



Коваль М. П.

Коваль М. П., спеціаліст, с. н. с. кафедри аеропортів, Національний транспортний університет 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1
e-mail: m_koval@meta.ua, тел. +38(050)132-44-14

M. Koval, specialist, Senior Research Fellow, department of airports, National Transport University 01010, Kyiv, Suvorova str., 1
e-mail: m_koval@meta.ua, tel. +38(050)132-44-14

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ, АРМОВАНИХ СТАЛЕВИМ ПРОФІЛЬОВАНИМ НАСТИЛОМ, ПРИ ДІЇ ВИСОКОРІВНЕВОГО МАЛОЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

ИСЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ, АРМИРОВАННЫХ СТАЛЬНЫМ ПРОФИЛИРОВАННЫМ НАСТИЛОМ, ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЫСОКОУРОВНЕВОЙ МАЛОЦИКЛОВОЙ НАГРУЗКИ

STUDY OF WORK OF MONOLITHIC CONCRETE SLABS WITH CORRUGATED STEEL DECKING REINFORCEMENT UNDER HIGH-LEVEL LOW-CYCLE LOAD

Анотація. Приведені результати випробувань монолітних залізобетонних плит із сталевим профільованим настилом Т57, що виконує роль незнімної опалубки та зовнішньої робочої арматури, при дії малоциклового навантаження високого рівня. Подані відомості про деформативність зразків при дії малоциклових навантажень, описаний характер тріщиноутворення в тілі бетону зразків, здійснений аналіз роботи зразків при даному виді завантаження. Зроблений висновок про ефективність монолітних плит із зовнішнім армуванням сталевим профільованим настилом при дії високорівневих малоциклових навантажень та перспективність застосування таких конструкцій в мостовому будівництві.

Ключові слова. Зовнішнє армування, малоциклове навантаження, незнімна опалубка, плита проїзної частини моста, сталевий профільований настил.
Анотация. Приведены результаты испытаний монолитных железобетонных плит со стальным профилированным настилом Т57, служащим несъемной опалубкой и внешней рабочей арматурой, при действии малоциклового нагружения высокого уровня. Поданы сведения о деформативности образцов при действии малоцикловых нагрузок, описан характер трещинообразования в теле бетона образцов, произведен анализ работы образцов при данном виде нагружения. Сделан вывод об эффективности монолитных плит с внешним армированием стальным профилированным настилом при действии высокоуровневых малоцикловых нагрузок и перспективность применения таких конструкций в мостовом строительстве.

Ключевые слова. Внешнее армирование, малоцикловая нагрузка, несъемная опалубка, плита проезжей части моста, стальной профилированный настил.
Annotation. The results of testing of monolithic concrete slabs with corrugated steel decking type Т57, which plays the role of non-removable formwork and external reinforcement, under high-level low-cycle loads are shown. 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.

Keywords. Bridge deck slab, corrugated steel decking, external reinforcement, low cycle loading, non-removable formwork.

Вступ. Сталевий 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 підтримуючих конструкцій (риштувань), підвищити темпи будівництва, знизити працездатність та вартість будівельних робіт. Ці чинники є актуальними для мостового будівництва – діючі норми [3] регламентують влаштування плити проїзної частини (ППЧ) мостів монолітною; застосування для спорудження ППЧ знімної опалубки із підтримуючими 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.

Постановка проблеми. СПН може також застосовуватись як зовнішня робоча арматура плити проїзної частини, але зважаючи на конструктивні особливості (ППЧ автодорожніх мостів вирізняються значною товщиною – мінімум 20 см) та режимом роботи прогонових будов мостів, що піддаються динамічним впливам від рухомих транспортних засобів, слід вивчити роботу таких конструкцій при дії циклічних навантажень. Ще одним важливим аспектом є забезпечення сумісної роботи СПН із бетоном плити, що досягається, зокрема, за допомогою опорного анкерування СПН, без наявності якого включати СПН у спільну роботу з бетоном плити не рекомендується [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Обмежене застосування у мостовому будівництві металевих профільованих елементів як незнімної опалубки плити проїзної частини відоме з кінця ХІХ століття [5]; технічні рішення ППЧ мостів по сталевих профільованих елементах зафіксовані у «Альбомі...» [6].

