

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПІДСИЛЕННЯ ДІАФРАГМОВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ НА ЇХНЮ ПРОСТОРОВУ РОБОТУ

Бережна К. В., Краснов С. М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Для аналізу просторової роботи прогонових будов, зведених відповідно до ТП 56, створено скінченно-елементні моделі з огляду на сумісну роботу, використовуючи сталеві наклади. Розглянуто всі варіанти прольотів та габаритів типового проекту та два варіанти підсилення. Наведено аналіз впливу підсилення балок на їхню просторову роботу.

Ключові слова: діафрагмові прогонові будови, підсилення, скінченно-елементна модель, зведена жорсткість, графіки прогинів і згинальних моментів.

Вступ

Нині збірні залізобетонні мости складають значну частину від всього мостового парку (65 %). Вік більшості споруд обчислюється багатьма десятиліттями. Більша кількість мостів в Україні побудовано в 60–70 роки (це приблизно 8,7 тисяч споруд, що складає 54 % від їхньої загальної кількості). У зв'язку з цим зростає кількість випадків виявлення різноманітних типів пошкоджень елементів конструкцій мостів, які в перспективі можуть або вже спровокували аварійні ситуації та порушення безпечної експлуатації споруд. Надійність і довговічність мостів визначається не тільки умовами їхньої експлуатації, але й своєчасним і якісним здійсненням робіт з діагностики та ремонту. Накопиченню дефектів сприяє думка про те, що залізобетонні мости, яких на дорогах більше, можуть функціонувати 100 років, а отже, не вимагають поточного догляду та ремонту. На сьогодні згідно з даними Укравтодору, обстежено 35 % від всіх мостів, з яких 2 % справні, 10,6 % обмежено справні, 57,8 % працездатні, 26,9 % обмежено працездатні, 2,7% непрацездатні. Крім того, більшість мостів та шляхопроводів на дорогах України були побудовані згідно зі старими технічними нормами і нині не відповідають вимогам ДБН В.2.3-14: 2006 та ДБН В.2.3-22: 2009 як за вантажопідйомністю, так і за габаритами проїзної частини. Тільки 36 % мостових споруд відповідають сучасним стандартам. Тому питання посилення наявних прогонових будов є актуальним на сьогодні.

Аналіз публікацій

На штучні споруди, що експлуатуються, постійно впливають транспортні навантаження та різноманітні види природних явищ, які поступово знижують міцність і надій-

ність, а отже, обмежують термін функціонування споруд [1–4]. Збільшення несної здатності прогонових будов під час ремонту та реконструкції є важливим завданням, що є актуальним у всьому світі [1, 5–8]. Використання нових матеріалів та технологій викликає значне зацікавлення, таким чином, їхнє використання є питанням, яке необхідно дослідити. Аналіз архіву звітів з обстеження більш ніж півтори тисячі мостів та шляхопроводів у Харківській та інших областях науково-дослідної лабораторії кафедри мостів ХНАДУ дав можливість вибрати як об'єкт дослідження діафрагмові прогонові будови, що є одними з найбільш розповсюджених. Крім того, діафрагмові прогонові будови знаходяться в гіршому стані, ніж бездіафрагмові, тому для дослідження вибрано прогонові будови, зведені відповідно до типового проекту № 56 «Пролетные строения железобетонные сборные с каркасной арматурой периодического профиля» [9].

Мета і постановка задачі

У роботі здійснено аналіз впливу підсилення діафрагмових прогонових будов на їхню просторову роботу з метою визначення ефективності посилення наклеюванням додаткової жорсткої арматури та встановленням додаткових поперечних металевих балок.

У дослідженні вирішувались такі завдання:

- створення адекватної скінченно-елементної моделі діафрагмової прогонової будови;
- обмеження кількості варіантів розрахункових схем до оптимальної кількості;
- побудова та аналіз графіків згинальних моментів та прогинів у поперечному перерізі в середині прольоту прогонових будов.

Аналіз просторової роботи діафрагмових прогонових будов з підсиленням

Найпоширенішим є метод посилення балок прогонових будов наклеюванням поверхневої арматури (зовнішнім армуванням). Цей метод є одним з найпростіших щодо технології здійснення робіт. Він не потребує встановлення опалубки та бетонування, на відміну від методу збільшення поперечного перерізу, та не потребує важкого щодо технологій створення попереднього напруження, як метод з попереднім напруженням зовнішніх елементів. Він не вимагає встановлення додаткових опорів, як метод зі зміною розрахункової схеми. Використання звичайних сталевих профілів є більш звичайним та доступним на відміну від посилення композиційними матеріалами, тому в цьому дослідженні проаналізовано саме цей метод.

