

УДК 624.21

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.158.2015.63002>

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МІСЬКИХ МОСТІВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

Кандидати техн. наук О.В. Лобяк, М.О. Ковальов, магістрант А.В. Оганесян

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ГОРОДСКИХ МОСТОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ С УЧЕТОМ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Кандидаты техн. наук А.В. Лобяк, М.О. Ковалев, магистрант А.В. Оганесян

IMPROVED METHODS OF CALCULATING SPANS OF CITY BRIDGES DURING THE RECONSTRUCTION TAKING INTO ACCOUNT STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS

Candidate of techn. sciences A. Lobiak, M. Kovalyov, masterstudent A. Oganessian

Проведено удосконалення методики комп'ютерного моделювання роботи балкової прогонової будови міського мосту при реконструкції за схемою пристрою залізобетонної накладної плити. Розрахунки передбачають послідовне зведення споруди по трьох стадіях з урахуванням нелінійних залежностей деформування бетону і повзучості.

Ключові слова: *накладна плита, прогонова будова, моделювання, стадії зведення, реконструкція, метод скінчених елементів, повзучість.*

Проведено усовершенствование методики компьютерного моделирования работы балочного пролетного строения городского моста при реконструкции по схеме устройства железобетонной накладной плиты. Расчеты предусматривают последовательное возведение сооружения по трем стадиям с учетом нелинейных зависимостей деформирования бетона и ползучести.

Ключевые слова: *накладная плита, пролетное строение, моделирование, стадии возведения, реконструкция, метод конечных элементов, ползучесть.*

An improvement of the methods of computer simulation of beam spans bridge city during the reconstruction scheme of the device for concrete slabs invoice. The calculations provide consistent construction of structures in three stages with non-linear dependency of concrete deformation and creep.

Keywords: *slip plate, superstructure, modeling, stage construction, reconstruction, finite element method, creep.*

За даними Державного агентства автомобільних доріг України, загальна протяжність мережі автошляхів України складає більше 172 тис. км. Крім того, у перспективі очікується як активне будівництво нових, так і реконструкція існуючих автомобільних доріг для можливості пропускання транспортних потоків з усе більшою інтенсивністю, а це призведе до збільшення навантаження на штучні споруди дорожньої мережі, до яких належать міські мости. У той же час відбувається постійна переробка норм і збільшення нормативних навантажень, на які повинні бути запроектовані

нові і реконструйовані існуючі мости. У свою чергу зміна будівельних норм і збільшення навантажень тягне за собою необхідність у посиленні прогонових будов мостів з приведенням їх несучої здатності у відповідність з вимогами. Крім того, у мостових конструкціях, що експлуатуються, постійно виникають різні дефекти і пошкодження, пов'язані як з впливом зовнішнього несприятливого середовища, так і з фізичним зносом споруди.

На сьогодні на дорогах України більше 90 % мостів мають конструкцію прогонових будов, виконану з застосуванням залізобе-

тонних балок довжиною до 24 м. Переважна більшість з них не задовольняє експлуатаційні вимоги, споживчі властивості потреби сучасного транспорту за державними нормами [1], у першу чергу за вантажопідйомністю, габаритом мостового полотна, безпекою та комфортністю руху.

Існує кілька способів збільшення несучої здатності залізобетонних прогонових будов мостів при реконструкції [2, 3, 4]:

- прибудування накладної плити з монолітного залізобетону з утворенням температурно-нерозрізної схеми прогонових будов;
- нарощування перетину нижньої розтягнутої арматури;
- прибудування шпренгельної системи зі сталевих профілів;
- прибудування системи з композитних матеріалів.

Найбільш поширеним і ефективним способом підсилення прогонових будов є застосування монолітної залізобетонної плити, включеної в спільну роботу з існуючими балками. Ефект у цьому випадку досягається за рахунок збільшення робочої висоти перерізу, а отже, підвищення в них граничних зусиль. Для збільшення раціональності накладної плити прогони, на яких вона влаштовується, необхідно перетворити з розрізної схеми в нерозрізну систему. Дане рішення призводить до зменшення додатних згинальних моментів у середній частині прогонів, а від'ємні моменти, що виникають у приопорних зонах накладної

плити, можуть бути сприйняті додатковою арматурою. Крім того, при влаштуванні нерозрізних систем вдається позбутися труднощів при експлуатації деформаційних швів.

