

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.042.8: 624.872

К. І. СОЛДАТОВ^{1*}, Ю. М. ГОРБАТЮК², С. В. КЛЮЧНИК³, М. К. ЖУРБЕНКО⁴

^{1*} Каф. «Мости», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (096) 527 26 01, ел. пошта kim-kim@i.ua

² Каф. «Мости», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 339 41 28, ел. пошта Yuri.Gorbatyuk@gmail.com

³ Каф. «Мости», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 367 34 34, ел. пошта SSSeR 05@ukr.net

⁴ ГНДЛ штучних споруд, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 122 71 63

ДО ПИТАННЯ НОРМУВАННЯ СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАПЛАВНІ МОСТИ

Мета. Метою даної роботи є дослідження статичної роботи наплавних мостів під реальним навантаженням шляхом розробки методики розрахунків, яка б була підкріплена експериментальними даними. **Методика.** Для дослідження роботи наплавного мосту під статичним навантаженням з метою його нормування вибрана методика експериментально-теоретичного дослідження. Теоретичні розрахунки виконані по схемі нерозрізної конструкції на пружних опорах (понтонів) або на пружній основі. **Результати.** На основі аналізу даних розрахунків та випробувань на реальному об'єкті, встановлено, що теоретичні прогини незначно відрізняються від отриманих при випробуваннях. **Наукова новизна.** У даному випадку дуже важливим є те, що теоретичні дослідження підкріплені масштабним експериментом на реальному об'єкті з реальним навантаженням. **Практична значимість.** Проведене експериментально-теоретичне дослідження дає змогу користуватись даною методикою розрахунків наплавних мостів і при проектуванні подібних конструкцій отримувати надійні результати.

Ключові слова: понтон; наплавні мости; жорсткість; прогин; переміщення; завантаження

Наплавні мости призначені для організації тимчасових переправ через водні перешкоди при аварійних ситуаціях (зливи, повені), коли зруйновано капітальні споруди (мости, труби), або під час ремонту постійних мостів для забезпечення перебазування техніки, будівельних конструкцій та матеріалів на протилежний берег. У зв'язку з зміною кліматичних умов на планеті стихійні лиха завдають значної шкоди, руйнуючи в першу чергу мостові споруди за рахунок того, що основний потік води іде саме по руслу річок. Якщо раніше таке спеціальне майно для наведення тимчасового наплавного мосту використовувалось в основному у військах, то на сучасному етапі його необхідно широко застосовувати у ситуаціях при стихійних лихах.

Найчастіше для зведення наплавного мосту використовувалось майно НЖМ-56, яке призначалось для наведення залізничних мостів та па-

ромних переправ через широкі та глибокі водні перешкоди. Таке майно знаходиться на балансі військових частин. На сучасному етапі воно повинно бути також зосереджене і у службі Міністерства з надзвичайних ситуацій. Його базування повинно бути розміщене на територіях, які найчастіше підвернені стихійним лихам, а по іншій території рівномірно із розрахунку швидкої доставки до місця стихійного лиха.

Існуюче майно НЖМ-56 складається з двох основних частин: опор і прогонових будов. Опори в свою чергу поділяють на проміжні плавучі (понтони) та берегові лежні і жорсткі підйомні. Прогонові будови пристосовані для використання як під автошляхове навантаження так і під залізничне. Довжина прогонових будов (секції) складає 6,25 м з умов можливості швидкого їх перебазування до місця автомобільним або залізничним транспортом. Схема наплавного мосту наведена на рис. 1.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

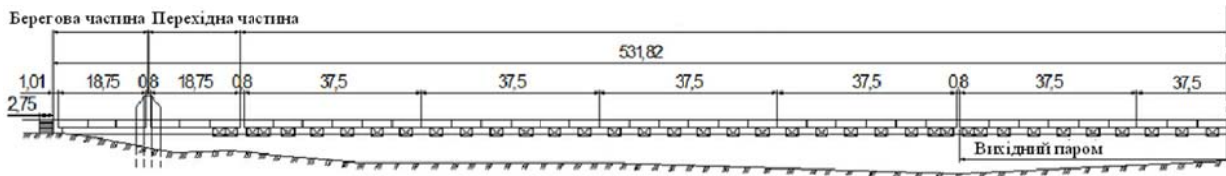


Рис. 1. Схема наплавного мосту загальною довжиною 531,82 м

Як видно для зведення такого моста потрібна значна кількість прогонових будов та понтонів. Зменшити кількість прогонових будов можливо, якщо є реальна можливість зменшення кількості проміжних опор (понтонів). Для розрахунку приймаємо розрахункову схему у вигляді нерозрізної багато-прогінної балки на пружних опорах, де пружними опорами є понтони (рис. 2).