Типовий проект № 56 містить прогонові будови з розрахунковими прольотами 8,4 м, 11,1 м, 13,7 м, 16,3 м, 21,6 м. Балки армовані ненапруженою арматурою періодичного профілю на навантаження Н-13 і НГ-60 (один варіант армування) та Н-18 і НК-80 (другий варіант армування). Сумісна робота балок прогонових будов здійснюється за допомогою металевих накладок, які з'єднують закладні деталі, що розташовані на верхній поверхні плити та в нижній частині діафрагм. Поєднання балок у поперечному перерізі дає можливість отримати габарити Г-6, Г-7, Г-8 з шириною тротуарів 0,75 м та 1,5 м. Для отримання таких перерізів зводять балки з кроком 1,4 м, їхня кількість залежно від габариту проїзної частини та тротуару може становити від 5 до 8.

Як базове рішення підсилення використано схеми з наклеюванням швелерів до ребра балки та додатковим кріпленням похилими кінцевими тяжами з гладкої арматури. Також проаналізовано дві схеми посилення прогонових будов, які відповідно до наявних типових рішень повинні поліпшити розподільчу здатність між балками завдяки збільшенню поперечної жорсткості конструкції. Розглянута схема поєднує посилення балок наклеюванням швелерів та встановлення поперечної балки. Для балок з прольотами 8,4 м та 11,1 м у середині прольоту встановлюється один двотавр, для балок з прольотами 13,7 м, 16,3 м та 21,6 м – два двотаври.

Для аналізу необхідно створити моделі різних прогонових будов з різними прольотами, варіантами навантаження, за різними схемами та з різною кількістю балок. Все це

призводить до великої кількості завдань, тобто до великої кількості матеріалів для аналізу. Тому необхідно, якщо є можливість, зменшити кількість варіантів пошуку.

Якщо використовувати всі вихідні дані, то отримаємо таку кількість завдань:

- п'ять різних прольотів: 8,4 м, 11,1 м, 13,7 м, 16,3 м, 21,6 м;
- три габарити проїзної частини: Г-6, Г-7, Г-8;
- два габарити тротуарів: 0,75 м та 1,5 м;
- два типи армування балок під різні навантаження: Н-13 і НГ-60 та Н-18 і НК-80;
- три типи конструкції: без посилення, з посиленням поздовжніми швелерами, з посиленням поздовжніми швелерами та поперечними балками.

Якщо розглянути всі ці варіанти, то необхідно створити 180 моделей прогонових будов. Крім того, кожна модель має містити декілька варіантів навантаження. Якщо розглянути сучасні навантаження А15 та НК-100, то це призведе до додаткового збільшення кількості отриманих даних, а зміна розміщення рухомого навантаження за шириною габариту збільшує ці результати ще в два рази. Тому було прийнято рішення розглянути один варіант армування балок під навантаження – Н-13 та НГ-60. З 6 варіантів моделей, різних залежно від поперечного перерізу, розглянуто чотири варіанти: Г-6 з 5 балок, Г-7 з 6 балок, Г-8 з 7 балок та Г-8 з 8 балок. Вибрано прольоти 11,1 м, 16,3 м та 21,6 м як найбільш розповсюджені, тобто кількість завдань зменшено до 36. У кожному завданні розглянуто 4 варіанти навантаження: А15 та НК-100 з максимальним наближенням до тротуару; А15 та НК-100, розташованих вздовж осі прогонової будови.

Для аналізу напружено-деформованого стану прогонової будови до та після посилення вибрано програмний комплекс «Ліра». Створення моделі є важливим етапом процесу розрахування, тому принцип створення скінченно-елементної моделі діафрагмової прогонової будови розглянуто в дослідженні [10]. У цій роботі розглянуто найпростіший та наближений до реальності спосіб створення моделі діафрагмової прогонової будови.

Вибрана модель складається зі стрижневих та пластинчастих скінченних елементів. У цій моделі враховується з'єднання між балками металевими накладними пластинами. Між пластинчастими та стрижневими елементами, з яких складається одна балка, передбачено додаткові елементи, шириною 1 см, які моделюють шов між балками.

