynamic loading.

Key words: composite steel and concrete constructions, clutch, stage destruction, dynamic load.

Постановка проблеми. В наш час залізобетон та метал є основними матеріалами прольотних будов капітальних мостів. Тому, цілеспрямованим є застосування поряд із залізобетонними та металевими також сталезалізобетонні прольотні будови, в яких залізобетон та метал працюють в єдиній композитній конструкції, що дозволяє у багатьох випадках найкращим чином використовувати кожен з цих двох матеріалів згідно з його властивостями.

Основна увага науковців присвячена дослідженню сумісної роботи сталеві та залізобетонної частин перерізу композитних конструкцій та їх розрахунку, оскільки міцність та деформативність даних конструкцій головним чином залежить саме від міцності і надійності анкерних засобів [5].

Чинні галузеві будівельні норми із проектування сталезалізобетонних конструкцій мостів, у лінійних розрахунках нехтують впливами ковзання та роздільним визначенням внутрішніх сил і моментів на границі розділу сталь-бетон, а рекомендації по проектуванню залізобетонних плит по сталевому профільованому настилу (СПН) не дозволяють використовувати сталевий лист як зовнішнє армування залізобетонної плити при динамічних впливах з коефіцієнтом асиметрії циклу $\rho < 0,7$ [3, 4]. Головним чином такий підхід до проектування пояснюється вразливістю наведених вище конструкцій до коливань та вібрацій, спричинених ходом людей, рухом транспорту та іншим динамічним навантаженням.

Вразливість плит по СПН до динамічного навантаження пояснюється передчасним відшаруванням сталевих листів, анкерування в прольоті якого забезпечено лише склеюванням складової бетону та силами тертя, від залізобетонної плити. Порушення сумісної роботи композитної конструкції відбувається по контакту сталь-бетон внаслідок неспроможності міцності сил склеювання чинити опір динамічному навантаженню. Втрата зчеплення

©В.М.Колякова, Є.Л.Шармаков

призводить до переходу від напружено-деформованого стану композитної конструкції до напружено-деформованого стану залізобетонної та сталеві конструкції, які в подальшому працюють окремо. Надалі, сталевий лист виконує функцію незнімної опалубки, а не зовнішнього армування. Порушення сумісної роботи передусім втрачає несучу здатність сталезалізобетонної конструкції в цілому, прогини конструкції збільшуються і не стабілізуються при витримці навантаження [1, 2, 9].

Тому, постає питання із забезпечення надійної та довговічної сумісної роботи сталеві та бетонної частин перерізу, що дало б змогу використовувати обидва матеріали конструкції в повній мірі. Крім того, важливим питанням при будівництві прольотних будов мостів є економія витрат матеріалів, досягти якої можна за допомогою застосування монолітної залізобетонної плити по сталевому профільованому настилу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток сталезалізобетонних мостів пов'язаний із застосуванням суміжних конструкцій в інших сферах будівництва. Так значного поступу у впровадженні конструкцій міжповерхового перекриття житлових і промислових споруд із використанням монолітної залізобетонної плити, укладеної по СПН зробила Чехія. На металургійних комбінатах країни виготовляли універсальну систему «VIP» [10], яка складалася з системи прокатних профілів або зварних балок прогонами від 2,4 до 12,6 м (головних та другорядних або тільки головних), що працюють разом із СПН, по якому вкладали монолітний залізобетон (рис. 1).

Розглянуту конструктивну форму застосовували і в мостобудуванні. У 1976р. у ЧССР на автомобільній дорозі Хомутів – Йірків збудований міст за схемою 3×21 м із використанням у сталезалізобетонній проїзній частині сталеві профільованого настилу VSZ [10].

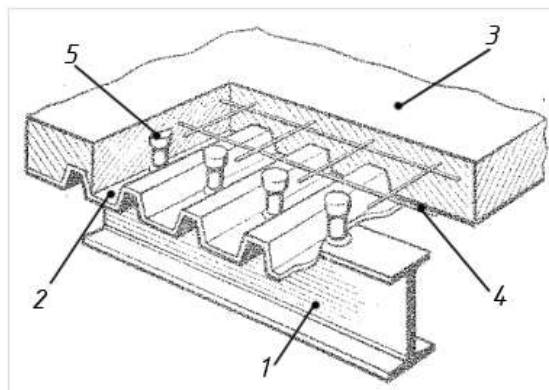


Рис. 1. Монолітне залізобетонне перекриття за системою «VIP»

1–металева балка перекриття, 2–сталевий профільований лист, 3–бетон, 4–арматурна сітка, 5–упор із оголовком [10].