За часів Радянського Союзу в рамках індустріалізації 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, призвівши до перехід до монолітних плит проїзної частини. У зв'язку з цим, спираючись на описані вище переваги, почався розгляд можливості застосування СПН як НО ППЧ. Внаслідок теоретичної проробки цього питання в ХНАДУ була розроблена плитна прогонова будова автодорожнього моста оригінальної конструкції [7]; в Україні збудовано ряд мостів з незнімною опалубкою плити проїзної частини із СПН [8]. Актуальним застосуванням СПН як НО є і в будівництві міських транспортних споруд – прикладом може служити багатопверховий паркінг по вул. Антоновича, 52 у м. Київ.

Робота монолітних залізобетонних плит зі сталевим профільованим настилом та різними способами анкерування СПН у бетоні при дії статичного навантаження вивчалась рядом дослідників [1, 2, 9]. Найближчими до даного питання є дослідження сумісної роботи бетону та стрічкової арматури періодичного профілю при дії багаторазового повторного на-

вантаження, які проводили автори [10]. Автором проводились випробування монолітних плит із настилом Н80А (з виштампками по стінках та широким полицях) та болтовим опорним анкеруванням СПН [11]. Дослідження роботи монолітних плит, армованих гладким СПН із приварним опорним анкеруванням, при дії циклічного навантаження не проводились.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Як показують дослідження [12], 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 зі СПН при дії малоциклових навантажень та вплив на цю роботу різних засобів забезпечення сумісної роботи настилу та бетону плити, зокрема поширеного способу опорного анкерування СПН за допомогою приварних анкерів типу Nelson, які приварюються крізь метал настилу до металевих балок, на які встановлюється настил.

Постановка завдання: провести експериментальні дослідження роботи монолітних залізобетонних плит зі сталевим профільованим настилом та приварними опорними анкерами при дії високорівневого малоциклового навантаження (ВМН). Мета роботи – визначити характер та особливості роботи плит, армованих гладким СПН, при дії ВМН.

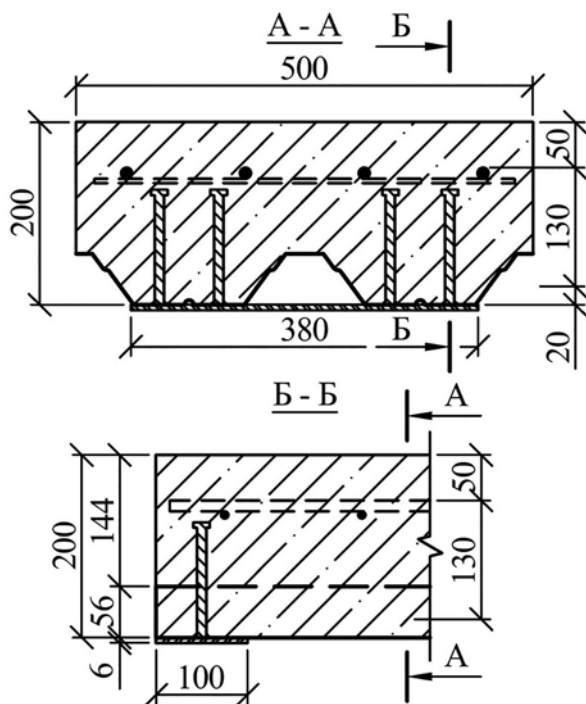


Рис. 1. Перерізи зразка серії ПНГ

Основний матеріал і результати. Для виконання поставленого завдання було виготовлено серію чотирьох однотипних дослідних зразків серії ПНГ (рис. 1), що моделюють натурні плити проїзної частини; зразки ПНГ-1 та ПНГ-2 випробовувались статичним, а ПНГ-3 та ПНГ-4 – малоцикловим навантаженням.

Незмінною опалубкою та робочою арматурою дослідних зразків є гладкий сталевий профільований настил Т57 компанії «Прушиньські»; двофрові елементи настилу встановлювались кінцями на сталеві пластини 380×100×6, що імітували верхні полиці головних балок прогонової будови та виконували роль опорних пластин під час випробувань; крізь метал настилу до опорних пластин приварювали анкери Nelson – по два в кожному гофрі. Зразки довжиною 1,5 м, висотою 0,2 м та шириною 0,5 м були виготовлені із важкого бетону заводського виготовлення, клас міцності якого за результатами випро-

бувань контрольних зразків відповідає класу В50. В верхній зоні кожного зразка розташована в'язана арматурна сітка 4Ø12А300С–130/10Ø8А300С–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 – роль робочої арматури зразків виконував 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 за допомогою манометра маслостанції та тарованого кільцевого динамометра в складі випробувального стенду. Зусилля від домкрата передавалось на зразки за допомогою системи траверс (відстань в осях передаточних траверс 0,5 м). Для зручності була прийнята нумерація опор: Оп-А – шарнірно-рухома опора, Оп-Б – шарнірно-нерухома опора.