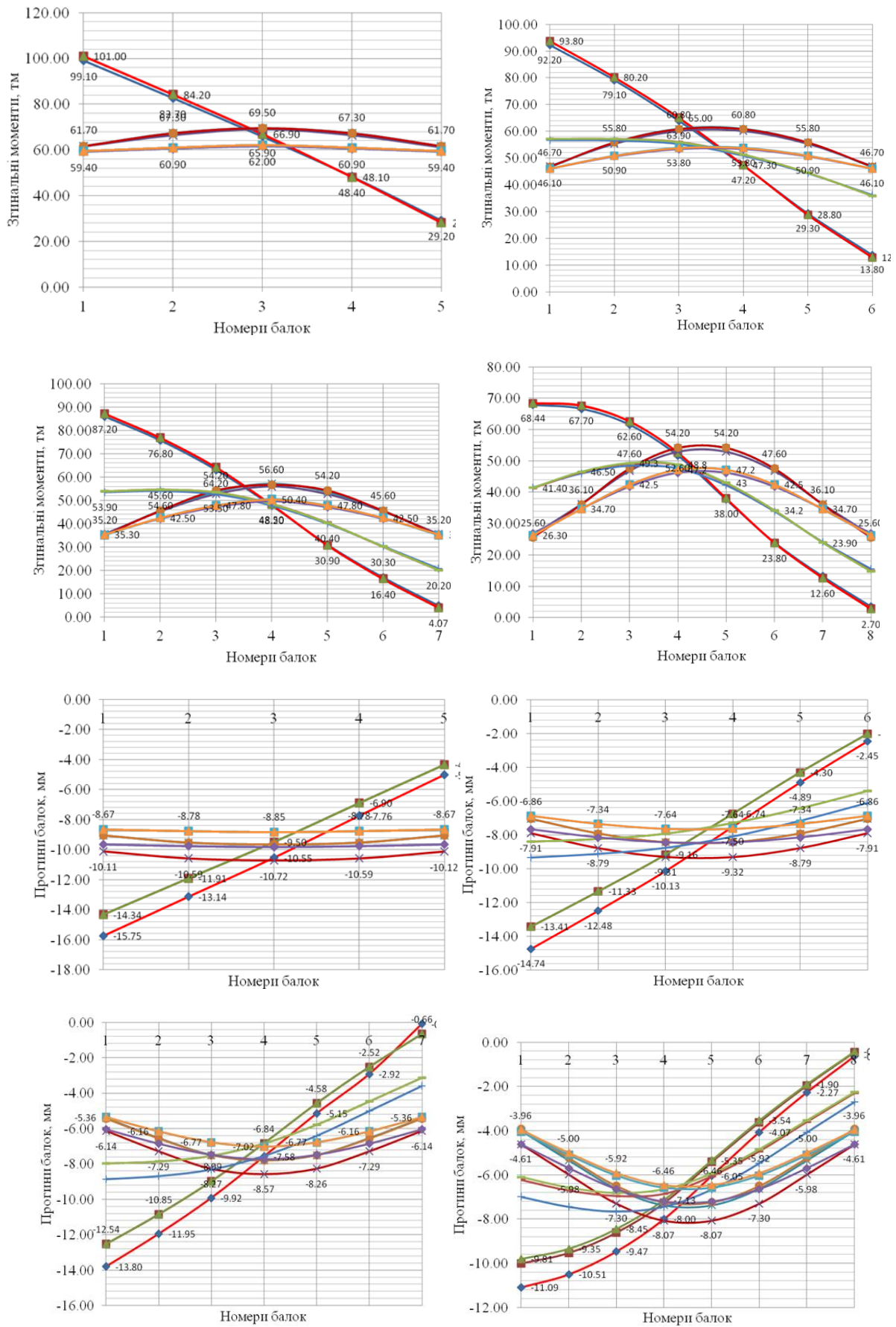


Рис. 1. Графіки максимальних згинальних моментів та прогинів у балках з прольотом 16,3 м, габаритом Г-6 з 5 балок, Г-7 з 6 балок, Г-8 з 7 балок та Г-8 з 8 балок

Модель містить стрижневі елементи, що моделюють металеві накладки між балками, тавровий переріз, який складається з 6 накладок (без врахування відстані між ними) та модуль пружності сталі. Шов між балками, крім стрижневих елементів, містить пластини, які моделюють шари покриття між балками, пластинчасті елементи з відповідною товщиною та модулем пружності. Модуль пружності матеріалу стрижневих елементів, що моделюють балки та діафрагми, вводиться з огляду на проектне армування прогонових будов. Товщина пластинчастих елементів, які моделюють плити, прийнята з огляду на шари покриття проїзної частини, а модуль пружності задано з огляду на арматуру та шари покриття.