У дослідженнях [12] розглянута конструкція залізобетонної плити по СПН, для прольотних будов мостів. Композитна конструкція складається із декількох шарів бетону, гофрованого металеві лист між ними та арматурних стрижнів, що проходять в поперечному напрямку плити через стінки гофр. Частково змонтована конструкція плити розміщується у прольоті мосту і заливається другим шаром бетонної суміші (рис. 2).

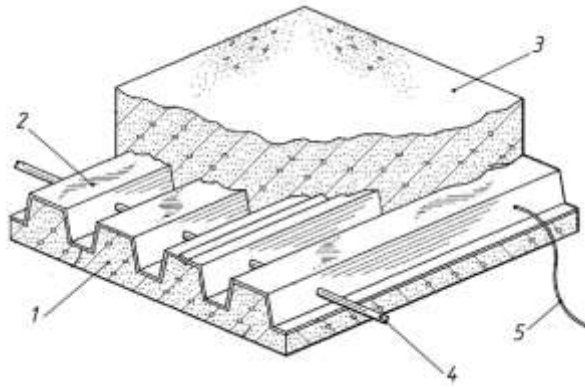


Рис. 2. Сталезалізобетонна мостова плита

1—перший шар бетону, 2—сталевий профільований лист, 3—другий шар бетону, 4—арматурний стрижень, 5—дріт (катодного захист від корозії) [12].

Значну увагу розробці сумісної роботи залізобетонної плити та сталевому настилу у прольотних будовах, а також методам їх розрахунку присвячені роботи Айрум'яна Э.Л. [1], Давиденко А.С. [2, 6], Замалиева Ф.С. [5], Санникова И.В. [8], Стороженко Л.І. [9] та інших.

Однак цілий ряд питань, які стосуються забезпечення зчеплення у прольоті плити, потребують свого вирішення, оскільки кожний конструктивний захід відображається на характері деформування та роботи конструкції в цілому і має свої особливості.

Мета роботи. Метою роботи є визначення несучої здатності та характеру деформування сталезалізобетонних прольотних конструкцій, в яких забезпечена сумісна робота у прольоті, за допомогою експериментальних методів.

Основною метою дослідження є обґрунтування на основі експериментальних даних та теоретичного матеріалу можливості застосування залізобетонних плит по сталевому профільованому настилу у автодорожній сфері будівництва.

Результати досліджень. Для досягнення поставленої мети були запроєктовані три серії сталезалізобетонних плит перекриття розмірами 2000×810 мм та висотою поперечного перерізу 125 мм. При виготовленні всіх зразків використовували бетон С40 та сталевий профільований настил Н75–750–0.7, розміщений широкими гофрами донизу. В стиснутій зоні всіх плит влаштовували конструктивні протиусадочні арматурні сітки зі сталі Вр-І діаметром 4мм і розміром чарунки 100×100 мм. Торцеві упори у вигляді шпильок М16 (клас міцності 4.8) встановлювали в центрі кожної широкої гофри профлиста на відстані 50мм від торця плит із подальшим їх бетонуванням у конструкції плити. Висота торцевого упора у тілі бетону – 110мм.

Після досягнення бетоном проектної міцності зразки плит встановлювали шпильками в отвори на металевому стенді, із подальшим обтиском за допомогою шайб з гайками (клас міцності 4.8). Ширина опирання зразка плити на металевий стенд становить 100мм.

В першій серії плит (П-І) сумісна робота композитної конструкції забезпечена склеюванням складової бетону та силами тертя. В плитах серій (П-ІІ та П-ІІІ) для забезпечення сумісної роботи сталеві та залізобетонні частин композитної конструкції запроєктовані два типи анкерних засобів, які монтувались до сталевих листів за допомогою клейового та самонарізного з'єднань. Конструкція анкерів та плит більш детально розглянута у статті [11].

