

УДК 620.168; 624.21.095.32

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ, АРМОВАНИХ СТАЛЕВИМ ПРОФІЛЬОВАНИМ НАСТИЛОМ ІЗ ПРОГОНОВИМ АНКЕРУВАННЯМ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВИМИ СТРИЖНЯМИ, ПРИ ДІЇ ВИСОКОРІВНЕВОГО МАЛОЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Приведені результати випробувань монолітних залізобетонних плит із сталевим профільованим настилом Т57, що відіграє роль незнімної опалубки та зовнішньої робочої арматури, при дії малоциклового навантаження високого рівня. Особливістю конструкції дослідних зразків є наявність прогонового анкерування настилу за допомогою стрижнів базальтопластикової арматури. Подані відомості про деформативність зразків при дії малоциклового навантаження, описаний характер тріщиноутворення в тілі бетону зразків, здійснений аналіз роботи зразків при даному виді завантаження. Доведена ефективність монолітних плит із зовнішнім армуванням сталевим профільованим настилом при дії високорівневих малоциклового навантаження та перспективність застосування таких конструкцій в мостовому будівництві.

The results of testing of monolithic concrete slabs with corrugated steel decking type T57, which plays the role of non-removable formwork and external reinforcement, under high-level low-cycle loads are shown. Design feature of test samples is the decking span anchoring by basaltic rods. Information about the deformability of samples under high-level low-cycle loads is given; the nature of cracking in the concrete slabs is described, analysis of work of samples during the loadings is made. Conclusions about the effectiveness of monolithic concrete slabs with corrugated steel decking reinforcement under the action of high-low-cycle loads and the prospects of such structures usage in the bridge construction are made.

**Ключові слова:** базальтопластикові арматура, зовнішнє армування, малоциклове навантаження, незнімна опалубка, плита проїзної частини моста, сталевий профільований настил.

**С**талевий профільований настил (СПН) набув широкого застосування у промисловому та цивільному будівництві як незнімна опалубка та робоча арматура монолітних залізобетонних перекриттів [1, 2]. Таке застосування СПН дозволяє відмовитись від використання інвентарної опалубки та підтримувальних конструкцій (риштувань), підвищити темпи будівництва, знизити трудомісткість та вартість будівельних робіт. Ці чинники є актуальними для мостового будівництва. Чинні норми [3] регламентують влаштування плити проїзної частини (ППЧ) мостів монолітною; застосування для спорудження ППЧ знімної опалубки із підтримувальними конструкціями у ряді випадків (будівництво мостів над крупними водотоками, глибоким рельєфом, діючими автошляхами та залізницями, особливо електрифікованими) пов'язане із низкою складнощів, уникнути яких дозволяє використання незнімної опалубки (НО) плити проїзної частини.

СПН може також застосовуватись як зовнішня робоча арматура плити проїзної частини, але, зважаючи на режим роботи прогонових будов мостів, що піддаються динамічним впливам від рухомих транспортних засобів, важливим є вивчення роботи таких конструкцій при дії циклічних навантажень. Ще одним важливим аспектом є забезпечення сумісної роботи СПН із бетоном плити, що досягається за допомогою



**М.П. Коваль**  
с. н. с. кафедри аеропортів  
Національного транспортного  
університету

опорного анкерування СПН, без наявності якого включати СПН у спільну роботу з бетоном плити не рекомендується [4], та прогонового анкерування настилу.

Обмежене застосування у мостовому будівництві металевих профільованих елементів як незнімної опалубки плити проїзної частини відоме з кінця XIX ст. [5]. Технічні рішення ППЧ мостів по сталевих профільованих елементах зафіксовані у «Альбомі...» [6].