Об'єднання існуючих елементів прогонових будов з монолітною залізобетонною накладною плитою виконується за допомогою арматурних анкерів, кількість яких визначається розрахунком. У деяких випадках можливе застосування гнучких упорів або полімерних обклеювальних матеріалів типу АСОКРЕТ КС/НГ [5].

Чисельна оцінка ефекту збільшення несучої здатності прогонової будови при влаштуванні накладної плити буде залежати від прийнятих технологічних схем ремонту та існуючого технічного стану конструкції. Беручи до уваги, що накладна плита при реконструкції мостів буде сприймати другу частину постійних і тимчасових навантажень, розрахунок прогонової будови слід виконувати в нелінійній постановці з урахуванням послідовності зведення споруди. При цьому на кожному етапі монтажу розрахунок повинен проводитися для відповідної конструктивної схеми прогонової будови, що містить змонтовані до цієї стадії елементи [6].

У відповідності з прийнятими передумовами пропонується методика розрахунку балкових прогонових будов з накладною плитою, яка враховує три стадії монтажу споруди (рис. 1).

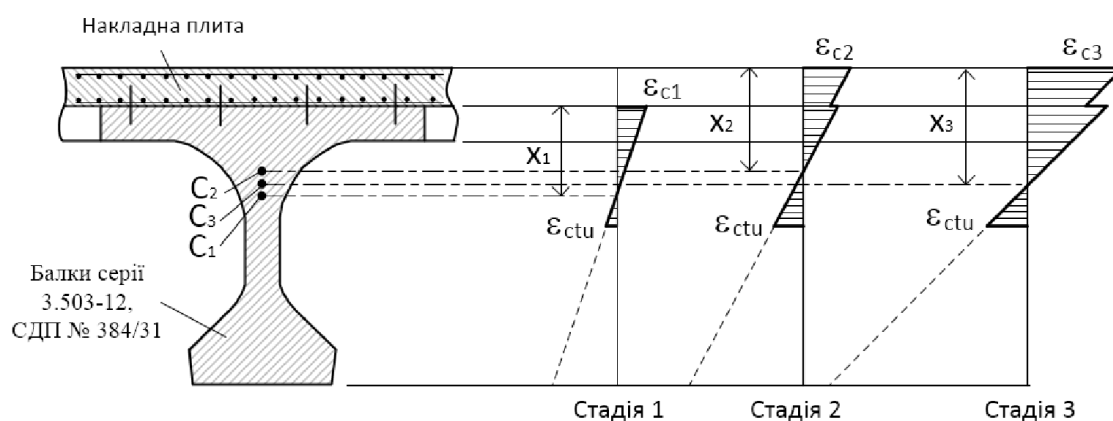


Рис. 1. Стадії роботи прогонової будови при реконструкції за схемою влаштування накладної плити

Перша стадія розрахунку передбачає навантаження існуючих елементів прогонової будови першою частиною постійних навантажень: власна вага, попередній натяг, вага накладної плити. На другій стадії в роботу включається накладна плита, перетин сприймає додаткові навантаження від ваги дорожнього одягу, тротуарних блоків, захисного шару та огорож. Третя стадія передбачає поєднання постійних і тимчасових навантажень. Оцінка несучої здатності в запропонованій постановці ведеться окремо для існуючих елементів прогонової будови і елементів підсилення з урахуванням перерозподілу зусиль між елементами перетину, нелінійної залежності деформування бетону і повзучості.

Сучасне проектування транспортних споруд припускає застосування програмних комплексів у якості основного інструменту комп'ютерного моделювання. Запропонована методика повною мірою реалізується засобами програмного комплексу «Ліра-САПР» [7, 8].

Велика бібліотека скінчених елементів (СЕ), підтримка нелінійних законів роботи матеріалів і потужні інструменти аналізу забезпечують необхідну функціональність при чисельному аналізі конструкцій з монолітного залізобетону.

