



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

## АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЛТОВОГО ОПОРНОГО АНКЕРУВАННЯ ГЛАДКОГО ПРОФІЛЬОВАНОГО НАСТИЛУ В МОНОЛІТНИХ ПЛИТАХ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

### АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОЛТОВОЙ ОПОРНОЙ АНКЕРОВКИ ГЛАДКОГО ПРОФИЛИРОВАННОГО НАСТИЛУ В МОНОЛИТНЫХ ПЛИТАХ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

### ANALYTICAL DETERMINATION OF EFFICIENCY OF PLAIN STEEL DECKING'S BOLTED BEARING ANCHORING IN MONOLITHIC SLABS BY RESULTS OF BENCH TESTING

**Анотація.** Приведені результати випробувань монолітних залізобетонних плит із сталевим профільованим настилом Т57, що виконує роль незнімної опалубки та зовнішньої робочої арматури, при дії статичного навантаження. Особливістю зразків була наявність болтових опорних анкерів: сталевий профільований настил фіксувався на опорних пластинах за допомогою болтів М10 з шайбами та гайками. Подані відомості про деформативність зразків, характер їх руйнування та несну здатність. За результатами випробувань аналітично визначений коефіцієнт умов роботи гладкого профільованого настилу з болтовим опорним анкеруванням та зроблений висновок про перспективність даного способу анкерування.

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

**Аннотация.** Приведены результаты испытаний монолитных железобетонных плит со стальным профилированным настилом Т57, служащим несъемной опалубкой и внешней рабочей арматурой, при действии статической нагрузки. Особенностью образцов было наличие болтовых опорных анкеров: стальной профилированный настил фиксировался на опорных пластинах с помощью болтов М10 с гайками и шайбами. Приведены сведения об деформативности образцов, характер их разрушения и несущую способность. По результатам испытаний аналитически определен коэффициент условий работы гладкого профилированного настила с болтовой опорной анкерровкой и сделан вывод о перспективности данного способа анкерровки.

**Ключевые слова:** внешнее армирование, статическая 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 static load are shown. A feature of specimens was usage of bolted anchors: in bearing zones corrugated steel decking was pressed to a metal plates by М10 bolts with nuts and shims. Information of deformability of specimens, the nature of their destruction and bearing capacity is given. According to testing results the structure behavior factor of a plain steel decking with bolted bearing anchoring was analytically determined and conclusion about the prospects of this anchoring method was made.

**Keywords:** bridge deck slab, corrugated steel decking, external reinforcement, static 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]; це дозволяє підвищити темпи будівництва, знизити працездатність та вартість будівельних робіт через відмову від використання інвентарної опалубки та підтримуючих конструкцій (риштувань). Актуальність даного підходу у мостовому будівництві зумовлена тим, що 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 [4].

#### Постановка проблеми.

СПН може також застосовуватись як зовнішня робоча арматура плити проїзної частини, проте для цього слід виконати ряд конструктивних вимог по забезпеченню сумісної роботи СПН із бетоном плити. Це досягається за допомогою анкерування настилу, зокрема без наявності опорного анкерування СПН включати враховувати його у спільній роботі з бетоном плити не рекомендується [5].

В практиці будівництва для фіксації настилу, встановленого на металеві балки, в проектному положенні та його опорного анкерування застосовують приварні анкери типу Nelson [6]: анкери (стрижні з висадженими голівками) приварюються крізь метал настилу до металу балок витягнутою дугою за допомогою зварювального пістолета. Крім переваг – висока швидкість приварювання анкерів, створення надійного комплексного з'єднання «анкер – настил – балка» із майже 100%-ю якістю зварного шва – даному способу характерні певні недоліки: це і певна дороговизна, потреба в специфічному зварювальному обладнанні та неможливість зі зрозумілих причин застосувати цей спосіб при установці СПН на залізобетонні балки.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

За статистикою, мости із залізобетонними головними балками (здебільшого малих та середніх прогонів) є переважними – 91,5% від загальної кількості експлуатованих на магістральних та місцевих автомобільних дорогах [7]; ця цифра приблизно корелюється із об'єктами нового будівництва. У зв'язку з цим розробка ефективного способу фіксації та анкерування настилу у монолітних плитах, влаштованих по залізобетонних балках, є надзвичайно актуальною.

