

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ ПЛИТ НЕЗНІМНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПАЛУБОК З
НАПРУЖЕНОЮ АРМАТУРОЮ ДЛЯ ПЛИТ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ МОСТІВ

STUDY OF SAMPLES OF PERMANENT POST-TENSION REINFORCED CONCRETE
FORMWORK SLABS FOR BRIDGES DECK



Кот Дмитро Владиславович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри "Мости, тунелі та гідротехнічні споруди", e-mail: kot_dmytro@icloud.com, тел. +38063-337-10-79, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 228.

<https://orcid.org/0000-0003-2790-1119>

Анотація. Скорочення термінів будівництва об'єктів є одним із найбільш важливих економічних завдань в сучасних умовах. Але варто враховувати той факт, що повністю збірні конструкції мають ряд недоліків, які впливають на подальшу експлуатацію транспортної споруди. Серед них проблеми, що пов'язані з неможливістю забезпечити надійну гідроізоляцію стиків збірних елементів і виникаючу через це корозію бетону та арматури. Враховуючи досвід використання збірних конструкцій вітчизняні інженери, так само як і зарубіжні колеги, прийшли до висновку, що монолітні та збірно-монолітні конструкції забезпечують більшу довговічність споруди в цілому. Саме тому застосування збірно-монолітних прогонових будов при спорудженні транспортних споруд отримало широке розповсюдження. Використання незнімних опалубок при влаштуванні монолітної плити проїзної частини є перспективним напрямком в сучасному мостобудуванні. Особливо це актуально при будівництві шляхопроводів та естакад в умовах щільної міської забудови, де використання інвентарних риштувань для бетонування плити є неможливим чи суттєво ускладнює існуючий рух автотранспорту. Хоча незнімні опалубки застосовуються вже не перший рік, робота їх у складі конструкції на сьогодні досліджена мало. Можна навести багато прикладів використання незнімних опалубок як закордоном, так і у вітчизняній практиці. Гостро стоїть питання тріщиностійкості як окремо плиток незнімної опалубки так і збірно-монолітного перерізу в цілому. У статті розглянута опалубка у вигляді плоских залізобетонних плит з напруженою арматурою. Виготовлення таких плит досить економічне, незважаючи на використання попереднього напруження, особливо екструдерним способом, з подальшим нарізанням на сегменти будь-якої форми і довжини. Першим етапом дослідження стало вивчення досвіду використання незнімних опалубок в різних країнах. Для розуміння доцільності використання плит незнімної опалубки запропоновано провести випробування зразків таких плит для визначення їх ефективності та придатності до подальшої експлуатації. Випробування здійснювалися на силовому стенді двома зосередженими силами за методом «чистого згину». Також наведено результати випробування таких плит.

Ключові слова: прогонова будова мосту, залізобетонна плита проїзної частини, незнімна опалубка.

Вступ. Згідно сучасних діючих нормативних документів плита проїзної частини мостів має бути виконана монолітною з товщиною не менше 200 мм. При використанні збірних балок постає проблема влаштування опалубки між ними. Останнім часом замість тимчасового риштування почали застосовувати збірну незнімну опалубку [3]. Першою спорудою, де мали бути використані плити залізобетонної опалубки з напруженою арматурою, став шляхопровід на перетині бульвару Дружби народів і Набережного шосе у м. Київ, проект яких виконаний ТОВ "НВП "МОСТОВИЙ ЦЕНТР" в 2011 році. В поперечнику встановлено 20 попередньо напружених балок "ЗВет-90" [4] з кроком в середньому 1650 мм. Вид на низ прогонової будови показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Вид на низ прогонової шляхопроводу тунельного типу розв'язки біля моста Патона.
Figure 1 – Bottom view of the tunnel-type span overpass of the interchange near the Paton Bridge

Між балками змонтовані плити незнімної опалубки, по яких забетонована плита проїзної частини. Плити незнімної опалубки виготовлені у вигляді плит 3200 x 1210 x 50, які в решті решт армовані стрижнями класу А-III, хоча передбачалось застосування попередньо напружених канатів К7 Ø8 мм. В поперечному перерізі плити повинні були розміститися канати з кроком 200 мм з попереднім напруженням 110 кН/м². Проте використання канатів не було реалізоване. Стики між торцями плити і верхнім вутом балок заповнювались цементним розчином до розкладки арматури. Стики між плитами заклеювали герметичною стрічкою. Ці плити не враховуються при розрахунку конструкції, забезпечують на стадії зведення тільки тимчасову опору для рухомої бетонної суміші і дозволяють витримувати монтажні навантаження.

