

УДК 624.042.8:624.872

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕОРЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ТА НАТУРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ НАПЛАВНОГО МОСТУ

ГОРБАТЮК Ю. М.^{1*}

СОЛДАТОВ К. І.²

АРТЬОМОВ В. Є.³

^{1*}Кафедра “Мости”, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 339 41 28, e-mail: KVP@DSST.gov.ua

²Кафедра “Мости”, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (096) 527 26 01, e-mail: KVP@DSST.gov.ua

³Дослідна лабораторія “Dynamics & Structures, Lab.”, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (050) 457 68 19, e-mail: v.artomov@gmail.com

Анотація. Мета статті. Навести порівняння результатів теоретичних розрахунків осадки наплавних мостів від навантаження від рухомого складу та автомобільної техніки під час проведення широкомасштабного натурального випробування. Обґрунтувати запропоновані методики теоретичних методів розрахунку осадки наплавних мостів. **Методика.** У роботі застосовано порівняльний метод, як метод розрахунку використано інженерний комплекс Belinda Structure 2014, номер ліцензії GUN-DN20142015. **Результати.** Порівняння числових розрахунків із даними натурних експериментів в абсолютній більшості випадків підтвердило адекватність та коректність запропонованої статико-динамічної моделі розрахунку. Запропонована розрахункова модель може бути рекомендована для використання у задачах динамічного аналізу наплавних мостів та інших плавучих систем. **Наукова новизна.** Дослідження дозволяє зробити новий крок у методиці розрахунку наплавних мостів. **Практична значимість.** Отримані результати дозволяють застосовувати теоретичні методи розрахунку як норми та рекомендації для розрахунку наплавних мостів, оскільки нормативних документів із проектування наплавних мостів в Україні не існує.

Ключові слова: наплавні мости, порівняння результатів, прогонові будівлі, експеримент, навантаження.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ И НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НАПЛАВНОГО МОСТА

ГОРБАТЮК Ю. М.^{1*}

СОЛДАТОВ К. И.²

АРТЕМОВ В. Е.³

^{1*}Кафедра “Мости”, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 339 41 28, e-mail: KVP@DSST.gov.ua

²Кафедра “Мости”, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 339 41 28, e-mail: KVP@DSST.gov.ua

³Исследовательская лаборатория “Dynamics & Structures, Lab.”, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (050) 457 68 19, e-mail: v.artomov@gmail.com

Аннотация. Цель статьи. Привести сравнение результатов теоретических расчетов осадки наплавных мостов от нагрузки от подвижного состава и автомобильной техники при проведении широкомасштабного натурального испытания. Обосновать предложенные методики теоретических методов расчета осадки наплавных мостов. **Методика.** В работе применен сравнительный метод, в качестве метода расчета использован инженерный комплекс Belinda Structure 2014, номер лицензии GUN-DN20142015. **Результаты.** Сравнение числовых расчетов с данными натурных экспериментов в абсолютном большинстве случаев подтвердило адекватность и корректность предложенной статико-динамической модели. Предложенная расчетная модель может быть рекомендована для использования в задачах динамического анализа наплавных мостов и других плавучих систем. **Научная новизна.** Исследование позволяет сделать новый шаг в методике расчета наплавных мостов. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют применять теоретические методы расчета в качестве норм и рекомендаций при расчете наплавных мостов, поскольку нормативных документов по проектированию наплавных мостов в Украине не существует.

Ключевые слова: наплавные мосты, сравнение результатов, пролетные строения, эксперимент, нагрузка.

THE ANALYSIS OF RESULTS OF THEORETICAL CALCULATIONS AND NATURAL EXPERIMENTS OF FLOATING BRIDGE

GORBATIUK Yu. M.^{1*},
SOLDATOV K. I.²,
ARTEMOV V. Ye.³

^{1*} Dep. "Bridges", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 339 41 28, e-mail KVP@DSST.gov.ua

^{2*} Dep. "Bridges", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 527 26 01, e-mail KVP@DSST.gov.ua

^{3*} Research laboratory "Dynamics & Structures, Lab.", Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (050) 457 68 19, e-mail: v.artomov@gmail.com

Summary. Purpose. The publication compares the results of theoretical calculations of precipitation of floating bridges from the load of the rolling stock and motor vehicles during the large-scale full-scale tests. The purpose of the research is a justification of the proposed theoretical methods for calculating precipitation of floating bridges. **Methodology.** The comparative method is used in the paper, as a method for calculation the engineering complex Belinda Structure 2014 is used, license number is GUN-DN20142015. **Findings.** Comparison of numerical calculations of data of natural experiments in most cases confirmed the adequacy and accuracy of the proposed static-dynamic model. The proposed calculation model can be recommended for use in tasks of dynamic analysis of floating bridges and other floating systems. **Originality.** Research allows to make a new step to the method of calculation of floating bridges. **Practical value.** Obtained results allow to use the theoretical methods of calculation as the rules and tips in the calculation of floating bridge, because there are no regulations for the design of floating bridges.