Прикладом теоретичної та практичної проробки даного питання є нестандартні анкери, розроблені в ПолтНТУ ім. Кондратюка [8]: ці анкери виготовляються гнуттям заготовок із лі-

стової сталі та вставляються у механічно виконані отвори у опорних зонах СПН, а їх декларованим призначенням є застосування при встановленні СПН на бетонні балки, цегляні стіни, тощо. Натурні випробування дослідних сталезалізобетонних плит із трьома видами нестандартних анкерів довели їх ефективність та надійність ([1], с. 188). Втім, на думку автора даний спосіб є надто специфічним та трудомістким; крім того, в силу конструктивних особливостей анкерів він вирішує лише частину поставленої задачі – забезпечує анкерування СПН в бетоні плити, не забезпечуючи надійного закріплення настилу до опорної поверхні.

В ході аналітично-конструкторських вишукувань автором був запропонований спосіб фіксації СПН, встановленого на залізобетонні балки [9], що полягає у висвердленні в тілі балок глухих отворів, у які вставляються металеві розпірні дюбелі. В опорній зоні нижніх поясів настилу висвердлюються отвори, у які вставляються болти з метричною різьбою та шайбами; після встановлення настилу на балки ці болти вгвинчуються в дюбелі, внаслідок чого болти фіксуються в тілі балки з допомогою розпору дюбелів, та притискають голівками з шайбами настил до поверхні балки. Даний спосіб послужив прототипом для запропонованого автором способу анкерування СПН, встановленого на залізобетонні балки [10]: до голівок болтів, що фіксують настил, можна приварити анкери типу Nelson, перетворивши дане розпірно-зварне з'єднання на вертикальний анкер. Наукова новизна даних способів підтверджена отриманими патентами на корисні моделі.

Принципом болтового анкерування є наявність метричної різьби в опорній поверхні, елемент, що притискає настил до опорної поверхні та вертикальний стрижень із голівкою, що забетонується в тілі плити над настилом. Даний принцип можна спростити, використавши подовжені болти з нагвинченими гайками: різьбовий кінець болта увійде у різьбу в опорній поверхні, заздалегідь нагвинчена гайка з шайбою зафіксує настил, а вільна частина болта відіграватиме роль вертикального стрижня з голівкою. При цьому даний спосіб можливо застосувати і при встановленні СПН на металеві балки, у верхніх полицях яких достатньо лише висвердлити отвори з метричною різьбою.

#### Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.

Застосування тих чи інших засобів опорного та прогонового анкерування настилу при його використанні як робочої арматури плит знаходить відображення у аналітичному визначенні несної здатності таких плит. Під час розрахунків за граничними станами (зокрема, міцності нормальних перерізів) розрахунковий опір настилу  $R_n$  враховується у формулах із введенням коефіцієнту умов роботи  $\gamma_n$ , значення якого залежить від обраних засобів анкерування настилу. У наукових працях та нормативних документах [1, 2, 5] можливість болтового опорного анкерування СПН не розглядається та, відповідно, не визначений коефіцієнт умов роботи настилу  $\gamma_n$ , що фактично є мірилом включення настилу в спільну роботу з бетоном плити – прямим показником ефективності способу анкерування СПН.

На практиці характеристики сумісної роботи СПН та бетону визначаються емпірично за допомогою випробувань; коефіцієнт умов роботи настилу  $\gamma_n$  при застосуванні не досліджуваних раніше анкерних засобів прийнято визначати за результатами стендових випробувань монолітних плит, армованих СПН ([11], додаток В).

#### Постановка завдання:

провести експериментальні дослідження роботи монолітних залізобетонних плит зі сталевим профільованим настилом та болтовими опорними анкерами при дії статичного навантаження. Мета роботи – аналітично визначити ефективність болтового опорного анкерування СПН за допомогою встановлення коефіцієнту умов роботи настилу за результатами стендових випробувань дослідних зразків.