За часів Радянського Союзу в рамках індустриалізації будівельного виробництва відбувся перехід до збірних та збірно-монолітних прогонових будов мостів. Аналіз досвіду будівництва та експлуатації таких автодорожніх мостів засвідчив недосконалість типових збірних та збірно-монолітних конструкцій плит проїзної частини, що призвело до використання монолітних плит проїзної частини. У зв'язку з цим, спираючись на описані вище переваги, почали розглядати можливості застосування СПН як НО ППЧ. В результаті теоретичного опрацю-

вання цього питання в ХНАДУ була розроблена плитна прогонова будова автодорожнього моста оригінальної конструкції [7]. В Україні збудовано три мости з незнімною опалубкою плити проїзної частини із СПН, що експлуатуються більше 9 років, та ведеться будівництво низки нових мостів на автомагістралях Київ–Одеса та Київ–Харків [8].

Оригінальний спосіб прогонового анкерування СПН був запропонований С.Ю. Беляєвою [9] – у отвори, висвердлені в стінках настилу, вставлялись стрижні сталеві арматури, що після бетонування плити відігравали роль поперечних анкерів. Ефективність цього способу була підтверджена експериментально: поперечні анкери підвищували несну здатність зразків та покращували сумісну роботу настилу та бетону плити.

Робота монолітних залізобетонних плит зі сталевим профільованим настилом та різними способами анкерування СПН у бетоні при дії статичного навантаження вивчалась рядом дослідників [1, 2, 10]. Найближчими до даного питання є дослідження сумісної роботи бетону та стрічкової арматури періодичного профілю при дії багаторазового повторного навантаження [11]. Автором статті проводились випробування монолітних плит із настилом Н80А (з виштампівками по стінках та широких полицях) та болтовим опорним анкеруванням СПН [12]. Дослідження роботи монолітних плит, армованих СПН із приварним опорним анкеруванням та прогоновим анкеруванням поперечними стрижнями, при дії циклічного навантаження не проводились.

Недоліком прогонового анкерування сталевими стрижнями є їхня піддатливість корозії, чого можна уникнути за допомогою застосування стрижнів базальтопластикової арматури (БПА), яка співставна за міцністю зі сталевією та характеризується високою корозійною стійкістю [13], чим вигідно відрізняється від застосовуваних сталевих стрижнів – оголені частини стрижнів БПА не потребують додаткових заходів захисту від корозії.

Крім того, як свідчать дослідження [14], під час експлуатації мостів на їх прогонові будови діють малоциклові навантаження високого рівня, вплив яких необхідно враховувати при проектуванні цих конструкцій. Тому важливим аспектом проблеми є відсутність експериментальних досліджень роботи монолітних плит із СПН при дії малоциклових навантажень та вплив на цю роботу різних засобів забезпечення сумісної роботи настилу та бетону плити, зокрема способу прогонового анкерування СПН за допомогою арматурних стрижнів, що пронизують гофри настилу.

**Постановка завдання:** провести експериментальні дослідження роботи монолітних залізобетонних плит зі сталевим профільованим настилом та прогоновим анкеруванням стрижнями БПА при дії високорівневого малоциклового навантаження (ВМН). Мета роботи – визначити характер та особливості роботи плит, армованих СПН із прогоновим анкеруванням стрижнями БПА, при дії ВМН.

Для виконання поставленого завдання було виготовлено серію чотирьох однотипних дослідних зразків серії ПНП (рис. 1, а), що моделю-