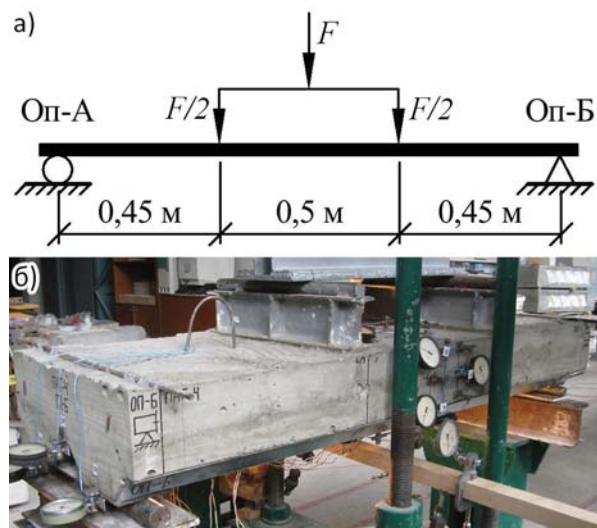


Рис. 2. Статична схема випробування зразків (а) та загальний вигляд зразка ПНГ-4 у випробувальному стенді

Під час випробування зразків ПНГ-1 та ПНГ-2 при дії статичного навантаження [13] були встановлені зусилля втрати несної здатності (40 кН для ПНГ-1 та 55 кН для ПНГ-2) та руйнівні зусилля (135 кН для ПНГ-1 та 125 кН для ПНГ-2). Усереднене руйнівне зусилля зразків серії ПНГ – $[F] = 130$ кН – було взяте за базове значення малоциклових навантажень.



Рис. 3. Графік зміни малоциклового навантаження

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 $0,6[F] \approx 75$ кН; при циклах 7, 8 та 10 максимальне навантаження на зразок становило $0,75[F] \approx 94$ кН. Значення та послідовність рівнів навантаження по циклах визначена експериментально [12] на

основі спостережень за рухом великовагових навантажень по автодорожніх мостах. Під час кожного циклу завантаження велось ступінчато, з кроком в 1/5 значення максимального навантаження у циклі. При досягненні кожного нового ступеня навантаження у циклі відбувалась часова витримка протягом 10 хвилин; 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.

Під час перших привантажень першого циклу спостерігалось незначне рівномірне зростання прогинів зразків ПНГ-3 та ПНГ-4; отримані за допомогою прогиномірів 6-ПАО значення прогинів мають хорошу збіжність з усередненими прогинами зразків ПНГ-1 та ПНГ-2 (рис. 4). Втрата несної здатності перерізу наступила при досягненні рівнів навантаження 40 кН для зразка ПНГ-3 та 45 кН – для ПНГ-4.

Зростання прогинів відбувалось лінійно, що вказує на хорошу спільну роботу бетону плити та сталевого профільованого настилу; лінійність зростання прогинів спостерігалась і після втрати несної здатності.

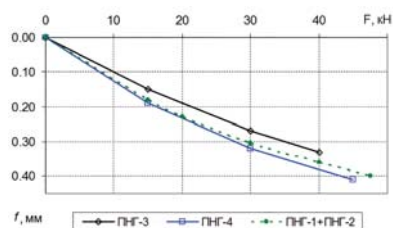


Рис. 4. Прогини дослідних зразків до втрати несної здатності перерізу

Втрата несної здатності супроводжувалась розкриттям перших вертикальних тріщин в середніх третинах дослідних зразків; при цьому спостерігалось різке зростання прогинів. Переви-