Мета і методи. Визначити придатність використання залізобетонних опалубок з попередньо напруженим армуванням в мостовому будівництві. Прийнято рішення провести випробування плит незнімної опалубки з попередньо напруженим армуванням, розміри плит 1200x500x50. Загалом класифікація плит незнімної залізобетонної опалубки подана в [3].

Мета публікації ознайомлення зі специфікою роботи збірних плиток з армуванням у вигляді напружених канатів та розглянути взагалі їх доцільність використання.

Об'єктом дослідження є збірна плита незнімної опалубки, що застосовується при влаштуванні плит монолітних залізобетонних плит проїзної частини [5,6].

Результати і пояснення. Плити незнімної опалубки виготовлялись на заводі ТОВ "Бетон Комплекс", який входить в промислово-будівельну групу "Ковальська". Завод обраний тому, що він на даний момент є одним з лідерів по виробництву попередньо напружених конструкцій, зокрема І-подібних балок прогонових будов мостів.

Основою для формування збірних конструкцій слугував опалубочний піддон для пустотних залізобетонних панелей перекриття ПК (рис 2).



Рисунок 2 – Опалубочна форма для пустотних залізобетонних панелей
Figure 2 – Formwork for hollow reinforced concrete panels

Використання піддону обумовлено необхідністю пропарки заформованих конструкцій.

Піддон був переобладнаний для натягу канатів типу К-7 (рис 3, а). В торцях кожної форми були просвердлені отвори для канатів, які, в свою чергу, служили кондукторами для забезпечення захисного шару (рис 3, б) .

Наступним кроком був натяг канатів. Було застосовано гідравлічний автоматичний однодротовий домкрат фірми PAUL (рис 4, а) та відкриті цанги PAUL типу А (рис 4, б). Натягування відбувалось на упори опалубочного піддону.

Наведені домкрати вже досить давно використовуються за кордоном. Практика їх застосування в Україні стосується саме залізобетонних заводів. Ці домкрати міцні, легкі та обладнані гідравлічними механізмами заклинювання, які забезпечують анкетування арматури без проковзування. Напружувана арматура захоплюється безпосередньо приведеним в дію зусиллям пружини пресового затискача (рис 5). Крім того ці домкрати можуть використовуватися і для натягу арматури на будівельних майданчиках. Характеристики домкратів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики домкратів
Table 1 - Characteristics of jacks

Макс. Зусилля натягу, кН	Макс. величина ходу, мм	Мін. виступ арматури, мм	Вага, кг
60	600	185	28
180	500	245	43



а)



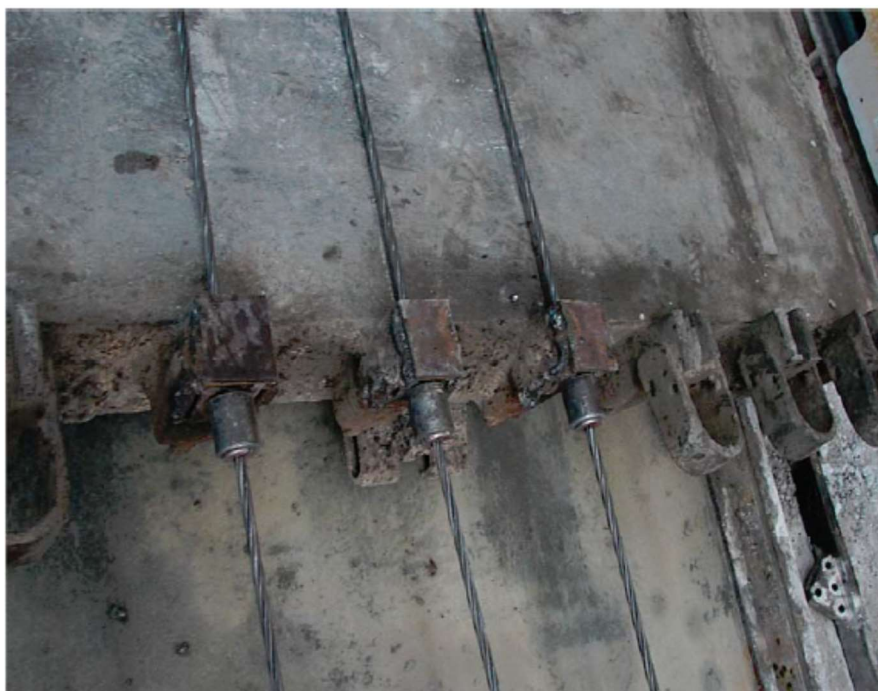
б)

