

УДК 620.168; 624.21.095.32

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ УМОВ РОБОТИ ПРОФІЛЬОВАНОГО НАСТИЛУ Н80А ІЗ БОЛТОВИМ ОПОРНИМ АНКЕРУВАННЯМ У МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТАХ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПРОФИЛИРОВАННОГО НАСТИЛА Н80А С БОЛТОВОЙ ОПОРНОЙ АНКЕРОВКОЙ В МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТАХ**

**EXPERIMENTAL-ANALYTICAL DETERMINATION OF STRUCTURE BEHAVIOR FACTOR OF CORRUGATED STEEL DECKING TYPE N80A WITH BOLTED BEARING ANCHORING IN MONOLITHIC CONCRETE SLABS**

Коваль М. П., с. н. с. (Національний транспортний університет, м. Київ)

Коваль М. П., с. н. с. (Национальный транспортный университет, г. Киев)

Koval M. P., Senior Research Fellow (National Transport University, Kyiv)

Приведені результати випробувань монолітних залізобетонних плит, армованих сталевим профільованим настилом Н80А із болтовим опорним анкеруванням. Аналітично визначений коефіцієнт умов роботи настилу Н80А з болтовим опорним анкеруванням та зроблений висновок про перспективність даного способу анкерування.

Приведены результаты испытаний монолитных железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом Н80А с болтовой опорной анкерровкой. Аналитически определён коэффициент условий работы настила Н80А с болтовой опорной анкерровкой и сделан вывод о перспективности данного способа анкерровки.

The results of testing of monolithic concrete slabs, reinforced by corrugated steel decking type N80A with bolted bearing anchoring, are shown. Structure behavior factor of a steel decking type N80A with bolted bearing anchoring was analytically determined and conclusion about the prospects of this anchoring method was made.

**Ключові слова:**

Зовнішнє армування, статичне навантаження, незнімна опалубка, плита проїзної частини моста, сталевий профільований настил.

**Внешнее армирование, статическая нагрузка, несъёмная опалубка, плита проезжей части моста, стальной профилированный настил.**  
**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 працёмісткість 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. Конструктивна особливість настилу Н80А – наявність прямокутних виштаповок на стінках та нижньому поясі – закладена з метою покращення зчеплення бетону плити з металом настилу по всій довжині контакту, проте цього не достатньо для надійної спільної роботи бетону плити та СПН на всіх стадіях роботи конструкції – 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 висока вартість, потреба в специфічному зварювальному обладнанні та неможливість зі зрозумілих причин застосувати цей спосіб при установах СПН на залізобетонні балки.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За статистикою, мости із залізобетонними головними балками (здебільшого малих та середніх прогонів) є переважаючими – 91,5% від загальної кількості експлуатовуваних 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 листової 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] та способу анкерування СПН, встановленого на залізобетонні балки [10]. У їх основі лежить принцип болтового анкерування, що найпростіше реалізувати за допомогою подовжених болтів з нагвинченими гайками: різьбовий кінець болта входить у метричну 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 при встановленні СПН як на бетонні балки (із заздалегідь вставленими у висвердлені глухі отвори металевими розпірними дюбелями), так і на металеві балки, у верхніх полицях яких достатньо лише висвердлити отвори з метричною різьбою.

**Виділення невирішених 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, для таких випадків не визначений коефіцієнт умов роботи настилу, а він 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 при застосуванні не досліджуваних раніше анкерних засобів необхідно 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.

**Основний матеріал і результати.** Для виконання поставленого завдання було виготовлено два зразки-близнюки, серія яких отримала шифр "ПНВ"; зразки ПНВ-1 та ПНВ-2 моделюють фрагменти натурних плит проїзної частини (рис. 1). Незнімною опалубкою та робочою арматурою дослідних зразків є сталевий профільований настил Н80А із виштампівками на стінках та нижньому поясі; двоуголові елементи настилу встановлювались кінцями на сталеві пластини  $270 \times 100 \times 6$ , що імітували верхні полиці головних балок прогонової будови та виконували роль опорних пластин під час випробувань. У кожній пластині висвердлювались два отвори з метричною різьбою М10 з відстанню в осях 170 мм; у опорній зоні нижніх поясів настилу в кожному гофрі були висвердлені по отвору  $\varnothing 11$ . 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 вигвинчувались униз, міцно притискаючи СПН до опорних пластин. Після цього елементи настилу із опорними пластинами встановлювались у індивідуальну дощату опалубку.