Keywords: floating bridges, comparison of results, spans, experiment, load.

Вступ. Проведені раніше та наведені попередніх статтях [2; 4; 10; 11] дослідження показали, що наплавні залізничні мости залишаються в Україні унікальною транспортною спорудою, яка забезпечує переправу через водні перешкоди залізничного рухомого складу та автомобільної техніки, як у мостовому, так і в поромному варіанті [4; 14]. Крім того, їх використання доцільне не лише в інтересах оборони, а і в мирний час в інтересах економіки держави [1; 3], особливо в умовах ліквідації наслідків техногенних та природних катастроф, під час будівництва позакласних і великих мостів [10].

З метою перевірки результатів теоретичних досліджень у вересні 2012 року були проведені натурні випробування реальної конструкції наплавного мосту НЗМ-56 через водну перешкоду довжиною 325 м із пропуском залізничного рухомого складу та автомобільної техніки [4]. Випробування проводились галузевою науково-дослідною лабораторією штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Мета даного дослідження – порівняння результатів теоретичних досліджень із результатами натурних випробувань для підтвердження достовірності запропонованих теоретичних моделей і методів розрахунку наплавних мостів.

Методика. Верифікацію і перевірку коректності запропонованої статико-динамічної моделі проведено шляхом порівняння результатів числового розрахунку з результатами натурних експериментів наплавного мосту НЗМ-56, які відображено у [4]. Згідно з одним з етапів випробувань, за допомогою тягового тепловоза ТУ-2 по залізничній колії наплавного мосту було переправлено п'ять платформ із військовою технікою (рис. 1) [11]. Отже, скоригована модель навантаження містить 22 вертикальні зосереджені сили, які рухаються зі швидкістю $v_x = 10$ км/год (рис. 2) [8]. Дослідження поведінки наплавного мосту за більших швидкостей руху наведені у праці [2], але вони є теоретичними.



Рис. 1. Проїзд залізничного рухомого складу (тяговий тепловоз ТУ-2 та п'ять платформ із військовою технікою)

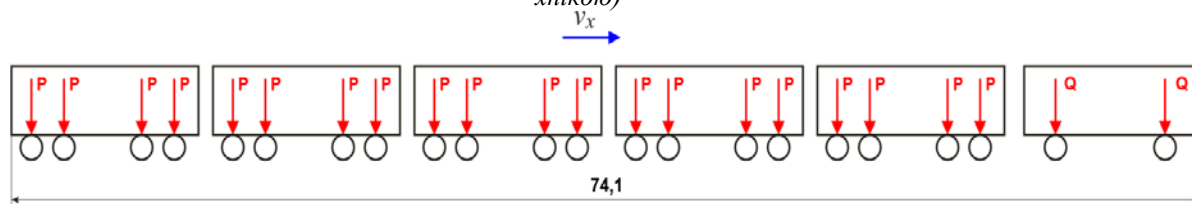


Рис. 2. Схема залізничного навантаження для порівняльної статико-динамічної моделі наплавного мосту НЗМ-56

Під час моделювання загальна вага рухомого складу прийнята ідентичною тій, що застосовувалась у випробуваннях – 2080 кН. Відповідні зосереджені зусилля складають $P = 92,0$ кН, $Q = 120,0$ кН. У даній розрахунковій моделі, на відміну від [12], не враховуємо аеродинамічні сили (сили опору вітру) та дисипативні властивості водного середовища (швидкість течії у річці також приймається рівною нулю) тільки з метою

наближення умов моделювання до умов натурних випробувань [13]. Але використана програма дозволяє їх урахування. Як видно з отриманих графіків коливань системи (рис. 3, 4), максимальне переміщення понтонів у вертикальній площині сягає 93,4 см (постійне та тимчасове навантаження), а максимальна осадка від впливу рухомого складу – 41,0 см.