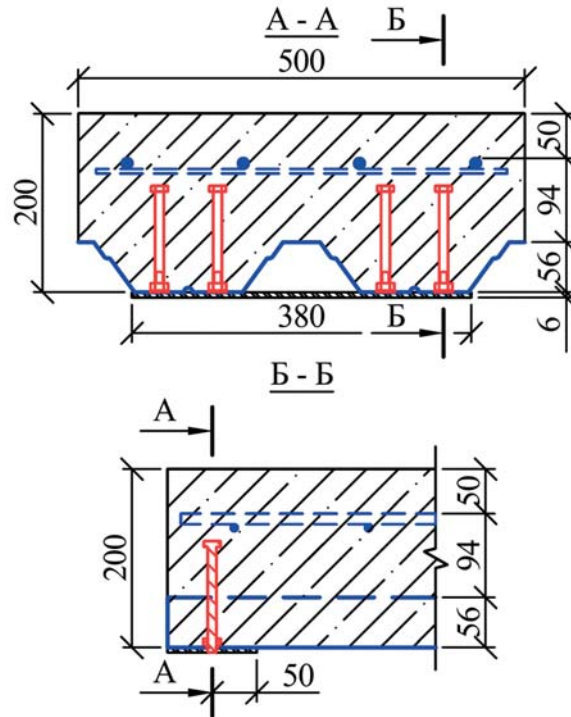


Рис. 1. Перерізи зразка серії ПН

#### Основний матеріал і результати.

Для виконання поставленого завдання було виготовлено два зразки-близнюки, серія яких отримала шифр «ПН». Зразки ПН-1 та ПН-2 моделюють натурні плити проїзної частини. 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 виконували роль опорних пластин під час випробувань. У кожній пластині висвердлювались чотири отвори з метричною різьбою М10 з кроком 65+188+65 мм; у опорній зоні нижніх поясів настилу в кожному гофрі були висвердлені по два отвори Ø11 з відстанню в осях 65 мм. Настил встановлювався на опорні пластини, після чого у отвори з метричною різьбою на всю товщину пластин вгвинчувались болти М10 (по два в кожному гофрі), оснащені гайками та шайбами, які вгвинчувались униз, міцно притискаючи СПН до опорних пластин. Після цього елементи настилу із опорними пластинами встановлювались у індивідуальну дощату опалубку.

Зразки довжиною 1,5 м, висотою 0,2 м та шириною 0,5 м були виготовлені із важкого бетону лабораторного виготовлення, що ущільнювався при укладці глибинним вібратором; клас міцності бетону за результатами випробувань контрольних зразків відповідає класу В50. В верхній зоні кожного зразка розташована в'язана арматурна сітка 4Ø12A500C-130/10Ø8A500C-150 1,47×0,46 м із захисним шаром 5 см, що моделює верхню робочу арматуру плити проїзної частини. Стрижнева арматура у

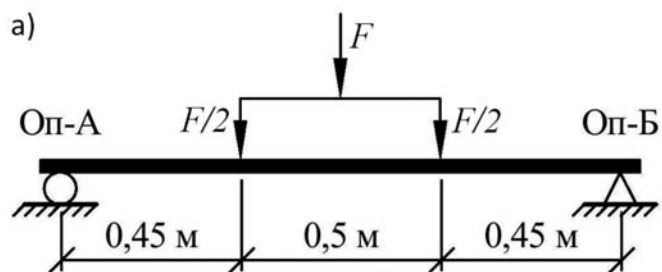


Рис. 2. Статична схема випробування зразків (а) та загальний вигляд зразка ПН-2 у випробувальному стенді (б)

нижній зоні зразків відсутня – роль нижньої робочої арматури зразків виконував профільований настил.

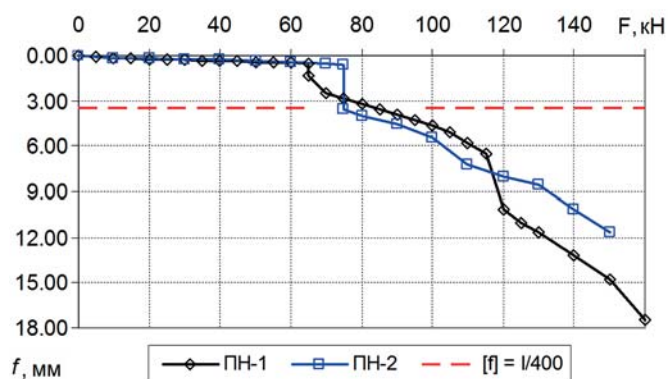


Рис. 3. Графік прогинів зразків ПН-1 та ПН-2

Випробування зразків проводилось стендовим способом за схемою чистого згину з робочим прогоном зразків 1,4 м (рис. 2). Покрокове навантаження зразків (+5 кН для зразка ПН-1, +10 кН – для зразка ПН-2) 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.

Під час перших привантажень зразків спостерігалось незначне рівномірне зростання прогинів; при досягненні рівнів навантаження 65 кН для зразка ПН-1 та 70 кН для ПН-2 у зразках розкрились перші вертикальні тріщини в середніх третинах. Розкриття тріщин супроводжувалось тріском бетону, відшаруванням настилу від бетону зразка, просковзуванням його відносно торців зразків, зменшенням показів кільцевого динамометра та манометра маслостанції через падіння тиску в маслоконтурі через різке збільшення деформативності: спостерігався різкий приріст прогинів, що після кількох привантажень перевищили значення гранично допустимого прогину  $[f] = l/400 = 3,5$  мм. Усі вертикальні тріщини, що утворювались у досліджуваних зразках, зупинялись в розвитку після проходження до рівня залягання верхньої арматурної сітки, та зі збільшенням на-

вантаження на зразки починали повільний ріст до верхньої грані та розходиться радіально в сторони.