Прикладом запропонованого багатостадійного моделювання служитимуть розрахунки міського моста, що входить до складу реконструйованих транспортних споруд у м. Харкові. Існуючий мост довжиною 58.6 м має габарит $G-11.7+0.82+0.81$ м, побудований за балковою розрізною бездіафрагмальною схемою 3×18 м. Відстань між внутрішніми гранями поруччя становить 13.77 м, містить у собі проїзну частину шириною 11.7 м. Початково міст розраховувався під навантаження Н-30 і НК-80, рік будівництва (за паспортом) – 1975.

У поперечному перерізі прогонові будови складаються з шести двотаврових попередньо напружених залізобетонних балок, виготовлених за типовим проектом серії 3.503-12, СДП № 384/31(рис. 2).

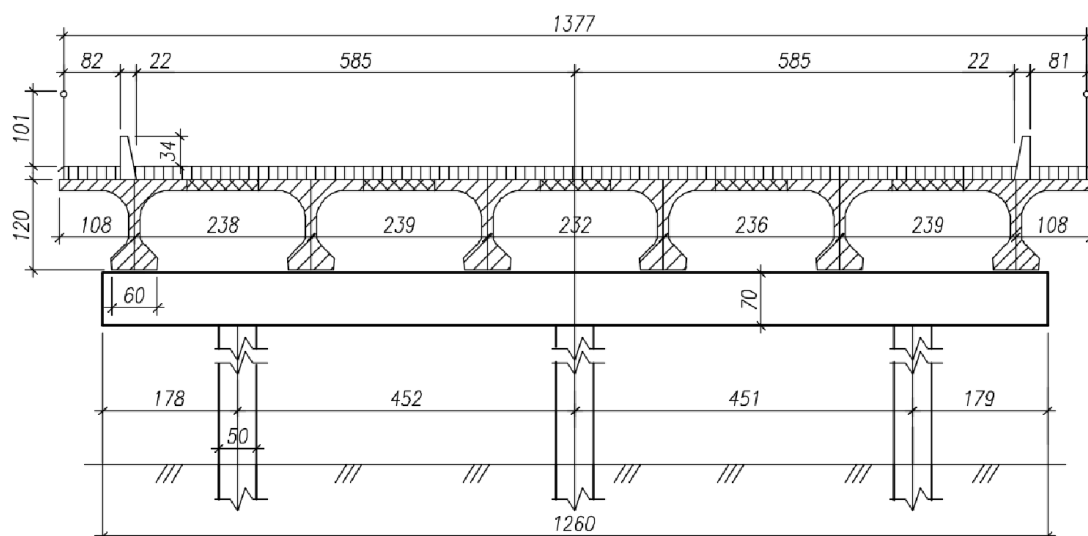


Рис. 2. Перетин прогонової будови до реконструкції

Поперечне об'єднання балок здійснено по монолітних швах. Обпирання балок прогонових будов здійснюється на гумово-металеві опорні частини. Мостове полотно складається з багат шарової конструкції проїзної частини з асфальтобетонним покриттям, парапетного залізобетонного огородження висотою 0.34 м і металевого звареного поручневого огородження висотою 1 м.

На підставі аналізу результатів обстеження мосту зроблено такі висновки: за попередніми розрахунками, відсутня відповідність проектних навантажень навантаженням від смуг А11, за діючими будівельними нормами; занижена висота парапетного, металевого бар'єрного й поручневого огорожень; несучу здатність додатково знижує наднормативна товщина

дорожнього одягу мостового полотна; зазначено неприпустиме порушення герметичності деформаційних швів і локальне руйнування захисного шару бетону.

Для відновлення експлуатаційної надійності й довговічності мосту і приведення його транспортно-експлуатаційних характеристик у відповідність з діючими будівельними нормами прийнято рішення щодо реконструкції.

За результатами передпроектного обстеження й виконаних розрахунків, балки прогонових будов виявилися ремонтпридатними й здатними експлуатуватися під навантаження А-11 і НК-80.

За прийнятим варіантом реконструкції, ремонт прогонових будов припускає розбирання конструкції мостового полотна до верху плити балок, прибутвання залізобетонної монолітної накладної плити, заміну опорних

частин, ремонт поверхні балок, влаштування нової конструкції мостового полотна, установлення металевих бар'єрних й поручневих огорожень, прибудовання елементів водовідведення й дренажу, влаштування деформаційних швів типу «ThomaJoint» (рис. 3). В існуючих балках прогонових будов проводиться відновлення захисного шару бетону й закладення відколів сумішшю «EMACO S88C» з наступним нанесенням матеріалу «MASTERSEAL 588».