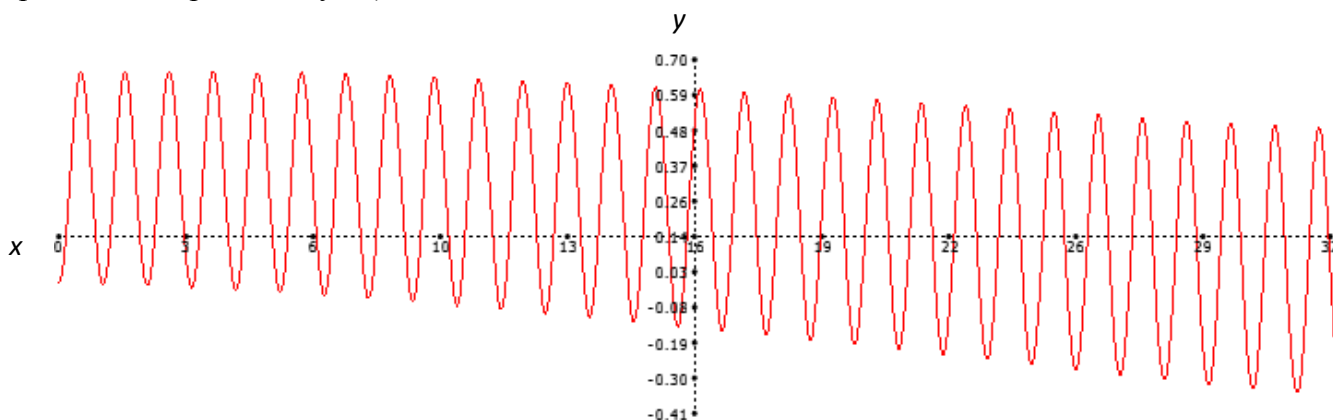


Рис. 3. Осадка наплавного мосту у проміжку часу 0...32 с (вісь X – час, с; вісь Y – вертикальне переміщення, м)

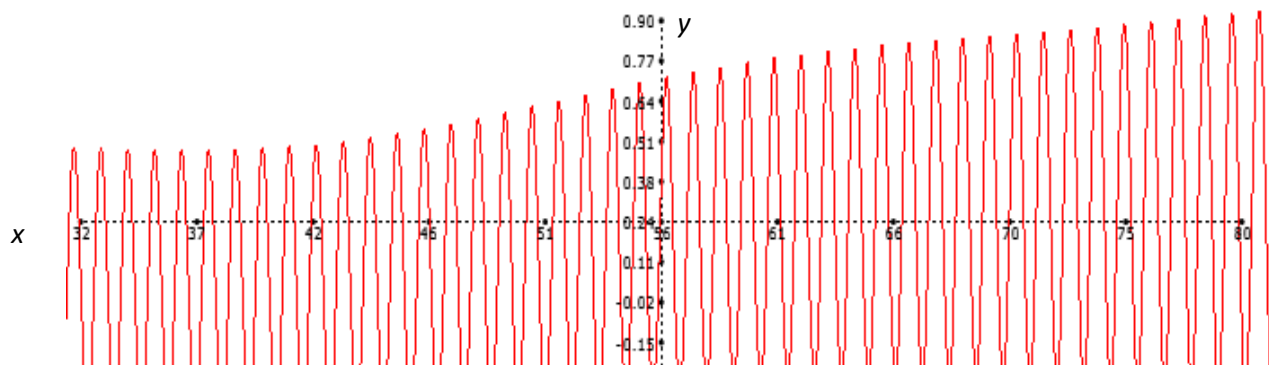


Рис. 4. Осадка наплавного мосту у проміжку часу 32...80 с (вісь X – час, с; вісь Y – вертикальне переміщення, м)

Порівнюючи ці дані з результатами, отриманими в натурних випробуваннях, маємо такі незначні величини відносних відхилень:

$$\Delta_{\max} = \frac{93,4 - 90,3}{90,3} \cdot 100\% = 3,4\%;$$

$$\Delta_{\min} = \frac{37,7 - 34,7}{34,7} \cdot 100\% = 8,6\%. \quad (1)$$

Така розбіжність свідчить про те, що розрахункова модель адекватна реальній системі [2]. Оскільки під час випробувань

по мосту рухалась також автомобільна транспортна техніка (рис. 5), далі наведено схеми навантаження від одиночних автомобілів (рис. 6).

Зосереджене зусилля, яке припадає на вісь звантаженого автомобіля ГАЗ-63, складає 28 кН; для автомобіля КамАЗ – 84 кН; для автомобіля КраЗ – 102 кН; для автомобіля ЗіЛ-130 – 53 кН [7].

Розрахункові моделі даних автомобілів наведені на рисунку 6.



Рис. 5. Проїзд одиночних автомобілів під час натурних випробувань

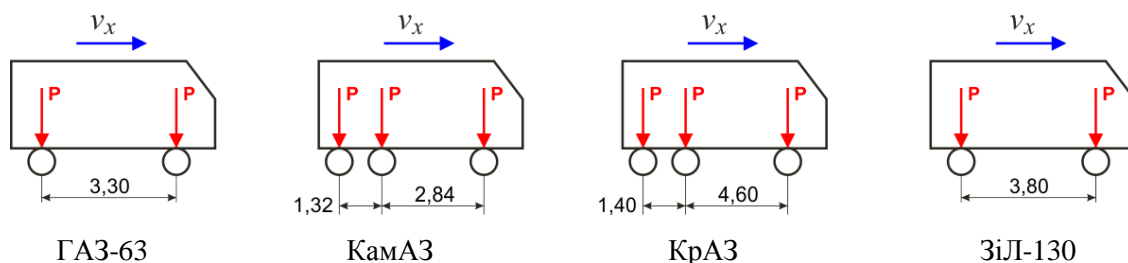


Рис. 6. Розрахункові моделі одиночних вантажних автомобілів

У результаті числового аналізу динамічної поведінки мосту під час руху двох зосереджених сил (які моделюють колісне навантаження від автомобіля ГАЗ-63) отримано такі величини вертикальних осадок мосту (рис. 7):