Рисунок 3 – Виготовлення плит залізобетонної опалубки
а) нові упори для натягу канатів; б) виставлені форми для опалубочних плит.

Figure 3 – Production of permanent formwork slabs
a) new stops for tensioning ropes; b) formwork for slabs.



а)



б)

Рисунок 4 – Обладнання для натягу канатів
а) гідравлічний домкрат PAUL; б) відкриті цанги PAUL типу А.

Figure 4 – Rope tensioning equipment
а) PAUL hydraulic jack; б) PAUL type A open collets.

Анкерні цанги виготовляються із спеціально відливої цементованої сталі. Автоматизоване виготовлення з гранично точним дотриманням всіх розмірів, а також суворий контроль забезпечують високу якість. Цанги типу А: відкритий корпус, найпростіша і найдешевша конструкція.



Рисунок 5 – Натяг арматурних канатів гідравлічним домкратом
Figure 5 – Tension of reinforcing ropes with a hydraulic jack

Зусилля натягу канатів контролювалось за допомогою датчика, (рис 6, а), також проводився замір видовження канатів (рис 6, б).



а)



б)

Рисунок 6 – Обладнання для натягу канатів: а) апаратний контроль зусилля натягу канатів;
б) інструментальний контроль зусилля натягу канатів.
Figure 6 – Rope tensioning equipment: a) hardware control of rope tension force; b) instrumental control of the tension force of the ropes.

Після натягу канатів (рис 7, а) конструкції були заформовані (рис 7, б), опалубочний піддон був поміщений в пропарочну камеру на 24 год.