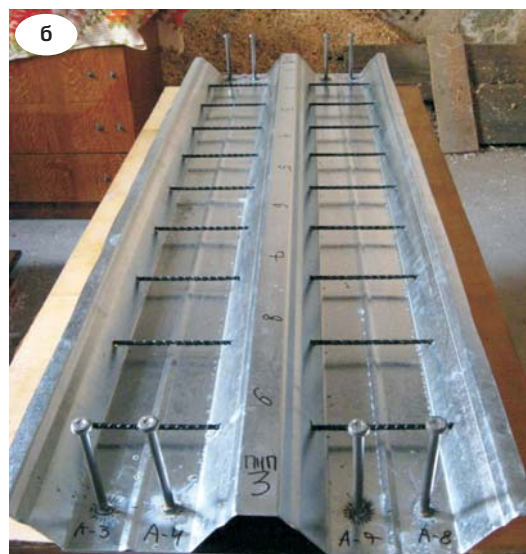
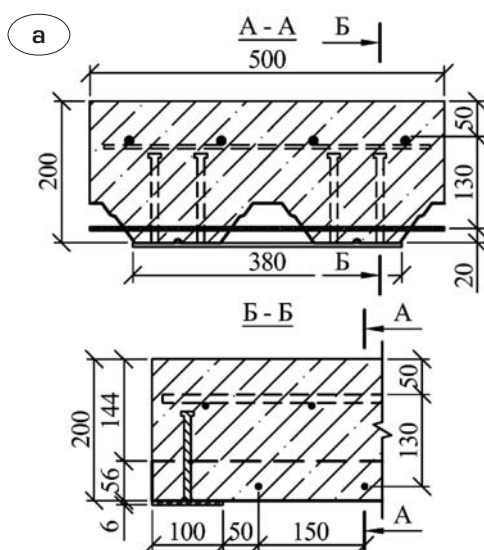


Рис. 1. Перерізи зразка серії ПНП (а) та вид на двогофровий елемент СПН із приварними опорними анкерами та стрижнями БПА, що пронизують гофри настилу (б)

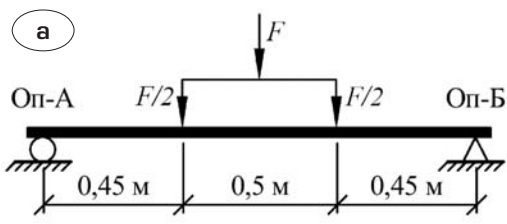


Рис. 2. Статична схема випробування зразків (а) та загальний вигляд зразка ПНП-3 у випробувальному стенді (б)

ють натурні плити проїзної частини; зразки ПНП-1 та ПНП-2 випробувались статичним, а ПНП-3 та ПНП-4 – малоцикловим навантаженням.

Незнімною опалубкою та робочою арматурою дослідних зразків є гладкий сталевий профільований настил Т57 компанії «Прушинські»; двогофрові елементи настилу встановлювались кінцями на сталеві пластини 380×100×6, що імітували верхні полиці головних балок прогонової будови та відігравали роль опорних пластин під час випробувань. Крізь метал настилу до опорних пластин приварювали анкери Nelson – по два в кожному гофрі. Прогонове анкерування зразків було здійснене за допомогою стрижнів БПА  $\varnothing 7 l = 500$  мм, що вставлялись з кроком 150 мм у отвори, висвердлені в стінках настилу (рис. 1, б). Зразки завдовжки 1,5 м, заввишки 0,2 м та завширшки 0,5 м були виготовлені із важкого бетону в заводських умовах, клас міцності якого за результатами випробувань контрольних зразків відповідає класу В50. У верхній зоні кожного зразка розташована в'язана арматурна сітка 4 $\varnothing$ 12А300С–130/10 $\varnothing$ 8А300С–150 1,47×0,46 м із захисним шаром 5 см, що моделює верхню робочу арматуру плити проїзної частини. Стрижнева арматура у нижній зоні зразків відсутня – як робоча арматура використовувався профільований настил. Випробування зразків проводилось стендовим способом за схемою чистого згину з робочим прогоном зразків 1,4 м (рис. 2). Покрокове навантаження зразків здійснювалось за допомогою гідравлічного домкрата. Зусилля  $F$ , створюване ним, було взяте за основний параметр навантаженості зразків і контролювалось манометром маслостанції та тарованим кільцевим динамометром у складі випробувального стенда. Зусилля від домкрата передавалось на зразки з допомогою системи траверс (відстань в осях передаточних траверс 0,5 м). Для зручності була прийнята нумерація опор: Оп-А – шарнірно-рухома, Оп-Б – шарнірно-нерухома опора.