На моделі задано навантаження А15 та НК-100 з відстанями, максимально наближеними до тротуару та навантаження вздовж осі мосту.

За результатами розрахування 36 моделей побудовано графіки максимальних моментів та прогинів всередині прольоту за шириною прогонової будови. Для наочності отриманих результатів наведено графіки для балок, прольотом 16,3 м з різною кількістю балок у поперечному перерізі (рис. 1).

Висновки

Графіки розподілу згинальних моментів у балках прогонової будови для габариту Г-6 (5 балок) поділяють на три групи, які поєднує тільки тип та розташування навантаження в поперечному напрямку. Наявність посилення не впливає на значення згинального моменту. Під час розміщення навантаження вздовж осі мосту розподілення зусиль у балках є більш рівномірним.

Зі збільшенням габариту Г-7 (6 балок), Г-8 (7 балок) та Г-8 (8 балок) створюється чотири групи графіків, які також поєднує тільки тип та розташування навантаження в поперечному напрямку. Наявність посилення не впливає на значення згинального моменту, а розподіл зусиль між балками прогонових будов зі зростанням їхньої кількості стає менш рівномірним.

Аналіз графіків прогинів балок всередині прольоту демонструє, що за значеннями прогини поділяються на такі типи: для всіх видів навантаження графіки прогинів з посиленням, що накладаються один на одного, тобто додаткове посилення поперечною балкою не впливає на величину і розподіл прогинів прогонової будови; графік прогинів балок без посилення (з більшими значеннями).

Графіки прогинів балок у разі збільшення їхньої кількості стають менш рівномірними.

Значення прогинів без посилення для всіх варіантів навантаження та габаритів залишаються більшими, ніж прогини з посиленням, однак додавання поперечної балки на величину та тип розподілу прогинів не впливає.

Література

1. D5.3 Needs for maintenance and refurbishment of bridges in urban environments URL https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/213995/local_213995.pdf (дата звернення: 10.05.2021).
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування ДБН В.2.3-6:2009. (Чинні від 2010-03-01). Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 43 с. (Державні будівельні норми України).
3. Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів: ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. (Чинні від 2013-12-01). Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. 45 с. (Національний стандарт України).
4. National cooperative highway research program report 293 methods of strengthening existing highway bridges URL https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_293.pdf (дата звернення: 13.05.2021).
5. Innovative Bridge Design Handbook (Construction, Rehabilitation and Maintenance) /Editors: Alessio Pipinato. Butterworth-Heinemann, 2015. 878 p.
6. Mohiuddin A. Khan Bridge and Highway Structure Rehabilitation and Repair 2010 The McGraw-Hill Companies, Inc. URL <https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/bridge-and-highway-structure-rehabilitation-and-repair> (дата звернення: 23.04.2021).
7. Iain L Kennedy Reid Concrete Bridge Strengthening and Repair. 2009. 111 p.
8. Report on Techniques for Bridge Strengthening URL <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/pubs/hif18041.pdf> (дата звернення: 20.04.2021).
9. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56. Пролетные строения железобетонные сборные с каркасной арматурой периодического профиля. Москва, 1968 г. 56 с.
10. Краснов С. М., Бережна К. В. Урахування сумісної роботи балок у скінченно-елементній моделі діафрагмової прогонової будови. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожного університета. Вип. 85. Харків, 2019. С. 42–49.