У випробувальному центрі будівельних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури проводили експериментальні випробування зразків на короткочасне статичне навантаження за схемою чистого згину (рис. 3).

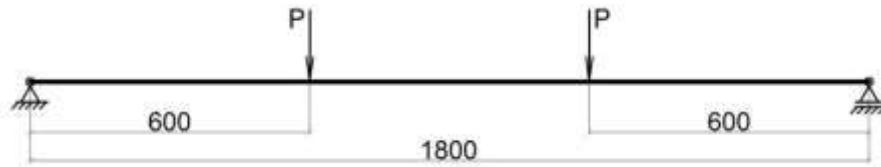


Рис. 3. Схема навантаження дослідних зразків

В процесі випробування дослідних зразків навантаження виконували за допомогою трьох гідравлічних домкратів ступенями по 2кН та витримуванням протягом 5хв. У середині прольоту плит визначали прогини індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01мм, деформації бетону стиснутої зони – індикаторами годинникового типу з точністю 0,001мм, поздовжні деформації профільованого настилу вимірювали тензодатчиками на паперовій основі з базою 20мм та зсув профлиста відносно бетону на торцях плити – індикаторами з точністю 0,01мм.

В процесі випробування експериментальні зразки були доведені до руйнування. За руйнуюче навантаження приймали таке, при якому деформації крайньої розтягнутої (нижньої полиці СПН) і стиснутої бетонної граней досягали максимальних значень, а прогини зразків починали зростати і практично не стабілізувалися при витримці навантаження.

Несуча здатність всіх плит визначалась по згинальному моменту, при якому відбувалось перше відшарування сталевго профільованого настилу від залізобетонної плити. Така оцінка пояснюється роботою композитної конструкції, оскільки після порушення зчеплення прогини починають швидко зростати на однакових ступенях навантаження і не стабілізуються при подальшому навантаженні.

Руйнування плит, армованих лише СПН (серія П-І), відбувається по нормальному перерізу в зоні дії максимального моменту. Процес навантаження зразків плит супроводжується характерним потріскуванням по всій площі сталевго листа, появою тріщин на боковій полиці плити та появою деформації зсуву СПН. Появі тріщин на бокових полицях бетонної плити передують змінання примикаючих полиць сталевго листа. Після порушення зчеплення відбувається втрата несучої здатності експериментального зразка.

Особливий інтерес становить робота сталезалізобетонних зразків плит (серій П-ІІ та П-ІІІ) із анкеруванням у їх прольоті. Характер руйнування даних зразків має схожий характер з плитами П-І, однак порушення сумісної роботи відбувається на 3 стадії. Перше відшарування таких плит відбувається при значно вищих значеннях навантаження в порівнянні з плитами П-І, потріскування та поява прогинів з'являються на більш пізніх стадіях навантаження. Слід відзначити, що потріскування, яке супроводжує відшарування, з'являється безпосередньо перед першим відшаруванням. Це пояснюється анкеруванням у прольоті плити, при якому забезпечується надійна сумісна робота двох матеріалів у складі композитної конструкції.

Після першого порушення зчеплення відбувається зростання значень прогинів, однак вони стабілізуються при витримці навантаження. Подальша робота конструкції супроводжується зростанням деформацій прогинів та локальними відшаруваннями СПН, про що свідчать гучні хлопки в процесі навантаження. Волосяні тріщини у стиснутій зоні на боковій грані бетонної плити з'являються після першого відшарування, сталевий профільований лист працює як зовнішнє армування протягом всього навантаження.

Під час випробувань встановлені зусилля домкрату, при якому відбувається перше та останнє відшарування сталевго листа із відповідними прогинами та деформаціями зсуву СПН (табл. 1).

Таблиця 1.

Несуча здатність та деформативність плит по сталевому профільованому настилу

Серія	Перше відшарування СПН			Останнє відшарування СПН		
	Зусилля F, кН	Прогин f, мм	Зсув СПН відносно бетону Δ, мм	Зусилля F, кН	Прогин f, мм	Зсув СПН відносно бетону Δ, мм

П-I	38,3	5,35	0,28	–	–	–
П-II	61,3	14,25	1,26	84,0	44,11	5,39
П-III	59,3	17,54	1,40	80,0	47,2	1,8

В результаті вимірювання прогинів та деформацій зсуву у сталезалізобетонних зразках, отриманий графік залежності прогину та зсуву СПН від навантаження (рис. 4).