Зробимо аналіз можливості застосування прогонових будов, що складаються з 1-6 типових секцій при спиранні на понтони. Звісно, що при спиранні на проміжну опору (понтон) прогонової будови більшої довжини його осадка від власної ваги понтона та прогонової будови буде збільшуватись, а при додатковому тимчасовому навантаженні ця осадка буде значно збільшуватись у залежності від кількості одиниць техніки, яка розташована на прогоні.

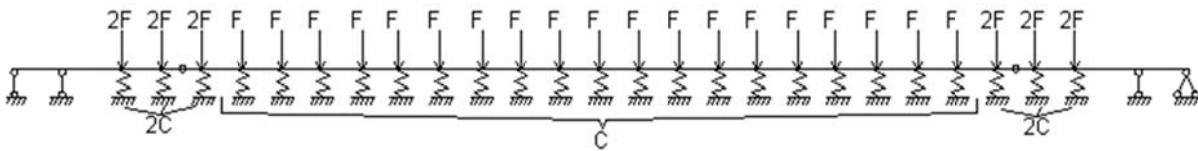


Рис. 2. Розрахункова схема наплавного мосту

F – зосереджена сила від маси понтона та водного баласту в ньому;

c – жорсткість наплавної опори (понтон) $c = 77,76$ т/м.

Розрахунки проведені для жорсткості проміжної опори (понтон) $c = 702,0$ кН/м. Розміри понтонів $27 \times 2,6 \times 1,35$ м, відповідно площа – $70,2$ м². Для опускання (осадки) понтона на 1 м потрібно прикласти силу 702 кН. Зосереджене навантаження F приймається для трьох випадків:

– понтони не заповнені водним баластом і на них спираються прогонові будови відповідної довжини та ваги (тимчасове навантаження відсутнє);

– понтони заповнені водним баластом (сухий борт 0,5 м) на них спираються прогонові будови відповідної довжини та ваги (тимчасове навантаження відсутнє);

З умов пропуску вантажів по мосту приймаємо тимчасове навантаження як рівномірно-розподілене інтенсивністю $q = 62$ кН/м. Маса понтона та водного баласту в них для розрахунку приймається як зосереджена сила, що розташована над проміжною опорою. У зв'язку з тим, що довжина прогонів збільшується – берегову частину приймаємо меншої довжини. Крім того, для того щоб не було значного переміщення шарніра, який з'єднує перехідну частину з річковою, під перехідною частиною встановлюється по два, з'єднаних між собою, понтона.

Таким чином принципова розрахункова схема такого наплавного мосту – це балка на пружних опорах (понтони). Пружність опор руслової частини приймається c , а перехідної частини $2c$. Розрахункова схема наведена на рисунку (див. рис. 2).

– понтони не заповнені водним баластом, прогонові будови відповідної довжини та ваги завантажені тимчасовим навантаженням q .

Другий випадок прийнято як такий, що забезпечує більшу остійність, але висота сухого борту в окремих випадках може бути недостатньою і треба бути зменшити масу водного баласту у понтоні. Прогонові будови прийняті типової конструкції тієї ж довжини, що і при дослідженні динамічної роботи: 6,25 м; 11,32 м; 12,35 м; 14,41 м; 16,47 м; 18,53 м; 21,63 м; 23,68 м.

При застосуванні наплавних мостів у надзвичайних ситуаціях їх треба умовно поділити

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

на декілька типів у залежності від тимчасового навантаження:

- для залізничного транспорту;
- для автомобільного транспорту;
- для легкого автомобільного транспорту та пішоходів;
- тільки для пішоходів.

Інтенсивності навантаження у даних випадках будуть різними і зв'язно будуть різними схеми наплавних мостів, довжини прогонових будов та самі тимчасові опори (не заповнені водним баластом або заповнені і на яку висоту).