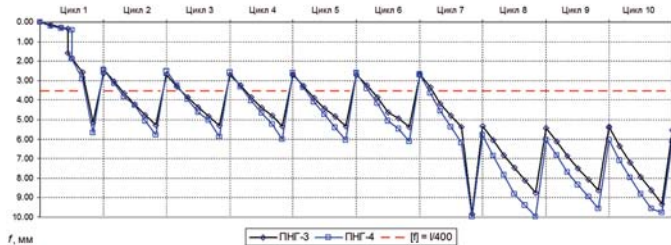


Рис. 5. Прогини дослідних зразків при дії високорівневих малоциклових навантажень

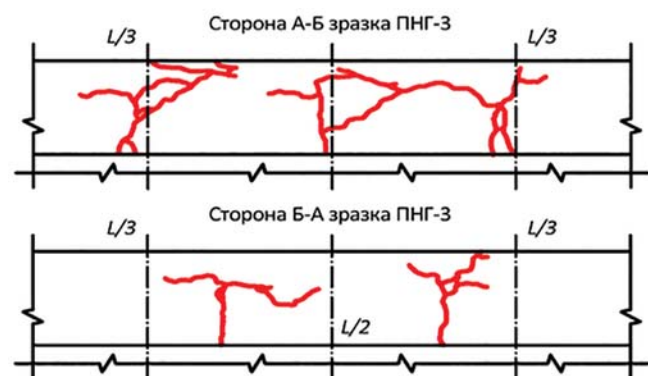


Рис. 6. Характер тріщиноутворення у плитах зразків ПНГ-3 та ПНГ-4

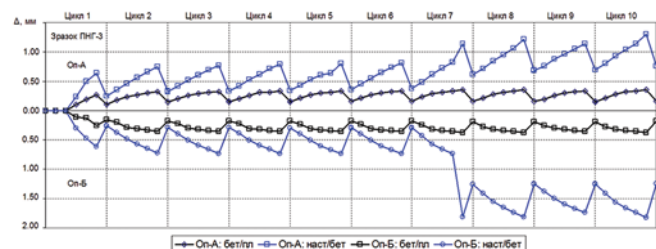


Рис. 7. Переміщення бетону відносно опорних пластин та настилу відносно бетону в опорних зонах зразка ПНГ-3

щення значення гранично допустимого прогину $[f] = 3,5$ мм було досягнуте в останньому кроці першого циклу перед досягненням максимального рівня навантаження циклу (рис. 5). Після розвантаження зразків по закінченню першого циклу була зафіксована наявність залишкового прогину. У подальших п'яти циклах спостерігалась стабілізація прогинів: динаміка їх зростання зберігалась сталою, значення прогинів при максимальних рівнях навантажень в циклах та після розвантаження знаходились в околі досягнутих в кінці першого циклу рівнів, не демонструючи тенденції до зростання.

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.

Тріщини, утворення яких супроводжувало втрату несної здатності перерізу зразків, зупинялись в розвитку по досягненню 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 впродовж другого та третього циклів, після чого їх ріст значно уповільнився. 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 прикладанням навантаження; після перевищення рівня навантаження $0,75[F] \approx 94$ кН відновився активний радіальний розвиток тріщин. Руйнування зразків наступило внаслідок руйнування стиснутої зони бетону в середній третині зразків: вертикальні тріщини в полицях зразків (рис. 6) перевищили рівень розташування верхніх арматурних каркасів та досягли горизонтальних граней плит, на яких з'явилась сітка силових тріщин.

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 втрати несної здатності зразків (рис. 7, 8).

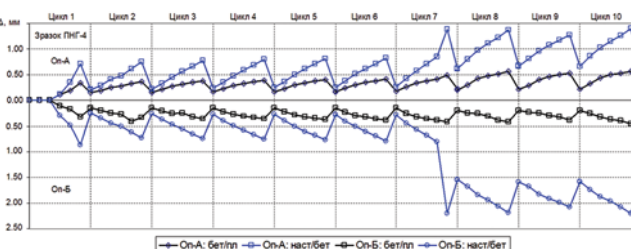
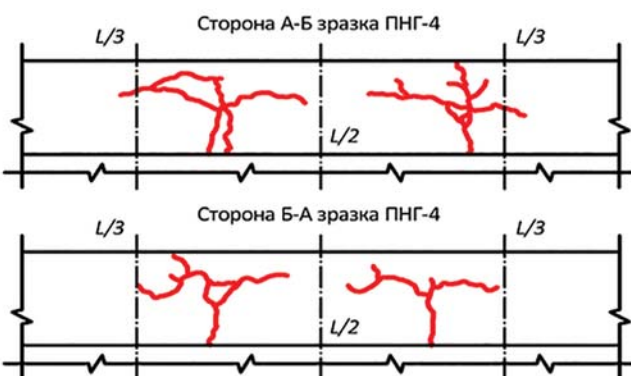