Руйнування зразків ПН-1 та ПН-2 – втрата несної здатності – наступило при досягненні рівня навантаження 175 кН. Це супроводжувалось різким наростанням прогинів, спершу неможливістю перевищити вказані рівні навантаження, а далі – повільним падінням показів манометра маслостанції та кільцевого динамометра, появою тріщин на верхніх гранях зразків та незначним випучуванням верхніх полиць СПН в зоні розкриття центральних тріщин, руйнуванням стиснутої зони бетону плит: тріщини в полицях зразків перевищили рівень розташування верхніх арматурних каркасів та досягли верхніх граней плит, на поверхні горизонтальних граней плит з'явилась сітка силових тріщин (рис. 4). Характер руйнування зразків є типовим для втрати несної здатності нормального перерізу внаслідок вичерпання міцнісних характеристик бетону стиснутої зони зразків, і є первинним свідченням ефективності досліджуваного типу опорного анкерування настилу як засобу забезпечення сумісної роботи СПН та бетону плит: у випадку недостатньої міцності опорного анкерування відбулось би руйнування (розрив) настилу в зоні анкерування, що не дозволило би повністю використати міцнісний ресурс нормальних перерізів.

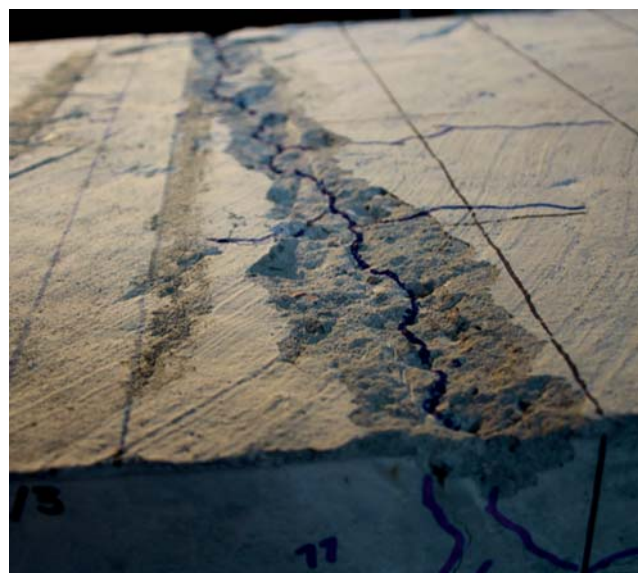


Рис. 4. Вид на горизонтальну грань зруйнованого зразка ПН-2

Аналітичне визначення несної здатності нормального перерізу залізобетонної плити зі СПН є перевіркою міцності бетону стиснутої зони плити [12] і ведеться за формулою:

$$[M] = R_b b_f x (h_0 - 0,5x), \quad (1)$$

де  $[M]$  – граничний згинальний момент, що здатний сприйняти переріз;  $R_b$  – розрахунковий опір бетону осьовому стиску;  $b_f$  – ширина плити перерізу;  $h_0$  – робоча висота перерізу;  $x$  – висота стиснутої зони, що визначається з умови граничної рівноваги стиснутого бетону та розтягнутих армуючих елементів у розрахунковому перерізі:

$$R_b b_f x = \gamma_n R_n A_n + R_s A_s, \quad (2)$$

де  $A_n$  – площа СПН у розрахунковому перерізі;  $R_s$  та  $A_s$  – відповідно розрахунковий опір осьовому розтягу та площа розтягнутої стрижневої арматури у розрахунковому перерізі (в подальших розрахунках стрижнева арматура верхньої зони плит враховувалась як розтягнута, оскільки висота стиснутої зони не перевищувала товщини захисного шару бетону). Значення розрахункових характеристик нормального перерізу наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Значення розрахункових характеристик нормального перерізу зразків серії ПН

Константа	Значення	Константа	Значення
$b_f$	500 мм	$R_b$	25 МПа
$h_0$	181 мм	$R_n$	220 МПа
$A_n$	630 мм <sup>2</sup>	$R_s$	435 МПа
$A_s$	452,38 мм <sup>2</sup>		