нтаження від автомобіля ГАЗ-63) отримано такі величини вертикальних осадок мосту (рис. 7):

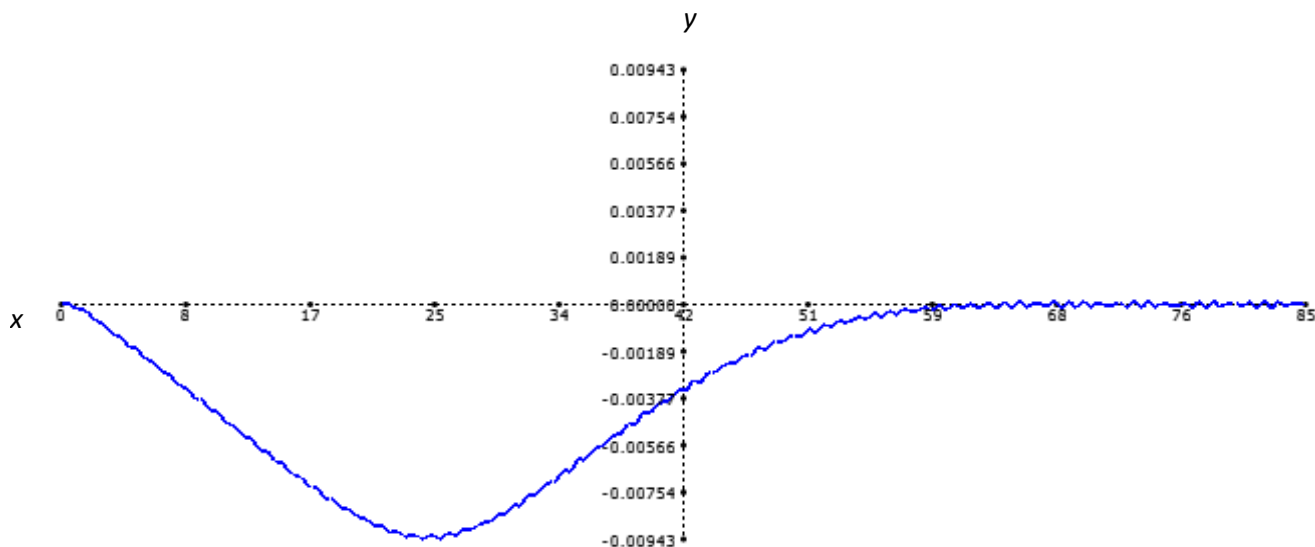


Рис. 7. Осадка наплавного мосту від одиночного автомобіля ГАЗ-63 (вісь X – час, с; вісь Y – вертикальне переміщення, м)

Порівнюючи ці дані з результатами натурних випробувань, маємо таку величину відносних відхилень:

$$\Delta_{\min} = \frac{8,44 - 7,83}{7,83} \cdot 100\% = 7,8\%. \quad (2)$$

Аналогічний числовий аналіз динамічної поведінки мосту під час руху трьох зосереджених сил (які моделюють колісне

навантаження від автомобілю КамАЗ) отримано значне збільшення величини осадок мосту (рис. 8).

Порівнюючи ці дані з результатами натурних випробувань, маємо також незначну величину відносних відхилень:

$$\Delta_{\min} = \frac{36,7 - 35,1}{35,1} \cdot 100\% = 4,6\%. \quad (3)$$

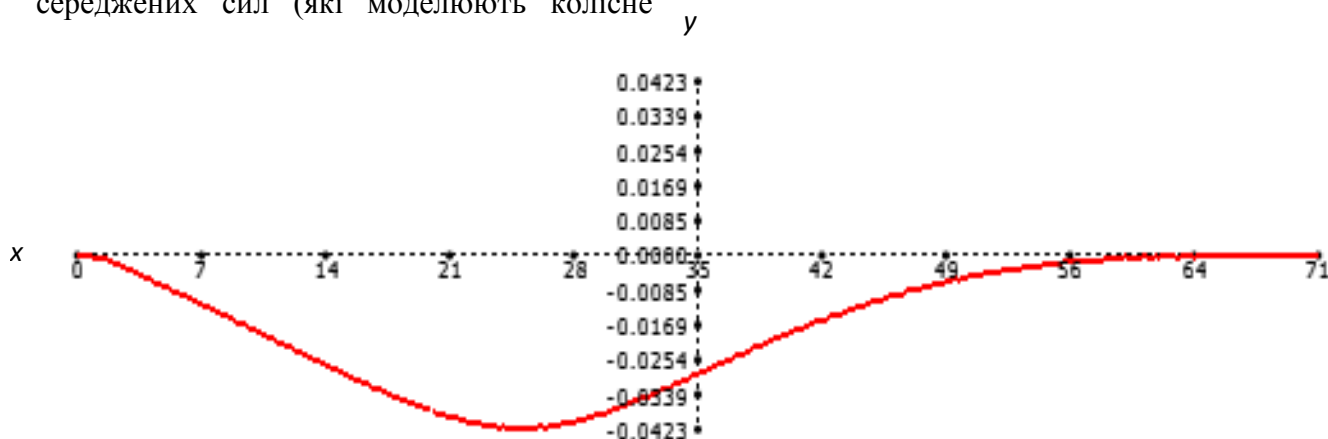


Рис. 8. Осадка наплавного мосту від одиночного автомобіля КамАЗ (вісь X – час, с; вісь Y – вертикальне переміщення, м)

Числовий аналіз динамічної поведінки наплавного мосту під час руху трьох зосереджених сил (які моделюють колісне наванта-

ження від автомобіля КрАЗ) отримані аналогічні попереднім величини осадок мосту (рис. 9).

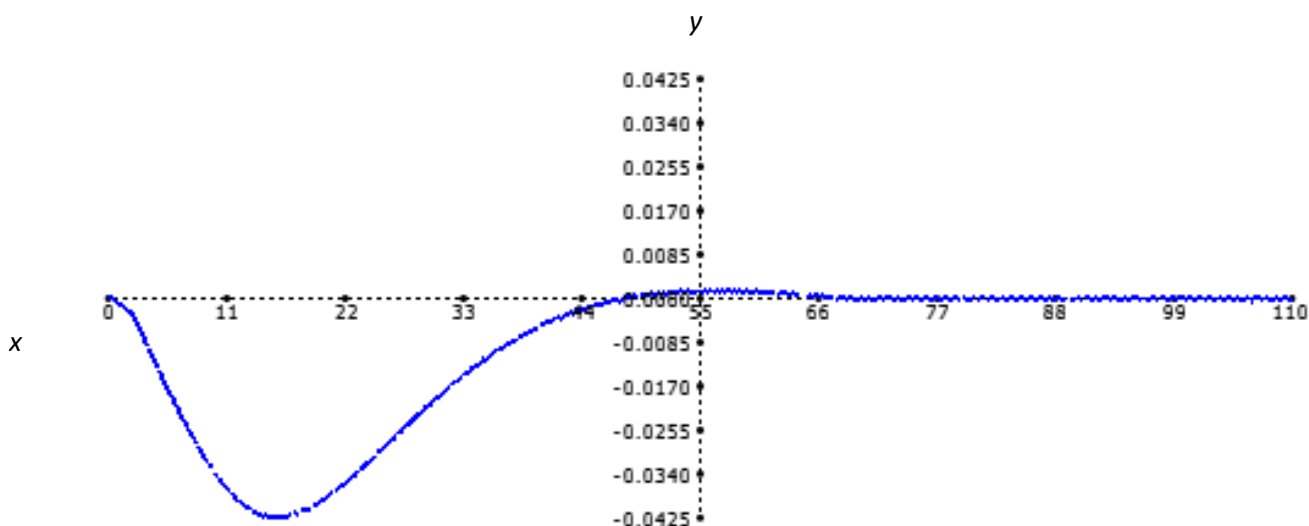


Рис. 9. Осадка наплавного мосту від одиночного автомобіля КраЗ (вісь X – час, с; вісь Y – вертикальне переміщення, м)

Порівнявши теоретичні величини із результатами натурних випробувань, маємо незначну величину відносних відхилень:

$$\Delta_{\min} = \frac{40,5 - 38,5}{38,5} \cdot 100\% = 5,2\%. \quad (4)$$

Завдяки числовому аналізу динамічної поведінки мосту під час руху двох зосереджених сил (моделюють колісне наванта-

ження від автомобіля ЗіЛ-130) отримано наступні величини теоретичних та експериментальних осадок мосту (рис. 10).

Маємо таку величину відносних відхилень:

$$\Delta_{\min} = \left| \frac{14,8 - 13,6}{13,6} \right| \cdot 100\% = 8,8\%. \quad (5)$$