References

1. D5.3 Needs for maintenance and refurbishment of bridges in urban environments URL <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext>

- t/213995/local_213995.pdf (Last accessed: 10.05.2021).
2. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprovuvannia DBN V.2.3-6:2009. (Chynni vid 2010-03-01). Kiev: Minrehionbud Ukrainy, 2009. 43 s. (Derzhavni budivelni normy Ukrainy) [in Ukrainian].
 3. Sporudy transportu. Nastanova z otsiniuvannia i prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv: DSTU-N B V.2.3-23:2012. (Chynni vid 2013-12-01). Kiev: Minrehionbud Ukrainy, 2013. 45 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy) [in Ukrainian].
 4. National cooperative highway research pro-gram report 293 methods of strengthening existing highway bridges URL https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_293.pdf (Last accessed: 13.05.2021)
 5. Innovative Bridge Design Handbook (Construction, Rehabilitation and Maintenance) /Editors: Alessio Pipinato. Butterworth-Heinemann, 2015. 878 p.
 6. Mohiuddin A. Khan Bridge and Highway Structure Rehabilitation and Repair 2010 The McGraw-Hill Companies, Inc. URL <https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/bridge-and-highway-structure-rehabilitation-and-repair> (Last accessed: 23.04.2021)/
 7. Iain L Kennedy Reid Concrete Bridge Strengthening and Repair. 2009. 111 p.
 8. Report on Techniques for Bridge Strengthening URL <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/pubs/hif18041.pdf> (Last accessed: 20.04.2021).
 9. Tipovye proekty sooruzhenij na avtomobil'nyh dorogah. Vypusk 56. Proletnye stroeniya zhelezobetonnye sbornye s karkasnoj armaturoj periodicheskogo profilya. Moskva, 1968. 56 s. [in Russian].
 10. Krasnov S. M., Berezna K. V. Urakhuvannia sumisnoi roboty balok u skinchenno-elementnii modeli diaframovoi prohonovoi budovy. Vestnyk Kharkovskoho natsyonalnoho avtomobylnno-dorozhnoho unyversyteta. Vyp. 85. Kharkiv, 2019. S. 42–49 [in Ukrainian].

Бережна Катерина Вікторівна, к.т.н., доцент, доцент каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В. О. Російського, beregna@gmail.com, тел. +38 057-707-37-22

Краснов Сергій Миколайович, к.т.н., доцент каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В. О. Російського, krasnov56@ukr.net, тел. +38 057-707-37-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Analysis of the effect of reinforcement of diaphragm spans on their spatial work

Abstract. Problem. A large number of bridges in Ukraine have been built in the 60–70 s (about 54 % of the total number). In that regard, the number of cases of detecting various types of damage on the elements of bridge structures is increasing, which can cause emergencies in the future. It also suggests that most of the bridges and overpasses were built according to the old technical standards and now do not meet the modern standards of DBN V.2.3-14: 2006 and DBN V.2.3-22: 2009, both in terms of carrying capacity and dimensions of the roadway. Therefore, the issues of strengthening the existing spans are relevant. **Goal.** The work analyzes the effect of reinforcement of diaphragm spans on their spatial work in order to determine the effectiveness of reinforcement by gluing additional rigid reinforcement and installing transverse metal beams. The tasks that have been solved in the work are as follows: creating an adequate finite element model of the diaphragm span; limiting the number of options for design schemes to the optimal number; construction and analysis of the graphs of bending moments and deflections in the cross-section in the middle of the span of beams. **Results.** The graphs of the distribution of bending moments in the beams of the superstructure for different dimensions show that the presence of reinforcement does not affect the value of the bending moment, and the distribution of forces between the beams of the superstructure becomes less uniform with an increase in their number. The deflections for all load cases and dimensions are greater than the deflections of beams with reinforcement; however, the installation of an additional transverse metal beam does not affect the values and distribution of deflections. Beam deflection graphs become less uniform with an increase in their number. **Practical value.** Analysis of the effect of reinforcement on the spatial work of span structures has shown that only reinforcement of beams with longitudinal rigid reinforcement without installing transverse beams is expedient in practice.

Keywords: diaphragm spans, reinforcement, finite element model, reduced stiffness, graphs of deflections and bending moments.

Berezna Katerina Ph.D., associate professor, associate professor of Department of Bridges, Constructions and Building Mechanics named after V.O. Rosiiskyi, beregna@gmail.com, tel. +38 057-707-37-22

Krasnov Sergey Ph.D., associate professor of Department of Bridges, Constructions and Building Mechanics named after V.O. Rosiiskyi, krasnov56@ukr.net, tel. +38 057-707-37-22

Kharkiv National Automobile and Highway University 61002, Ukraine, Kharkov, Yaroslava Mudrogo st,25.