Під час випробування зразків ПНП-1 та ПНП-2 при дії статичного навантаження [15] були встановлені зусилля тріщиноутворення (50 кН для ПНП-1 та 60 кН для ПНП-2) та руйнівні зусилля (160 кН для ПНП-1 та 190 кН для ПНП-2). Усереднене руйнівне зусилля зразків серії ПНП,  $[F] = 175$  кН, було взяте за базове значення малоциклових навантажень.

Базову кількість циклів для випробувань було прийнято  $N = 10$ . Кожен з десяти циклів завантаження характеризується такими максимальними значеннями зусиль (рис. 3): при циклах 1...6 та 9 максимальне навантаження на зразок становило  $0,6[F] \approx 102$  кН; при циклах 7, 8 та 10 –  $0,75[F] \approx 128$  кН. Значення та послідовність рівнів навантаження по циклах визначені експериментально [14] на основі спостережень за рухом великовагових навантажень по автодорожніх мостах. Під час кожного циклу завантаження велось ступінчасто, з кроком в  $1/5$  значення максимального навантаження у циклі. При досягненні кожного нового ступеня навантаження у циклі відбувалась часова витримка протягом 10 хв. Після досягнення максимального значення навантаження у кожному циклі зразки повністю розвантажувались. Після десятого циклу завантаження зразок розвантажувався та доводився до втрати несної здатності одноразовим прикладанням навантаження із постійною швидкістю зростання його значення.

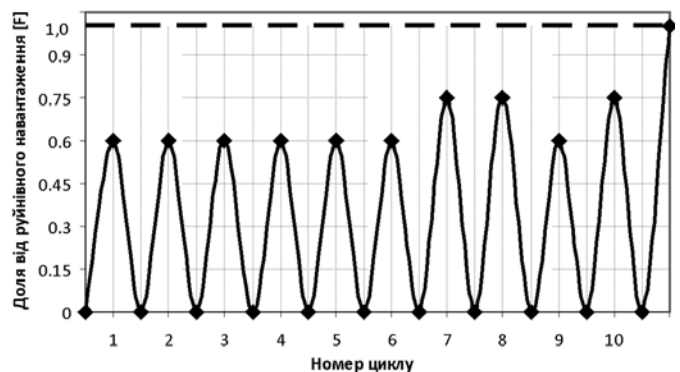


Рис. 3. Графік зміни малоциклового навантаження



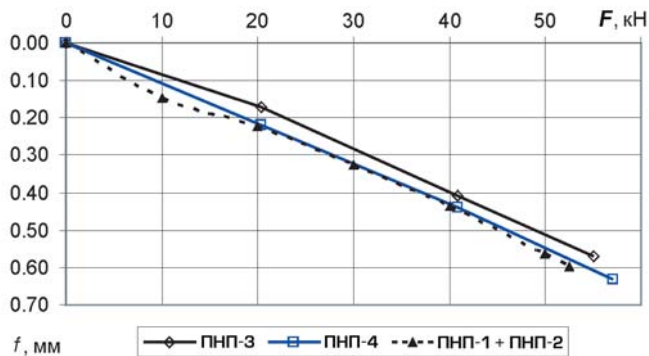


Рис. 4. Прогини дослідних зразків до тріщиноутворення

Під час перших привантажень першого циклу спостерігалось незначне рівномірне зростання прогинів зразків ПНП-3 та ПНП-4. Отримані значення прогинів показали хорошу збіжність з усередненими прогинами зразків ПНП-1 та ПНП-2 (рис. 4). Зростання прогинів відбувалось лінійно, що вказує на хорошу спільну роботу бетону плити та сталевого профільованого настилу. Лінійність зростання прогинів спостерігалась і після тріщиноутворення, яке настало при досягненні рівнів навантаження 55 кН для зразка ПНП-3 та 57 кН – для ПНП-4.