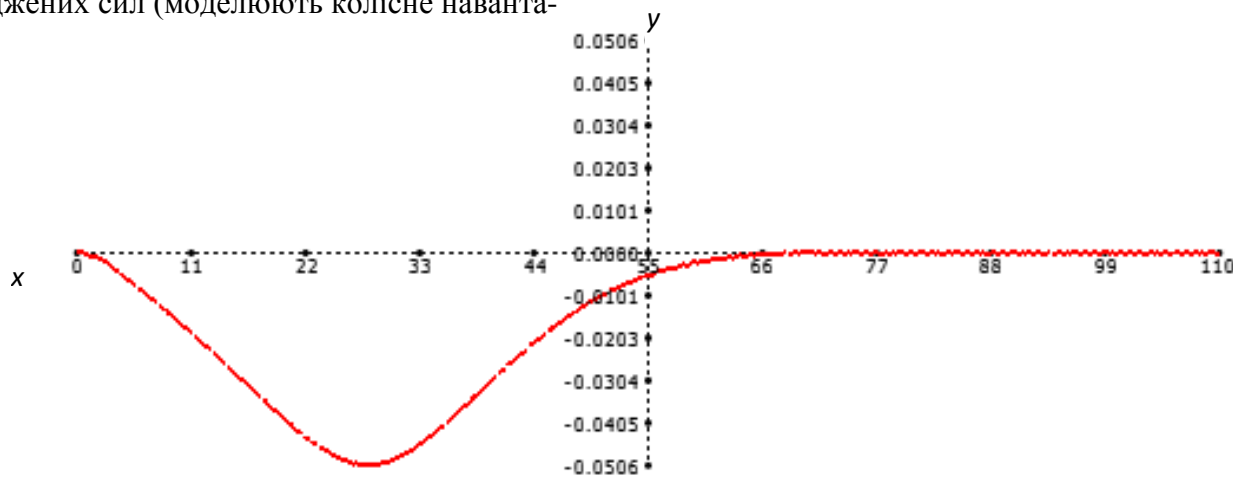


Рис. 10. Осадка наплавного мосту від одиночного автомобіля ЗіЛ-130 (вісь X – час, с; вісь Y – вертикальне переміщення, м)

За результатами випробувань та розрахунків можна побудувати графік осадки системи понтон – прогонова споруда від рухомого навантаження (теоретична крива та експериментальна).

Отримання прямої залежності осадки від ваги автомобіля (зосереджених сил, які зводимо до неї) свідчить про достовірність результатів як теоретичних так і експериментальних розрахунків.

У даному випадку виконано додатковий аналіз. Якщо порівняти результати, отримані для двох двоколісних навантажень (ГАЗ-63 та ЗіЛ-130), відношення осадки від них складає $x_1 = 1,75$, а відношення навантаження $x_2 = 1,89$, тобто розбіжність незначна – 7,4%.

Аналогічно і для автомобілів, що мають три вісі (КамАЗ та КраЗ): $x_1 = 1,10$, $x_2 = 1,21$ і розбіжність – 9,1 %.

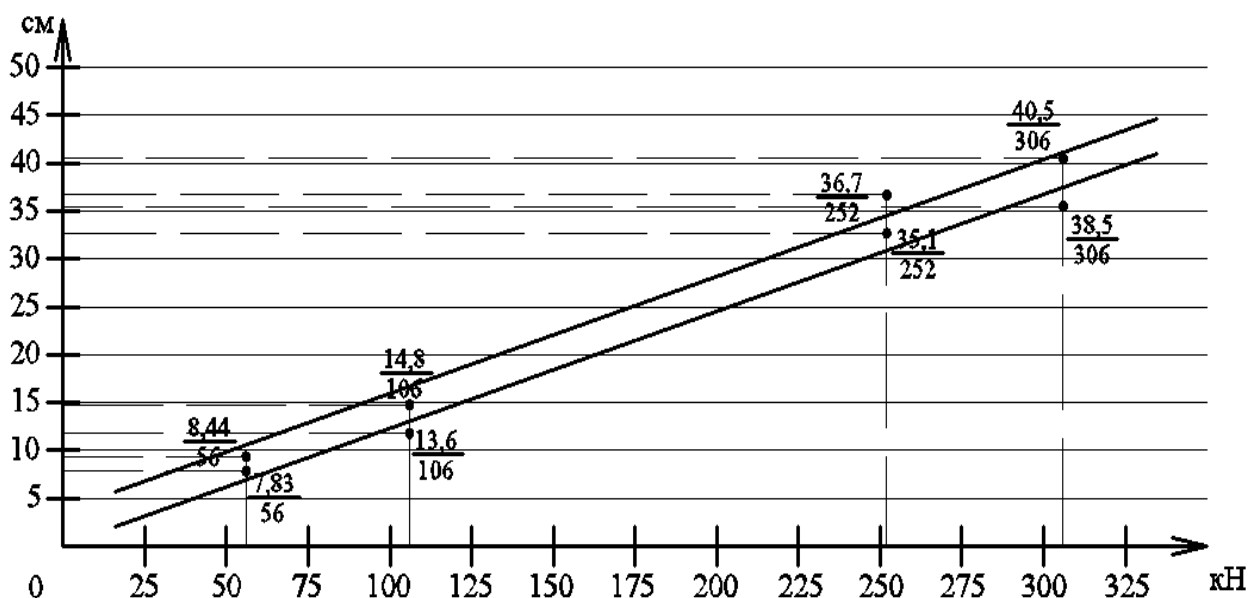


Рис. 11. Графік залежності осадки від рухомого навантаження (автомобілів)

Результати. З’ясовано, що найбільші амплітуди осадок та відповідні їм максимальні згинальні моменти у перерізах прогонової споруди отримано у моделях із низькою швидкістю руху поїздів (близько 10 км/год.) [8].