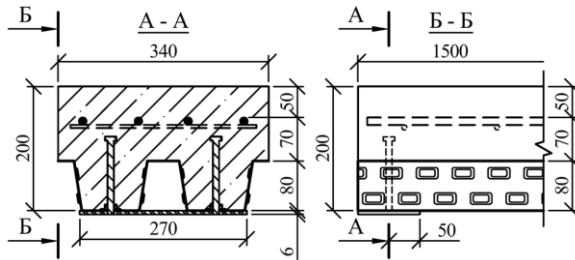


Рис. 1. Перерізи зразка серії ПНВ

Зразки довжиною 1,5 м, висотою 0,2 м та шириною 0,34 м були виготовлені із важкого бетону заводського 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  $4\varnothing 12A500C-90+80+90/10\varnothing 8A500C-150$   $1,47 \times 0,3$  м із захисним шаром 5 см, що моделює верхню робочу арматуру плити проїзної частини. Стрижнева арматура у нижній зоні зразків відсутня – роль нижньої 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 із кроком +10 кН 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 передаючих траверс 0,5 м).

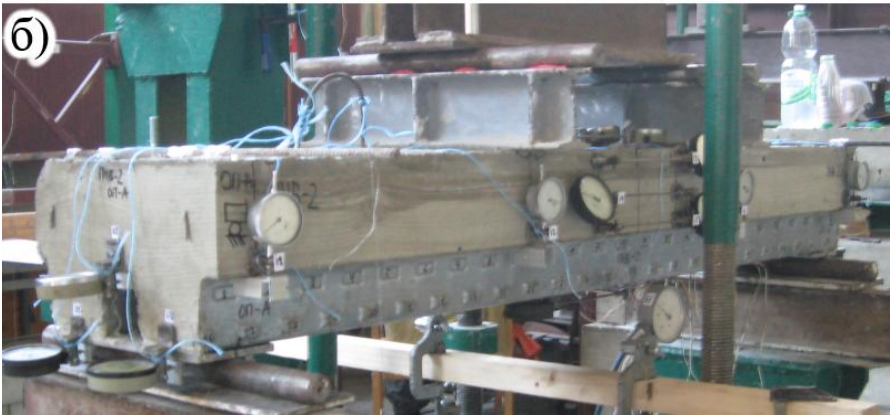
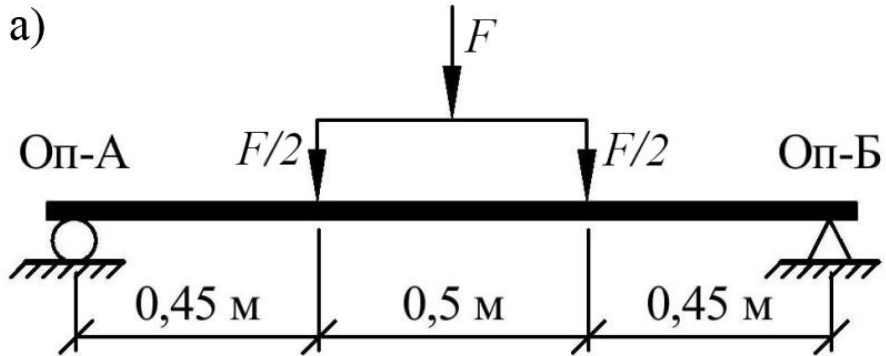


Рис. 2. Статична схема випробування зразків (а)  
та загальний вигляд зразка ПНВ-2 у випробувальному стенді (б)

Під час перших привантажень зразків спостерігалось незначне рівномірне зростання прогинів; при досягненні рівнів навантаження 50 кН для зразка ПНВ-1 та 40 кН для ПНВ-2 у зразках розкрились перші вертикальні тріщини в середніх третинах. Розкриття тріщин супроводжувалось тріском бетону, відшаровуванням 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  $[f] = 1/400 = 3,5$  мм (рис. 3). Усі вертикальні тріщини, що утворювались у досліджуваних зразках, зупинялись в розвитку після доходження до рівня залягання верхньої арматурної сітки, та зі збільшенням навантаження на зразки починали повільний ріст до верхньої грані та розходитися радіально в сторони.