Перші вертикальні тріщини розкривались у середніх третинах дослідних зразків, при цьому спостерігалось різке зростання прогинів. Перевищення значення гранично допустимого прогину  $[f] = 3,5$  мм відбулося в останньому кроці першого циклу перед досягненням максимального рівня навантаження циклу (рис. 5). Після розвантаження зразків по закінченні першого циклу було зафіксовано залишковий прогин. У наступних п'яти циклах спостерігалась стабілізація прогинів: динаміка їх зростання зберігалась сталою, значення прогинів при максимальних рівнях навантажень у циклах та після розвантаження знаходились в околі досягнутих наприкінці першого циклу рівнів, не демонструючи тенденції до прогресуючого зростання. Невеликі прирости прогинів у циклах були пов'язані зі збільшенням деформативності зразків внаслідок поступового розвитку тріщин. Досягнення максимального рівня навантаження у сьомому циклі супроводжувалось різким збільшенням прогинів під навантаженням та прогинів залишкових. Після цього впродовж циклів 8–10 спостерігалась характерна раніше стабілізація при нових відправних рівнях прогинів.

Вертикальні тріщини припиняли розвиток після досягнення рівня розташування верхньої арматурної сітки, і при досягненні максимального

рівня навантаження в першому циклі незначно розійшлись у радіальних напрямках. Порівняно незначний радіальний розвиток тріщин був зафіксований упродовж другого та третього циклів, після чого їх зростання значно уповільнилось. Подальший активний радіальний розвиток тріщин фіксувався лише у сьомому, восьмому та десятому циклах, максимальний рівень навантаження в яких був вищим за інші.

Після завершення десятого циклу дослідні зразки доводились до руйнування одноразовим прикладенням навантаження. З перевищенням рівня навантаження  $0,75[F] \approx 128$  кН відновився активний радіальний розвиток тріщин. Руйнування зразків відбулося внаслідок руйнування стиснутої зони бетону в середній третині зразків: вертикальні тріщини в полицях зразків перевищили рівень розташування верхніх арматурних каркасів та досягли горизонтальних граней плит, на яких з'явилась сітка силових тріщин (рис. 6).

Після розкриття перших вертикальних тріщин відбулось відшарування СПН від бетону плити, що було помітно візуально. За допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм визначались переміщення бетону зразків відносно опорних пластин та настилу відносно бетону зразків. Аналіз отриманих даних свідчить про хорошу сумісну роботу настилу та бетону – на це вказує відсутність згаданих зміщень, розвиток яких почався лише після утворення тріщин (рис. 7, 8).

Після завершення першого циклу в обох зразках були зафіксовані залишкові переміщення бетону зразків та профільованого настилу. Упродовж наступних циклів спостерігалась стабілізація цих переміщень: динаміка їх зростання залишалась сталою, значення переміщень при максимальних рівнях навантажень у циклах та після розвантаження знаходились в околі досягнутих наприкінці першого циклу рівнів, не демонструючи тенденції до наростання (за винятком різкого збільшення на 0,414 мм переміщень настилу відносно бетону в третьому циклі на опорі Оп-А зразка ПНП-4). При цьому для переміщень бетону відносно опорних пластин ця стабілізація спостерігалась протягом усіх десяти циклів. При досягненні максимального рівня навантаження у сьомому циклі було зафіксовано різке збільшення переміщень настилу відносно бетону зразків. Упродовж циклів 8–10 спостерігалась стабілізація переміщень настилу відносно бетону при нових відправних рівнях.