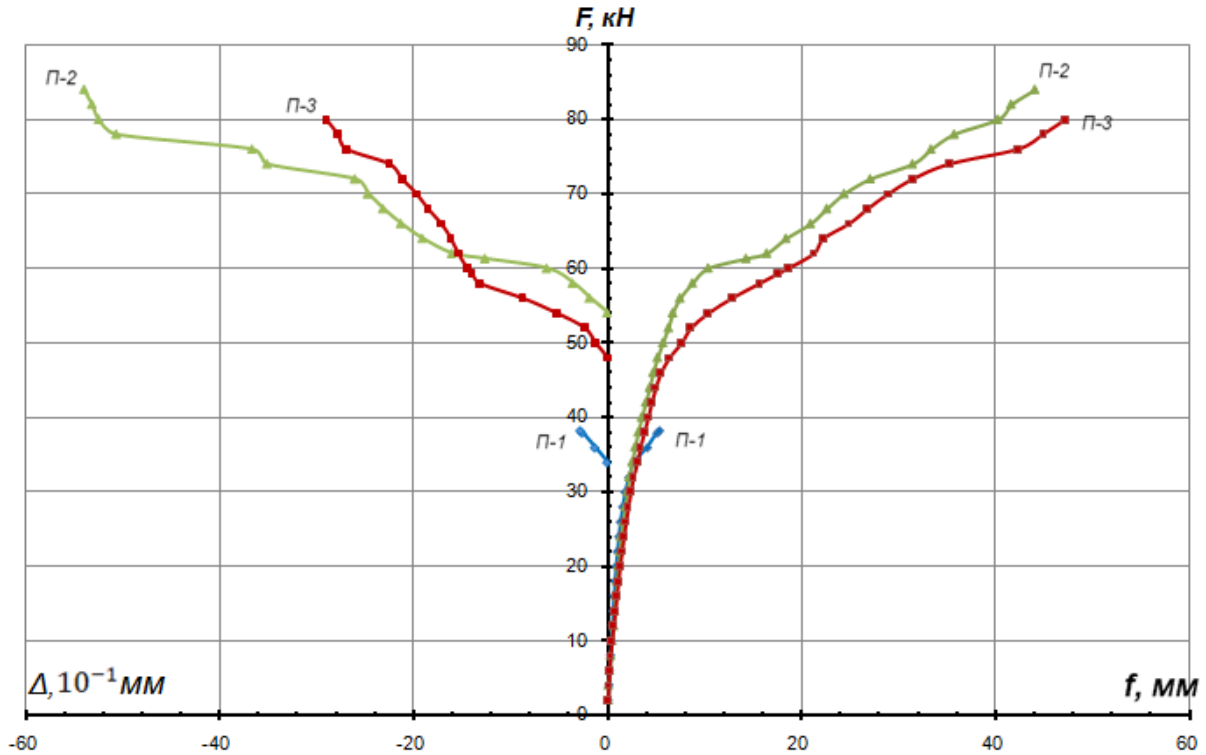


Рис. 4. Графік залежності « $F-f$ » та « $F-\Delta$ »

На графіку залежності « $F-\Delta$ » (серія плит П-II) чітко видно, що загальне порушення зчеплення відбувається на 3 стадії, про що свідчать стрибки значень деформацій зсуву СПН та значень прогинів при відповідних навантаженнях. Руйнування плит серій П-II та П-III носить не раптовий, а поступовий характер (рис. 5). Після кінцевого відшарування СПН від залізобетонної плити можна спостерігати руйнуючі тріщини в прольоті плити та тріщини, що розвиваються вздовж робочого напрямку плити від торцевих граней плити (місця примикання стінки гофри до полиці СПН) до середини прольоту (рис. 6).