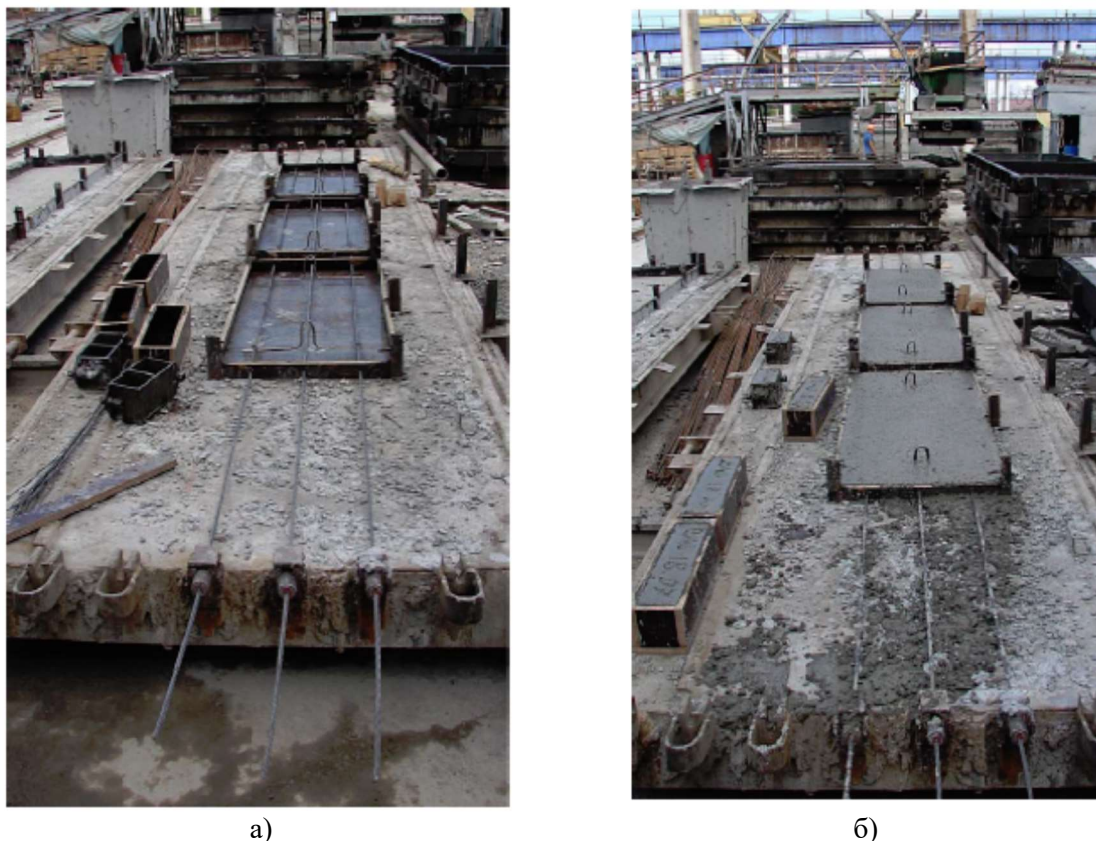


Рисунок 7– Плити опалубки: а) форми до бетонування; б) після формовки.
Figure 7 – Formwork slabs: a) formwork for concreting; b) after concreting.

Плити випробовувались на одноразовий згин по схемі чистого згину. Метою випробувань було визначення несної здатності вищевказаних конструкцій, а також визначення прогинів та напружень в бетоні та арматурі на етапі вкладання бетонної суміші по плитах незнімної опалубки. Крім того визначалась можливість проковзування канатів К-7, якими армуються плити, та величина цього проковзування. Схема навантаження показана на рис 8.

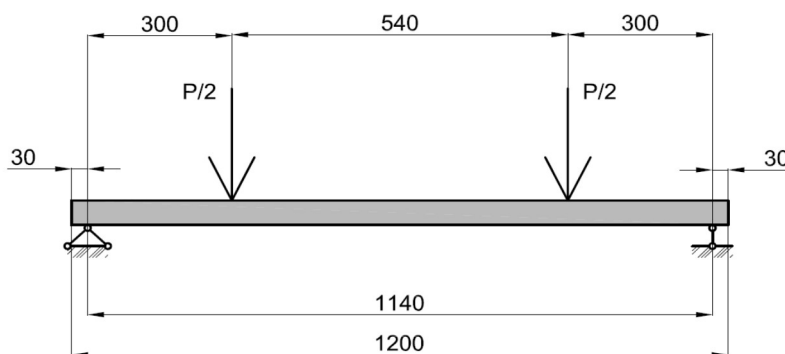


Рисунок 8 – Схема випробування залізобетонних плит незнімної опалубки.
Figure 8 – Test scheme of reinforced concrete slabs of permanent formwork.

Спроба застосувати при впробуванні метод оптико-цифрової кореляції зображення [7] була невдала, за рахунок малої товщини конструкції.



Рисунок 9 – Загальний вигляд стану для випробування плит незнімної опалубки
Figure 9 – General view of the stand for testing permanent formwork slabs

Випробування здійснювали на силовому стенді двома зосередженими силами. За навантажувальний пристрій правив 10-ти тонний гідравлічний домкрат у комплекті з насосною станцією. При випробуванні проводили визначення прогинів плити під навантаженням. Фіброві деформації бетону плити заміряли, використовуючи мікроіндикатори годинникового типу з базою 200 мм. Крім того в торцях плит в місцях розміщення канатів встановлювались додаткові мікроіндикатори, які фіксували можливу величину проковзування канатів К-7.

Навантаження, при якому утворились перші тріщини при випробуваннях плит опалубки, складало 2,3 т. Загальний вигляд та характер руйнувань плити опалубки після випробувань показано на рис. 10.