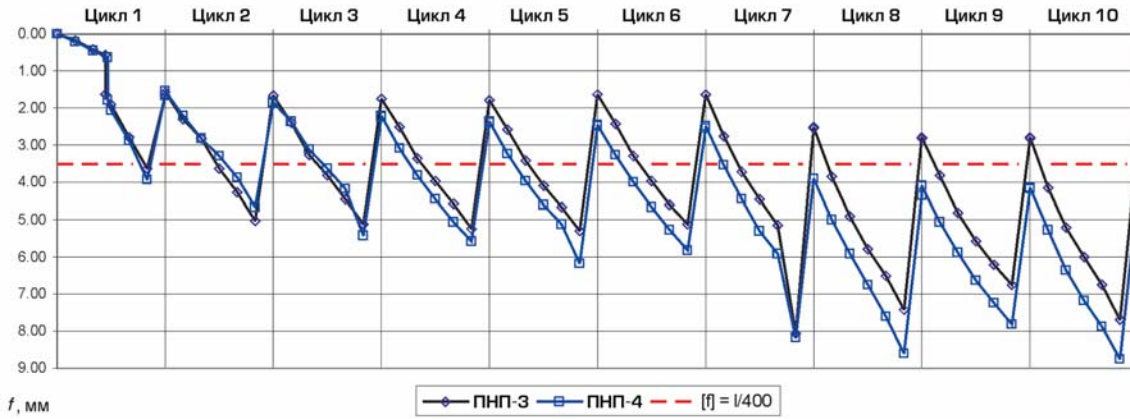


Рис. 5. Прогини дослідних зразків при дії високорівневих малоциклових навантажень

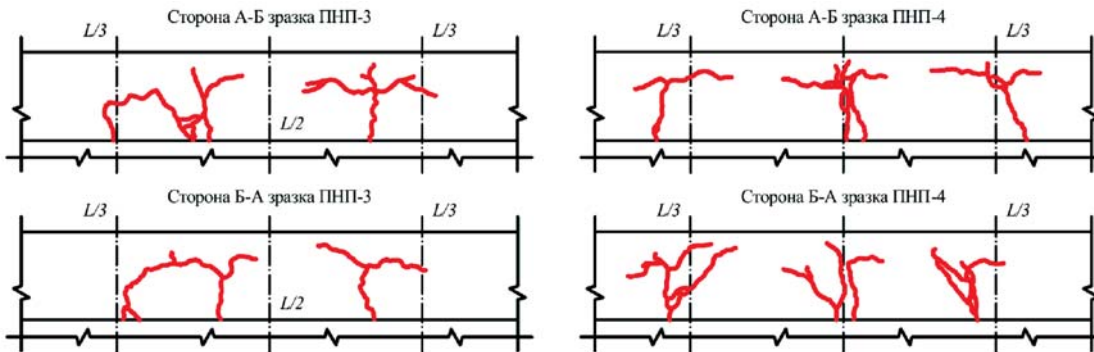


Рис. 6. Характер тріщиноутворення в плитах зразків ПНП-3 та ПНП-4

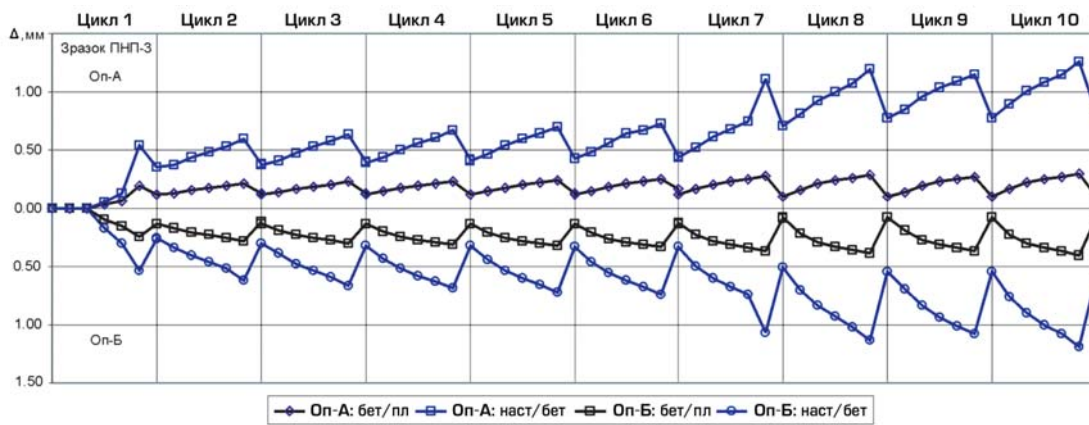


Рис. 7. Переміщення бетону відносно опорних пластин та настилу відносно бетону в опорних зонах зразка ПНП-3