Рис. 5. Характер деформування зразків плит із анкеруванням у прольоті



Рис. 6. Розвиток тріщин на верхній грані полиці плити

Пропозиція щодо використання сталевих профільованих листів у прольотних сталезалізобетонних будовах обумовлена значним економічним ефектом, що досягають за рахунок зменшення висоти перерізу, відсутності опалубочних робіт та захистом розтягнутої зони плити від корозії. Економічний ефект від застосування даного конструктивного заходу визначають перевищенням кошторисної оцінки результатів над загальними витратами ресурсів за весь час зведення та експлуатації конструкції. Так, впровадження залізобетонних плит по сталевому профільованому настилу скорочують працевитрати на влаштування опалубки в 1,6–4,7 рази, терміни зведення споруд скорочуються, а продуктивність роботи збільшується [8].

Головним недоліком наведених вище конструкцій є підвищена трудомісткість процесу влаштування анкерів у прольоті плити та хаотичний характер стадійного відшарування СПН. Порушення сумісної роботи носить локальний характер і має значні відхилення значень руйнуючого навантаження після статистичного опрацювання.

Висновки. Результати експериментальних досліджень засвідчують, що несуча здатність плит із забезпеченням анкерування у прольоті в 1,6 разів вища за несучу здатність плит без забезпечення конструктивних заходів у прольоті, а значення руйнуючого навантаження перевищує максимальне навантаження плит серії П-І у 2,2 рази. Залізобетонні плити по сталевому профільованому настилу дають значну економію витрат будівництва, а анкеруючі заходи у прольоті СПН дають можливість забезпечити надійну сумісну роботу та віддалити момент передчасного руйнування.

Для широкого впровадження наведених вище конструкцій у будівництво мостів та прольотних будов, які знаходяться під постійним динамічним навантаженням, необхідно детально вивчати роботу запропонованих заходів анкерування, оскільки експериментальні випробування при статичному навантаженні можуть дати лише посилання до проектування та подальшого дослідження конструкцій в автодорожній галузі.

1. Айрумян Э.Л., Исследование монолитной железобетонной плиты по профилированному стальному настилу при поперечном изгибе / Э.Л. Айрумян, А.В. Боярский // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №10. С.30-31.
2. Беляева С.Ю. Прочность и деформативность железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом и поперечными анкерами: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Беляева Светлана Юрьевна. – Алчевск, 2006. – 165с.
3. ГБН В.2.3-37641918-553:2013 Мости та труби. Сталезалізобетонні конструкції / Національний транспортний університет. – Офіц. вид. – На заміну ДБН В.2.3- 14:2006; Чинні від 2013-09-01. –К.: Укравтодор, 2013. – 77с.
4. ДБН В.2.6-160:2010. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення / Державне підприємство "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" (ДП НДІБК). – Офіц. вид; Чинні від 2011-09-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 81с.
5. Замалиев Ф.С. Прочность и деформативность сталежелезобетонных изгибаемых конструкций гражданских зданий при различных видах нагружения: дис... доктора. техн. наук : 05.23.01. – Казань, 2013. – 379с.
6. Присяжнюк М.В. Исследования напряженно-деформированного состояния многоспустотных железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом // Дороги і мости: 36. наук. праць. – К., 2007. – Вип. 7, Т. 1. – С. 133-136.
7. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом // ЦНИИПромзданий. – М.: Стройиздат, 1987. – 37с.
8. Санников И.В. Исследование монолитных железобетонных плит с листовой гофрированной арматурой: дис... канд. техн. наук: 05.23.01. – К., 1982. – 153с.
9. Стороженко Л.І. Конструкції залізобетонних перекриттів по профільованому настилу із забезпеченням сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання/ Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, О.Г. Горб // Теорія і практика будівництва: Вісник Національного Університету "Львівська політехніка". – 2010. – №662. – С. 360–365.
10. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов. 2-е изд., перераб. и доп./ Стрелецкий Н.Н. – М.: Транспорт, 1981. – 360с.
11. Шармаков Е.Л. Характер деформирования анкерных соединений в сталежелезобетонных конструкциях перекрытия // Известия НУАСА. – 2014. – №1(39). – С. 91–94.
12. Пат. 6578343 США, МПК⁷ Е 04 С 2/32 Reinforced concrete deck structure for bridges and method making same / F. Dumler, R.L. Lawrence. (США) – № 992635; заявл. 12.11.2001; опубл. 17.06.2003, бюл. № 9. – 6 с.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2014.