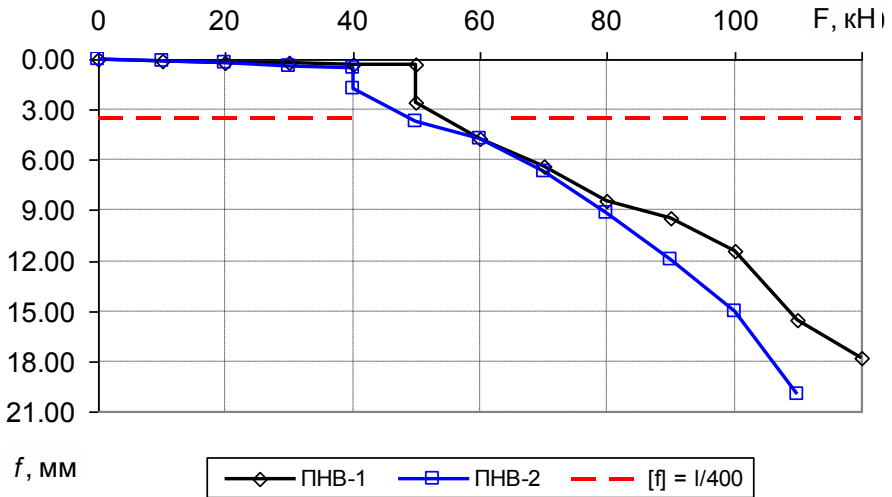


Рис. 3. Графік прогинів зразків ПНВ-1 та ПНВ-2

Руйнування зразків ПНВ-1 та ПНВ-2 – втрата несної здатності – наступило при досягненні рівнів навантаження  $[F]_{exp}$  відповідно 125 та 115 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'явилися силові тріщини. 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.

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

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

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.

Аналіз несної здатності зразків ПНВ-1 та ПНВ-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:

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

Таблиця 1

Значення розрахункових характеристик нормального перерізу зразків серії ПНВ

Константа	Значення	Константа	Значення
$b_f$	340 мм	$R_b$	25 МПа
$h_0$	163 мм	$R_n$	220 МПа
$A_n$	610 мм <sup>2</sup>	$R_s$	435 МПа
$A_s$	452,38 мм <sup>2</sup>		

Згідно з рекомендаціями низки наукових праць та нормативних документів [1, 2, 5, 11, 12] для профільованого настилу Н80А (з прямокутними виштаповками) та приварним опорним анкеруванням у розрахунках використовується коефіцієнт умов роботи  $\gamma_n = 0,5$ . Провівши розрахунок за формулами (1) – (3) з допущенням про застосування приварного опорного анкерування, було визначено теоретичне руйнівне зусилля зразків, що становить  $[F]_{teor} = 142,7$  кН; це значення на 15,9% вище від  $\Sigma[F]_{exp} = 120$  кН – усередненого значення експериментально отриманих зусиль.

Таблиця 2

Порівняння експериментально та аналітично визначених  
руйнівних зусиль дослідних зразків

Зразок	$[F]_{exp}$ , кН	$[F]_{teor}$ , кН при $\gamma_n = 0,5$	Різниця, %	$[F]_{teor}$ , кН при $\gamma_n = 0,25$	Різниця, %
ПНВ-1	125	142,7	-12,4	118,7	5,3
ПНВ-2	115		-19,4		-3,1
Усередн.	120		-15,9		1,1

Внаслідок математичного підбору автором було запропоновано значення коефіцієнту умов роботи для профільованого настилу Н80А із болтовим опорним анкеруванням  $\gamma_n = 0,25$ . З врахуванням у формулах (1) – (2) цього коефіцієнту теоретичне руйнівне зусилля складає  $[F]_{teor} = 118,7$  кН, що добре корелюється із експериментально отриманими значеннями (це значення на 1,1% нижче від  $\Sigma[F]_{exp} = 120$  кН – усередненого значення експериментально отриманих зусиль). Результати розрахунків зведені у табл. 2.

### 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 настилу Н80А з болтовим опорним анкеруванням  $\gamma_n = 0,25$ ; різниця між експериментально та аналітично визначеними (з використанням цього коефіцієнта) несними здатностями не перевищує 5,3%.

4. Визначений за результатами випробувань коефіцієнт умов роботи настилу Н80А з болтовим опорним анкеруванням є вдвічі меншим у порівнянні з коефіцієнтом умов роботи цього 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.

**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 профилюваному 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. Голубев, 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 сталевого профільованого 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.