Аналіз несної здатності зразків ПН-1 та ПН-2 зручно вести по зусиллю  $F$ , створюваному гідравлічним домкратом; при прийнятій статичній схемі (рис. 2, а) випробувань зв'язок руйнівного зусилля  $[F]$  із граничним згинальним моментом описується виразом:

$$[F] = 2[M] / 0,45 \text{ м.} \quad (3)$$

Згідно з рекомендаціями низки наукових праць та нормативних документів [1, 2, 5, 11, 12] для гладкого профільованого настилу із приварним опорним анкеруванням у розрахунках використовується коефіцієнт умов роботи  $\gamma_n = 0,4$ . Провівши розрахунок за формулами (1) – (3) з допущенням про застосування приварного опорного анкерування, було визначено теоретичне руйнівне зусилля зразків, що становить 191,5 кН; це значення на 8,6% вище від отриманого експериментально.

Внаслідок математичного підбору автором було запропоновано значення коефіцієнту умов роботи для гладкого профільованого настилу із болтовим опорним анкеруванням  $\gamma_n = 0,2$ . З врахуванням у формулах (1) – (2) цього коефіцієнту теоретичне руйнівне зусилля складає 171,6 кН, що добре корелюється із експериментально отриманими значеннями (різниця результатів становить 1,98%). Результати розрахунків зведені у табл. 2.

Таблиця 2.

Порівняння експериментально та аналітично визначених руйнівних зусиль дослідних зразків

Експер-но визн. руйн. зусилля, кН	Теорет. визн. руйн. зусилля, кН Різниця, %	
	При $\gamma_n = 0,4$	При $\gamma_n = 0,2$
175	$\frac{191,5}{-8,6}$	$\frac{171,6}{1,98}$

### 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. Була експериментально доведена ефективність болтового опорного анкерування: міцність анкерування виявилась достатньою для повного використання міцнісного ресурсу нормальних перерізів зразків.
3. За результатами випробувань був вперше визначений коефіцієнт умов роботи гладкого СПН з болтовим опорним анкеруванням; різниця між експериментально та аналітично визначеними несними здатностями складає менше 2%.
4. Визначений за результатами випробувань коефіцієнт умов роботи настилу з болтовим опорним анкеруванням є вдвічі меншим у порівнянні з коефіцієнтом умов роботи настилу з приварним опорним анкеруванням, що свідчить про вдвічі меншу ефективність.

Незважаючи на меншу ефективність болтового опорного анкерування порівняно з приварним, даний спосіб забезпечення спільної роботи СПН та бетону плити є перспективним для ряду випадків, і потребує подальших всебічних досліджень.

### 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. 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.
5. Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу. Расчет и проектирование: СТО 0047-2005 – М., 2005. – IV, 65 с. – (Стандарт организации).
6. Nelson. Standardkatalog Bolzenschweißen. – Gevelsberg, Nelson Bolzenschweiß-Nechnik GmbH & Co. KG. – 2001. – 35 s.
7. Експлуатація і реконструкція мостів / [Н. Є. Страхова, В. О. Голубєв, П. М. Ковальов та ін.]. – Київ, 2002. – 408 с.
8. Стороженко Л. І. Особливості роботи монолітних залізобетонних плит по сталевому профільованому настилу / Л. І. Стороженко, В. І. Козарь // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. – 1999. – Вип. 3. – С. 260 – 264.
9. Пат. 81364 Україна, МПК (2013.01) E04C 2/00, E01D 19/00. Спосіб фіксації незнімної опалубки зі сталевого профільованого настилу для монолітної залізобетонної плити, влаштованої по залізобетонних балках, за допомогою розпірних з'єднань / Коваль М. П. (Україна, НТУ) – №u201300888; Заявлено 25.01.2013; Опубл. 25.06.2013, Бюл. №12. – 8 с.
10. Пат. 85139 Україна, МПК (2013.01) E04C 2/00, E01D 19/00. Спосіб анкерування сталевих профільованих настилу у монолітних залізобетонних плитах, влаштованих по залізобетонних балках, за допомогою розпірних та зварних з'єднань / Коваль М. П. (Україна, НТУ) – №u201306234; Заявлено 20.05.2013; Опубл. 11.11.2013, Бюл. №21. – 7 с.
11. Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования: СП XX.13330.20XX (проект, первая редакция) – М.: Министерство строительства и ЖКХ РФ, 201X. – 127 с. – (Свод правил)
12. Методичні рекомендації з розрахунку плит проїзної частини мостів із сталевим профільованим настилом: МР В.2.2-02070915-831:2013. – Київ, 2013. – 95 с. – М.: Машиностроение-1, 2007.