Рисунок 10 – Характер руйнувань плит
Figure 10 – The nature of plate failures

Під час статичних випробувань плит серії було встановлено, що незнімна опалубка не витримала розрахункове навантаження по несній здатності (у зв'язку з відсутністю анкерування канатної арматури – див. нижче), проте показала чудову тріщиностійкість. До досягнення рівня навантаження в 1700 кг спостерігалось мінімальне зростання прогинів та показів індикаторів годинникового типу, встановлених на плити, що свідчило про пружну роботу конструкції. При досягненні рівня навантаження в 1700 кг почались процеси тріщиноутворення – тріщини, нормальні до горизонтальних граней, почали різко розвиватись під розподільчими траверсами, що супроводжувалось збільшеним зростанням прогинів та ростом стискаючих напружень стиснутої зони. Загалом по плиті утворилось 6 тріщин. Руйнування конструкції настало після досягнення рівня навантаження в 2300 кг. Руйнування плити супроводжувалось неможливістю досягнення нового рівня навантаження та рівномірним наростанням прогинів. Також при випробуванні плит було відмічено проковзування арматурних канатів К-7, що призводило до пришвидшеного розкриття утворених тріщин. Графік прогинів плит показано на рис. 11

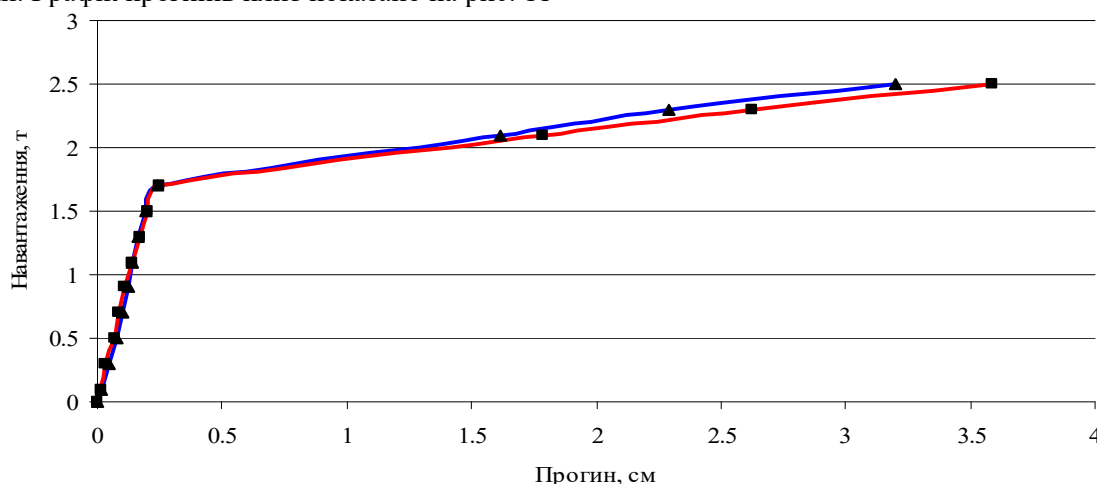


Рисунок 11 – Отримані прогини плит незнімної опалубки
Figure 11 – Deflection of permanent formwork slabs

Висновки та рекомендації.

Загалом зразки плиток незнімної опалубки з попередньо напруженим армуванням можна відмітити тільки підвищеною тріщиностійкістю, яка, зрозуміло, зумовлена використанням попереднього напруження арматури. Хоча варіант використання фібробетону [8], ймовірно, дасть кращі результати. Низька несна здатність пояснюється проковзуванням канату К-7 при досягненні певного рівня навантажень.

Враховуючи вищесказане можна зробити висновок про необхідність створення ефективного і малозатратного способу анкерування попередньо напруженої арматури в опорних зонах плит незнімної опалубки. На сьогодні дешевих анкерних пристроїв для таких задач практично немає, і наступним варіантом етапом дослідження використання таких плиток є спроба включення їх в сумісну роботу плити проїзної частини і використання канатів в якості робочої арматури уже збірно-монолітного перерізу.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Правила проектування. – К: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006.
2. ДБН В.2.3.-26:2010. Мости та труби. Правила проектування. – К: Мінрегіонбуд України, 2011.
3. Кот Д.В., Коваль М.П. Незнімна залізобетонна опалубка для плит проїзної частини мостів Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. Вип. 93. - К.: НТУ, 2015
4. Коваль П. М. Збірні залізобетонні балки для автодорожніх мостів типу "З Бет-90" та "З Бет-120" / П. М. Коваль, С. В. Стоянович // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: науково-технічний збірник. – Київ: НДІБМВ, 2009. – Випуск 33. – С. 128–134.
5. Precast concrete deck-to-girder mechanical connection for accelerated bridge construction by George Morcou, Raed Tawadrous PCI Journal. May–June 2020, p. 37-52.