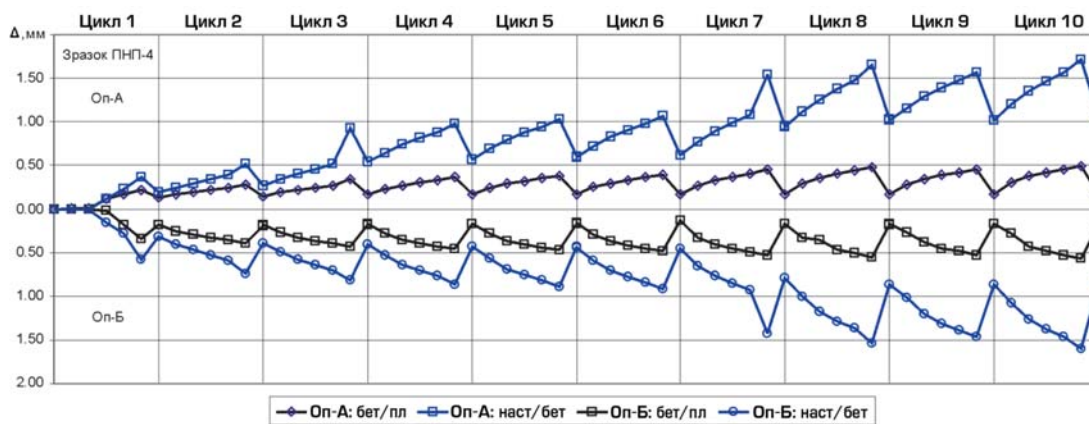


Рис. 8. Переміщення бетону відносно опорних пластин та настилу відносно бетону в опорних зонах зразка ПНП-4

Зафіксовані зміщення можуть свідчити про те, що в бетоні зразків навколо приварних опорних анкерів виникають зони концентрації напружень та про поступовий розрив СПН у зоні опорного анкерування. Також наприкінці восьмого циклу було відмічено початок зрізу крайніх стрижнів БПА.

Руйнування зразків розпочалось при досягненні рівнів 180 кН для зразка ПНП-3 та 175 кН – для ПНП-4, що є співставним з усередненим руйнівним зусиллям зразків ПНП-1 та ПНП-2 – 175 кН. Руйнування супроводжувалось різким наростанням прогинів, спершу неможливістю перевищення зазначених рівнів навантаження, а далі – повільним падінням показників манометра маслостанції та кільцевого динамометра, початком активного зрізу крайніх стрижнів БПА, незначним випучуванням верхніх полиць СПН у зоні розкриття центральних тріщин та руйнуванням стиснутої зони бетону плит. Як і при випробуваннях зразків ПНП-1 та ПНП-2 статичним навантаженням, руйнування зразків ПНП-3 та ПНП-4 не супроводжувалось прогресуючим обваленням.

#### Висновки.

1. При випробуваннях дослідних зразків сталевий профільований настил був включений у спільну роботу з бетоном плит до втрати несної здатності.

2. СПН як армуючий елемент забезпечив належну несну здатність зразків та підвищив їх

живучість, що унеможливило прогресуюче обвалення при руйнуванні.

3. При дії високорівневого малоциклового навантаження впродовж усіх циклів спостерігалась стабілізація прогинів, переміщень бетону відносно опорних пластин та настилу відносно бетону, демонструючи відсутність тенденцій до прогресуючого руйнування зразків в цілому та їх конструктивних елементів, зокрема сталевого профільованого настилу.

4. Руйнування зразків відбулось внаслідок руйнування стисненої зони бетону, що свідчить про наявність резервів міцності СПН.