Цей висновок справедливий для наплавних мостів під залізничне навантаження звичайного руху (до 160 км/год.) [6], однак не підтверджується для швидкісного та високошвидкісного руху [5], де вплив швидкості на напружено-деформований стан системи стає домінуючим.

Визначено амплітуди вертикальних переміщень у перерізах прогонової споруди наплавного мосту. **Наукова новизна та практична значимість.** Збіг числових розрахунків із даними натурних експериментів підтвердив адекватність та коректність статико-динамічної моделі, яка запропонована у статті.

Висновок. Запропонована розрахункова модель може бути рекомендована для використання у задачах динамічного аналізу наплавних мостів та інших плавучих систем [4; 9].

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимова О. Л. Модель нормування рівнів рентабельності в будівництві / О. Л. Герасимова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 151-154.
2. Горбатюк Ю. М. До питання допустимої швидкості руху поїздів по наплавних мостах / Ю. М. Горбатюк, К. І. Солдатов, В. Є. Артёмов // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 6. – С. 24-34.
3. Горбатюк Ю. М. Конструкції мостів для швидкого наведення в екстремальних умовах / Ю. М. Горбатюк, В. М. Косяк, С. І. Олефіренко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 16. – С. 90.
4. До питання нормування статичного навантаження на наплавні мости / К. І. Солдатов, Ю. М. Горбатюк, С. В. Ключник, М. К. Журбенко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 4. – С. 89-97.
5. Горбатюк Ю. М. Конструкції мостів для швидкого наведення в екстремальних умовах / Ю. М. Горбатюк, В. М. Косяк, С. І. Олефіренко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 16. – С. 90.
6. До питання нормування статичного навантаження на наплавні мости / К. І. Солдатов, Ю. М. Горбатюк, С. В. Ключник, М. К. Журбенко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 4. – С. 89-97.

6. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003, IDT) : ДСТУ-НБ EN 1991-2:2010. – Надано чинності 2014-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. – 217 с.
7. Інструкція з визначення умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах : ЦП-0093 / Головн. упр. кол. госп-ва Укрзалізниці. – Київ, 2002. – 301 с.
8. Краткий автомобильный справочник / [отв. за вып. А. И. Понизовкин] ; Гос. науч.-исслед. ин-т автомобильн. трансп. – Изд. 10-е, перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1985. – 220 с.
9. Наплавной железнодорожный мост НЖМ-56. Техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации / Гл. упр. ж.-д. войск. – Москва : Военное изд-во, 1977. – 343 с.
10. Солдатов К. І. До питання динамічної роботи наплавних мостів / К. І. Солдатов, Ю. М. Горбатюк, Д. О. Курильченко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип 2. – С. 83-91.
11. Солдатов К. І. Перспективи модернізації конструкцій наплавних мостів НЖМ-56 / К. І. Солдатов, Ю. М. Горбатюк // Державна спеціальна служба транспорту – історія і сьогодення. Перспективи та пріоритети розвитку : монографія кол. авт. / наук. ред. А. В. Радкевич. – Дніпропетровськ, 2013. – 123-143 с.
12. Солдатов К. І. Шляхи удосконалення конструкції наплавних мостів / К. І. Солдатов, Ю. М. Горбатюк // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип 5. – С. 92-97.
13. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи : ДБН В. 1.2-15:2009. – Чинні від 2010-03-01. – Київ : Мін регіон буд. України, 2009. – 66 с.
14. Computation of Impact Factor of High-Speed Railway Bridge by KTX Train Riding Test / Hyejin Yoon, Won Jong Chin, Jae Yoon Kang, Jongwon Kwark, Eui-Seung Hwang // Engineering. – 2013. – № 5. – P. 751-755.
15. UK Military Bridging – Floating Equipment / posted by Think Defence. – 2011. – Режим доступа: <http://www.thinkdefence.co.uk/2011/12/uk-military-bridging-floating-equipment/>. – Загл. с экрана. – Проверено: 22.04.2015.