Рис. 8. Переміщення бетону відносно опорних пластин та настилу відносно бетону в опорних зонах зразка ПНГ-4

По завершенню першого циклу в обох зразках були зафіксовані залишкові переміщення бетону зразків та профільованого настилу. Продовж наступних циклів спостерігалась стабілізація цих переміщень: динаміка їх зростання залишалась сталою, значення переміщень при максимальних рівнях навантажень в циклах та після розвантаження знаходились в околі досягнутих в кінці першого циклу рівнів, не демонструючи тенденції до наростання, при цьому для переміщень бетону відносно опорних пластин дана стабілізація спостерігалась протягом усіх десяти циклів. При досягненні максимального рівня навантаження у цьому циклі був зафіксований різкий приріст переміщень настилу відносно бетону зразків; слід відмітити, що з боку опори Оп-Б (шарнірно-нерухомої опори) дане переміщення було значно більшим, ніж з боку шарнірно-рухомої опори Оп-А. Впродовж циклів 8-10 спостерігалась стабілізація переміщень настилу відносно бетону при нових відправних рівнях. Зафіксовані зміщення можуть свідчити про те, що в бетоні зразків навколо приварних опорних анкерів виникають зони концентрації напружень, та про поступовий розрив СПН в зоні опорного анкерування.

Руйнування зразків наступило при досягненні рівнів 140 кН для зразка ПНГ-3 та 133,5 кН – для ПНГ-4, що є співставними з усередненим руйнівним зусиллям зразків ПНГ-1 та ПНГ-2 – 130 кН. Руйнування супроводжувалось різким наростанням прогинів, спершу неможливістю перевищити вказані рівні навантаження, а далі – повільним падінням показів манометра маслостанції та кільцевого динамометра, незначним виплучуванням верхніх полиць СПН в зоні розкриття центральних тріщин та руйнуванням стиснутої зони бетону плит. Як і при випробуваннях зразків ПНГ-1 та ПНГ-2 статичним навантаженням, при руйнуванні зразків ПНГ-3 та ПНГ-4 не спостерігалось прогресуючого обваллення.

Висновки та перспективи подальшого розвитку.

За результатами проведених експериментальних досліджень були зроблені такі висновки:

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

2. Сталевий профільований настил як армуючий елемент забезпечив належну несну здатність зразків та підвищив живучість зразків, не допустивши прогресуючого обваллення при руйнуванні.

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

4. Руйнування зразків відбулось внаслідок руйнування стиснутої зони бетону, що свідчить про наявність резервів міцності сталевий профільований настил.

5. Руйнівні зусилля досліджуваних зразків після дії високорівневого малоциклового навантаження є співставними з руйнівними зусиллями при дії статичного навантаження, що свідчить про ефективність роботи сталевий профільований настил в монолітних залізобетонних плитах при дії циклічних навантажень.

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

Література:

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 профилюваному настилу. Расчет и проектирование: СТО 0047-2005 – М., 2005. – IV, 65 с. – (Стандарт організації).
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. Шевчук С. Г. Несуча здатність та деформативність сталобетонних 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.
10. Клименко Ф. Е. Зчеплення зовнішньої полосової арматури з бетоном сталобетонних балок при циклічних навантаженнях / Ф. Е. Клименко, Р. І. Кінаш // Резерви прогресу в архітектурі та будівництві: вісник Державного університету «Львівська політехніка». – Львів: Дільниця оперативного друку ДУЛП, 1993. – №271. – С. 55 – 59.
11. 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. Кондюкова // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 1 (43). – с. 169 – 177.
12. Тріщиностійкість залізобетонних балкових конструкцій автодорожніх мостів в умовах малоциклового навантаження: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Р. І. Полюга; Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Л., 2006. — 18 с.
13. Коваль М. П. Випробування монолітних плит, армованих сталевим профільованим настилом без прогонового анкерування та із прогоновим анкеруванням базальтопластиковими стрижнями / Коваль М. П. // Бетон и железобетон в Украине. – 2015. – №2(84). – с. 19 – 25.