5. Руйнівні зусилля досліджуваних зразків після дії високорівневого малоциклового навантаження є співставними з руйнівними зусиллями при дії статичного навантаження, що свідчить про ефективність роботи СПН із прогоновим анкеруванням стрижнями БПА в монолітних залізобетонних плитах при дії циклічних навантажень.

З огляду на вищесказане, монолітні залізобетонні плити, армовані сталевим профільованим настилом із прогоновим анкеруванням базальтопластиковими стрижнями, є перспективними для застосування в мостовому будівництві та потребують подальшого детального вивчення.

- [1] *Стороженко Л.І.* Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: Монографія / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2008. – 312 с.
- [2] *Лапенко О.І.* Залізобетонні конструкції з робочим армуванням незнімною опалубкою: монографія / Олександр Іванович Лапенко. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2009. – 328 с.
- [3] Споруди транспорту. Мости і труби. Правила проектування : ДБН В.2.3-14:2006. – [чинний від 6 травня 2006 р.] – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 359 с. – (Державні будівельні норми України).
- [4] Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу. Расчет и проектирование: СТО 0047-2005 – М., 2005. – IV, 65 с. – (Стандарт организации).
- [5] *Melan J.* Der Brückenbau. Eiserne Brücken II Teil / J. Melan // Leipzig und Wien: Franz Deuticke, 1917. – 756 s.
- [6] Альбом существующих конструкций мостов и путепроводов на автомобильных дорогах общего пользования УССР. – Киев, 1978 г.
- [7] *Кожушко В.П.* Применение профнастила при реконструкции и ремонте малых мостов / В.П. Кожушко, С.Н. Краснов, Е.С. Краснова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничного транспорту ім. ак. В.Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 39 – С. 83–86.
- [8] *Коваль М.П.* Перспективи застосування сталевих профільованих настилів для влаштування плит проїзної частини автодорожніх мостів / Коваль М.П. // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 3 (33). – С. 100–106.
- [9] *Беляева С.Ю.* Міцність і деформативність залізобетонних плит, армованих сталевим профільованим настилом і поперечними анкерами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / С.Ю. Беляева. – Київ, 2006. – 20 с.
- [10] *Шевчук С.Г.* Несуча здатність та деформативність сталебетонних перекриттів із застосуванням зовнішнього армування із хвилястих настилів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / С.Г. Шевчук. – Львів, 2010. – 21 с.
- [11] *Климко Ф.Е.* Зчеплення зовнішньої поперечної арматури з бетоном сталебетонних балок при циклічних навантаженнях / Ф.Е. Климко, Р.І. Кінаш // Резерви прогресу в архітектурі та будівництві: вісник Державного університету «Львівська політехніка». – Львів: Дільниця оперативного друку ДУЛП, 1993. – №271. – С. 55 – 59.
- [12] *Коваль М.П.* Дослідження роботи монолітних залізобетонних плит зі сталевим профільованим настилом Н80А та болтовими опорними анкерами при дії статичного й високорівневого малоциклового навантаження / М.П. Коваль, І.О. Кондрюкова // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 1 (43). – С. 169–177.
- [13] *Коваль Т.І.* Ефективність використання базальтової арматури для плит проїзної частини автодорожніх мостів // Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: материалы III Международной научно-технической интернет-конференции. – Х.: ХНАГХ, 2012. – С. 259–261.
- [14] Тріщностійкість залізобетонних балкових конструкцій автодорожніх мостів в умовах малоциклового навантаження: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Р.І. Полюга; Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Л., 2006. – 18 с.
- [15] *Коваль М.П.* Випробування монолітних плит, армованих сталевим профільованим настилом без прогонового анкерування та із прогоновим анкеруванням базальтопластиковими стрижнями / Коваль М.П. // Бетон і железобетон в Украине. – 2015. – №2(84). – С. 19–25.

Надійшла 11.10.2016 р.