Накладна плита товщиною 120-245 мм включається в спільну роботу з існуючими полками балок прогонової будови за допомогою анкерів на цементно-епоксидному розчині SikaGrout 311. Технологічно пристрій плити проводиться без попереднього розвантаження прогонових будов.

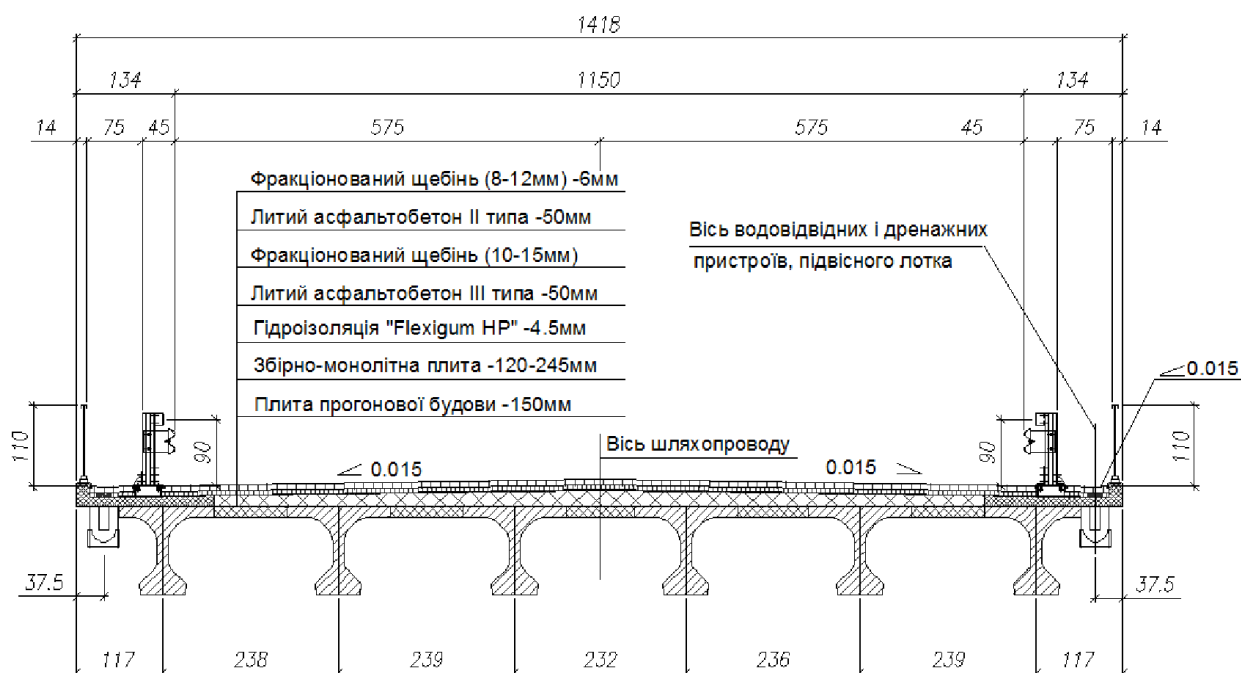


Рис. 3. Перетин прогонової будови після реконструкції

Розрахункова схема прогонової будови складена з фізично нелінійних СЕ пластин, що моделюють роботу накладної плити, стрижневих СЕ балок, «підвішених» до вузлів плити за допомогою першої групи жорстких вставок, а також другої групи жорстких вставок – для передачі зусиль попереднього натягу арматури балок (рис. 4).

Характеристики СЕ, що визначають роботу залізобетону, складені з урахуванням нелінійних діаграм деформування бетону й сталі. Відомо, що робота бетону у фізично нелінійних задачах описується нелінійним законом деформування, а арматури – діаграмою з фізичною площадкою текучості [9]. Однак можливість використання повних діаграм

деформування в ПК «Ліра-САПР» не реалізована – виключена можливість застосування спадної вітки деформування бетону й фізичної площадки текучості стали. Також не реалізована можливість прямого впливу на характеристики елементів, що мають початкові ушкодження. Моделювання роботи бетону можливо тільки за допомогою експонентних діаграм, використання яких досить добре визначає роботу неушкоджених матеріалів на першому відрізку повних діаграм

деформування [10]. У зв'язку з цим для формування більш точної розрахункової моделі з урахуванням первісних ушкоджень: виконувалося зниження класу бетону відповідно до результатів даних неруйнуючого контролю міцності з одночасним виключенням з роботи бетону на розтягання. При цьому облік тривалих процесів реалізується у відповідності зі ступеневу залежністю за правилами, визначеними в EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures.