REFERENCES

1. Gerasimova O. L. Model normuvannya rivniv rentabelnosti v budivnytstvi [Model valuation levels of profitability in construction]. *Visnyk DNUZT im ak. Lazariana* – Bulletin DNURT named after ak. Lazarian. Dnipropetrovsk, 2011, no.37, pp. 151-154. (in Ukrainian).
2. Gorbatyuk Yu. M. Do pytannya dopustymoi shvydkosti rukhu po naopavnykh mostakh [To the question of permissible speed of trains on the floating bridges]. *Mosty i tuneli: Teoriya, doslidzhennia, praktyka DNUZT im ak. Lazariana* – Bridges and tunnels: theory, research, practice DNURT named after ak. Lazarian. Dnipropetrovsk, no.6, pp. 24-34. 9 99 (in Ukrainian).
3. Gorbatyuk Yu. M. Konstruktsii mostiv dlya shvydkogo navedenni v ekstremalnykh umovakh [Construction of bridges for quick guidance in extreme conditions]. *Visnyk DNUZT im. ak. Lazariana* – Bulletin DNURT named after ak. Lazarian. Dnipropetrovsk, 2007, no.16, pp. 90. (in Ukrainian).
4. Soldatov K. I., Gorbatyuk Yu. M. Do putannya normuvannya statychnogo navantazhennia na naplavni mosty [To the issue of rationing static load on the floating bridges]. *Mosty ta tuneli: teoriia i praktyka praktyka, DNUZT im ak. Lazariana* – Bridges and tunnels: theory, practice DNURT named after ak. Lazarian. Dnipropetrsvsk 2013, no. 4, pp. 89-97. (in Ukrainian).
5. Yevrokod 1. Dii na konstytutsii. Chastyina 2. Rukhomi navantazhennia na moty (EN 1991-2:2003, IDT): DSTU-NB- EN 1991. – Nadano chynnosti 2014-07-01. [Eurocode 1. Actions to constitution. Part 2. Moving loads on bridges (EN 1991-2: 2003, IDT): SSN NB EN 1991, dated 2014.07.01]. Kyiv, Minregionbud Ukrainy 2013, 217p. (in Ukrainian).
6. *Instruktsiia z vyznachennia umov propusku rukhomogo skladu po metalevykh ta zalizobetonnykh zaliznychnykh mostakh: TsP-0093* [Instructions to determine the conditions of admission of rolling stock on metal and concrete railway bridges: CB-0093]. Kyiv, 2002. 301p. (in Ukrainian).
7. *Kratkiy avtomobil'ny spravochnik NIIAT* [Short car guide]. Gos. nauchny issled. institut avtomob. transporta – SSRIT. Moscow, Transport, 1985, 220p. (in Russian).
8. *Naplavnoy zheleznodorozhny most NZhM -56. Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po montazhu i perevozke, khraneniuyu i ekspluatatsii* [Floating railway bridge NZHM-56. Technical description and installation instructions, transportation, storage and operation]. Moscow, Voennoe izdatel'stvo, 1977. 343 p. (in Ukrainian).
9. Soldatov K. I. *Do pytannya dynamichnoi roboty naplavnykh mostiv* [To the issue of dynamic floating bridges]. *Mosty i tuneli: Teoriya, doslidzhennia, praktyka DNUZT im ak. Lazariana* – Bridges and tunnels: theory, research, practice DNURT named after ak. Lazarian. Dnipropetrovsk, 2012, no.2, pp.83-91. (in Ukrainian).
10. Soldatov K. I. *Perspektyvy modernizatsii konstruktsiy naplavnykh mostiv* [Prospects for modernization of structures floating bridge NZhM-56]. Derzhavna spetsialna sluzhba transportu – istoriya i sogodennia.

- Perspektyvy ta priorytety rozvytku: monografiya- State Special Transport Service - history and present. Prospects and Priorities of development: Monograph Dnipropetrovsk, 2013, pp. 123-143 (in Russian).
11. Soldatov K. I. *Shlyakhy udoskonalennya konstruksiy naplavnykh mostiv* [Ways of improving the design of floating bridges] *Mosty i tuneli: Teoriya, doslidzhennia, praktyka DNUZT im ak. Lazariana* – Bridges and tunnels: theory, research, practice DNURT named after ak. Lazarian. Dnipropetrovsk, 2014, no.5, pp. 92-97. (in Ukrainian).
 12. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy : DBN V. 1.2-15:2009. - Chynni vid 2010-03-01.* [Transport facilities. Bridges and pipes. Loads and effects: DBN V. 1.2-15: 2009]. Kyiv, Min region bud. Ukraïni, 2009. 66 p. (in Ukrainian).
 13. Computation of Impact Factor of High-Speed Railway Bridge by KTX Train Riding Test / Hyejin Yoon, Won Jong Chin, Jae Yoon Kang, Jongwon Kwark, Eui-Seung Hwang . Engineering. 2013, no. 5, pp. 751-755. UK Military Bridging – Floating Equipment / posted by Think Defence. – 2011. –Available at: <http://www.thinkdefence.co.uk/2011/12/uk-military-bridging-floating-equipment/>. – Загл. с екрана. – Проверено: 22.04.201

Стаття рекомендована до друку 28.04.2015 р. Рецензент: д. т. н., проф. Д. Банніков.
 Надійшла до редколегії: 04.05.2015 р. Прийнята до друку: 18.05.2015 р.