6. The study of reinforced pseudo-ductile cementitious composite permanent formwork by Yu Changli THESIS 2014 Ph.D. Civil Engineering

7. Schreier, H. W. Investigation of two and three-dimensional image correlation techniques with applications in experimental mechanics /H. W. Schreier. – University of South Carolina, 2003. – 348 p.

8. Development of pseudo-ductile permanent formwork with glass fiber reinforced plastics reinforcements by Cao Qian. THESIS 2007. M.Phil. Civil Engineering DOI 10.14711

STUDY OF SAMPLES OF PERMANENT POST-TENSION REINFORCED CONCRETE FORMWORK SLABS FOR BRIDGES DECK

Kot Dmytro Vladyslavovych, Sciences, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structure, senior teacher, e-mail: kot_dmytro@icloud.com, +38063-3371079, <https://orcid.org/0000-0003-2790-1119>

Abstract. Shortening the terms of objects construction is one of the most important economic tasks in modern conditions. But it is worth considering the fact that fully prefabricated structures have a number of disadvantages that affect the further operation of the transport facility. Among them are problems related to the impossibility of ensuring reliable waterproofing of the prefabricated elements joints and as the result corrosion of concrete and reinforcement. Taking into account the experience of using prefabricated structures, domestic engineers, as well as foreign colleagues, came to the conclusion that monolithic and prefabricated-monolithic structures provide greater durability of the structure in general. That is why the use of prefabricated monolithic span structures in the construction of transport facilities has become widespread. The use of permanent formwork during the installation of a monolithic deck slab is a promising trend in modern bridge construction. This is especially relevant in the construction of overpasses and flyovers in dense urban areas, where the use of inventory scaffolding for slab concreting is impossible or significantly complicates existing traffic. Although permanent formwork has been used for many years, its work as a part of the structure has not been studied much. It is possible to cite many examples of use of permanent formwork both abroad and in domestic practice. Crack resistance is a pressing issue both individually of permanent formwork tiles and of the prefabricated monolithic in general. The article deals with formwork in the form of flat reinforced concrete slabs with pre-tension reinforcement. The production of such plates is quite economical, despite the use of prestressing, especially by the extrusion method, with subsequent cutting into segments of any shape and length. Study of the experience of using permanent formwork in different countries was the first stage of the research. In order to understand the expediency of using permanent formwork slabs, it is proposed to test samples of such slabs to determine their efficiency and suitability for further operation. The tests were carried out on a power bench with two concentrated forces using the "pure bending" method. The test results for such plates are also given in the article.

Key words: superstructure, reinforced concrete deck plate, permanent formwork.

References

1. DBN V.2.3-14:2006. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya. – K: Ministerstvo budiv-nytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva, 2006.
2. DBN V.2.3.-26:2010. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya. – K: Minrehionbud Ukrayi-ny, 2011.
3. Kot D.V., Koval' M.P. Permanent formwork for bridges deck slab. Roads and road construction: Scientific and technical collection. Vol. 93. - K.: NTU, 2015
4. Koval P. M. Zbirni zalizobetonni balky dlia avtodorozhnykh mostiv typu "3 Bet-90" ta "3 Bet-120" / P. M. Koval, S. V. Stoianovych // Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika: naukovy-tekhnichniy zbirnyk. – Kyiv: NDIBMV, 2009.
5. Precast concrete deck-to-girder mechanical connection for accelerated bridge construction by George Morcous, Raed Tawadrous PCI Journal. May–June 2020, p. 37-52.
6. The study of reinforced pseudo-ductile cementitious composite permanent formwork by Yu Changli THESIS 2014 Ph.D. Civil Engineering
7. Schreier, H. W. Investigation of two and three-dimensional image correlation techniques with applications in experimental mechanics /H. W. Schreier. – University of South Carolina, 2003. – 348 p.
8. Development of pseudo-ductile permanent formwork with glass fiber reinforced plastics reinforcements by Cao Qian. THESIS 2007. M.Phil. Civil Engineering DOI 10.14711