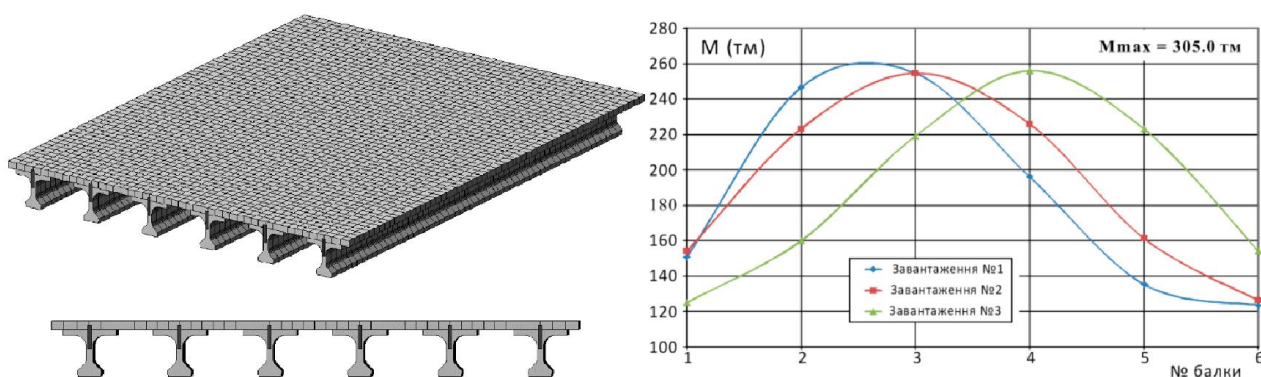


Рис. 4. Скінчено-елементна модель прогонової будови та лінії зусиль у балках

Тимчасові навантаження прийнято за схемами А-11 і НК-80. Результати розрахунків подано у вигляді ліній зусиль (моментів) для різного положення смуг навантаження А11 у поперечному напрямку проїзної частини: для крайнього положення (Завантаження 1) із прив'язкою 1.5 м від бордюру до осі візка крайньої смуги; проміжного положення (Завантаження 2) із прив'язкою 1.8 м від бордюру до осі візка крайньої смуги; центрального положення (Завантаження 3) з прив'язкою 2.1 м від бордюру до осі візка крайньої смуги.

Закон зміни напружень по висоті на останній стадії навантаження визначає частку згинального моменту, який припадає на накладну плиту. Згинальний момент, що сприймається існуючими балками, визначається різницею повного моменту і моменту, що припадає на накладну плиту.

Як показують розрахунки, моделювання послідовності монтажу прогонової будови призводить до зменшення впливу накладної плити на несучу здатність споруди після

реконструкції. Частка повного згинального моменту, що виникає від усіх постійних навантажень і сприйманого накладної плитою, складає 3 %, те саме від навантаження за схемою А-11 (з урахуванням пішоходів) – 14 %, для навантаження НК-80 – 11 %.

Результати розрахунків також визначено у вигляді мозаїки підібраної площі арматури (рис. 5). У результаті найбільша площа арматур досягає 20.1 см², що відповідає сітці Ø16 з кроком 100 класу А400С2.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розроблена скінчено-елементна модель і на її основі методика моделювання балкових прогонових будов дозволили встановити справжню несучу здатність мосту при реконструкції та призначити раціональну конструкцію підсилення для відповідності навантаженням НК-80 та А-11. Запропоновані технічні заходи можуть бути запроваджені для використання при проектуванні штучних споруд дорожньої мережі України.

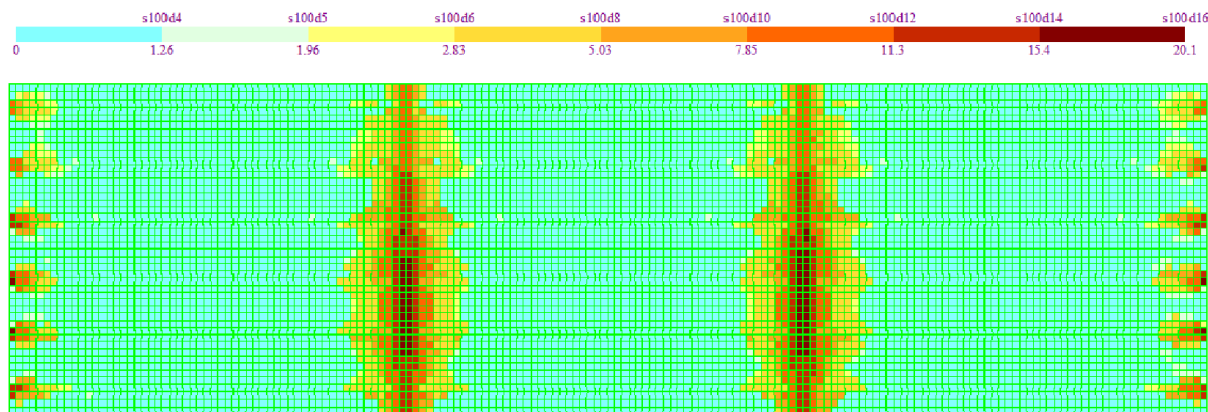


Рис. 5. Повздовжня арматура у верхній грані накладної плити

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.3-22:200. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.standartpark.ua>dbn_v23_22_2009.
2. Страхова, Н.Е. Експлуатація і реконструкція мостів [Текст] / Н.Е. Страхова, В.О. Голубев, П.М. Ковальов, В.В. Тодиріка. - К.: Транспортна академія України, 2002. – 403 с.
3. Поливанов, В.И. Проектирование и расчет железобетонных и металлических автодорожных мостов [Текст] / В.И. Поливанов. – М.: Транспорт, 1970. – 516 с.
4. Лучко Й.Й. Мости: конструкції та надійність [Текст]: довідник / Й.Й. Лучко, П.М. Коваль, М.М. Корнієв [та ін.]; за ред. В.В. Панасюка і Й.Й. Лучка; Нац. академія наук України. Фіз. -мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка. – Львів: Каменяр, 2005. – 989 с.
5. Тодиріка, В.В. Усиление пролетного строения моста накладной плитой [Текст] / В.В. Тодиріка, А.А. Давіденко, А.Г. Доля, Д.И. Бородай // Вісник донецької національної академії та архітектури. Сучасні будівельні матеріали. – 2001. - Вип. 87. – С. 177-180.
6. Лобяк, А.В. Уточненна методика моделювання пролетних строєнь мостов при усилєнні накладної железобетонної плитой [Текст] / А.В. Лобяк, В.В. Сердюк // 36. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. Харків: УкрДАЗТ, 2013. - Вип. 138. – С. 244-251.
7. Городецкий, Д.А. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013: учеб. пособие / Д.А. Городецкий, М.С. Барабаш, Р.Ю. Водопьянов [и др.]; под ред. А.С. Городецкого. – М., 2013. – 376 с.
8. Барабаш, М.С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства [Текст] / М.С. Барабаш. – К., 2014. – 265 с.
9. Чихладзе, Е.Д. Опір матеріалів [Текст]: підруч. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напр. підготов. "Будівництво" / Е.Д. Чихладзе. Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 366 с.
10. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Издательство «Факт», 2007. – 394 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Д.А. Плугін

Лобяк Олексій Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-70. E-mail: Lobiak@ukr.net.

Оганесян Армаїс Вартікесович, магістрант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Український державний університет залізничного транспорту.

Ковальов Максим Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-70. E-mail: Lobiak@ukr.net.

Lobiak Alexey, Ph.D., Department of structural mechanics and hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-70. E-mail: Lobiak@ukr.net.

Oganesyanyan Armais, master student of the department of building materials, structures and facilities Ukrainian State University of Railway Transport.

Kovalyov Maxim, Ph.D., Department of structural mechanics and hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-70.

Наукова праця здана до друку 18.09.2015 р.