Використовуючи дану схему обчислюємо прогини не прогонових будов (оскільки вони незначні), а осадку понтонів при різних довжинах прогонових будов, що на них спираються. Маса понтонів та води в них буде імітувати зосереджені сили, які розташовані над пружними опорами (понтонами). Так як довжини прогонових будов мають діапазон 6,25...23,68 м, то берегову частину робимо меншою. А для того щоб не було великого вертикального переміщення шарніра, який

з'єднує перехідну частину з річковою, під перехідною частиною ставимо по два з'єднаних між собою понтони.

Розглянута схема навантажувалась трьома різними зосередженими силами: спочатку в ролі зосередженої сили враховувалась тільки власна вага понтона, яка становить 118 кН і прогонової будови. По другій схемі понтон завантажувався водним баластом таким чином, щоб залишалось 0,5 м сухого борту і в третьому випадку до першої схеми додавалось навантаження від рухомого складу.

Маса води в понтоні (водний баласт) становить

$$m = F = h \cdot b \cdot a, \quad (1)$$

де b, a – відповідно ширина і довжина понтона, h – висота заповнення водою понтона, м.

Для випадку коли залишається 0,5 м сухого борту, зосереджена сила від ваги самого понтона та води в ньому дорівнює

$$F = (1,35 - 0,5) \cdot 27 \cdot 2,6 = 596,7 \quad (2)$$

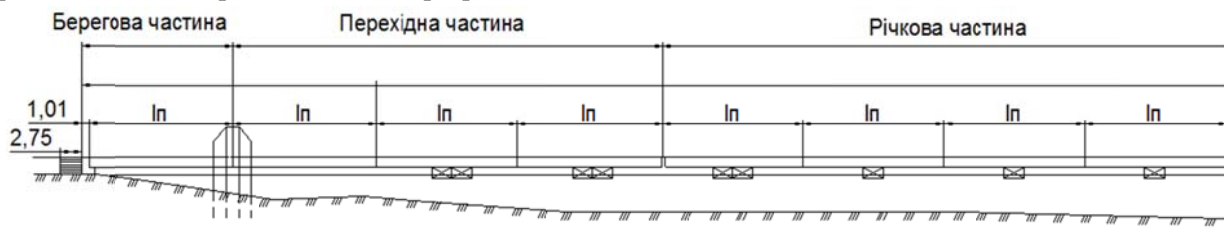


Рис. 3. Схема моста запропонованої конструкції

Розрахунки проводились з застосуванням програмного комплексу СКАД. Розглянуті наступні три схеми навантаження.

Власна вага понтону (118 кН) і прогонових будов, що на нього спираються.

Власна вага понтону і баласту в ньому та прогонових будов, що на нього спираються (сухий борт становить 0,5 м).

Власна вага понтону, прогонових будов та тимчасове навантаження 62 кН/м.

Всі отримані результати розрахунку вертикальних переміщень для трьох схем завантаження зведено у табл. 1, 2 та 3.

Таблиця 1

Результати розрахунку осадки при різних схемах завантажень

Довжина прольоту l_n , м	Повна довжина мосту, м	Прогин, мм при схемах завантаження: 1, 2, 3			Довжина прольоту l_n , м	Повна довжина мосту, м	Прогин, мм при схемах завантаження: 1, 2, 3		
		1	2	3			1	2	3
6,25	531,8	22,3	84,0	72,2	11,32	520,7	24,2	85,7	114,4
12,35	518,7	25,1	86,6	123,5	14,41	518,7	30,0	91,5	145,0
16,47	510,6	31,8	93,3	163,1	18,53	518,8	43,2	104,8	191,0
21,63	519,1	58,3	120,0	230,7	23,68	520,9	62,5	123,8	251,1

Таблиця 2

Переміщення для порому на який встановлено 3 вагони

Довжина прольоту l_n , м	Довжина парому, м та кількість понтонів	Прогин, мм при схемах завантаження: 1, 2, 3			Довжина прольоту l_n , м	Довжина парому, м та кількість понтонів	Прогин, мм при схемах завантаження: 1, 2, 3		
		1	2	3			1	2	3
6,25	37,5/6	21,6	83,1	66,0	11,32	45,28/4	22,5	84,1	96,3
12,35	37,05/3	21,6	83,2	85,7	14,41	43,23/3	25,1	86,7	102,4
16,47	49,41/3	26,7	88,3	118,1	18,53	37,06/2	29,1	90,7	103,1
21,63	43,26/2	36,7	98,3	123,0	23,68	47,36/2	38,7	100,3	133,1

Таблиця 3

Переміщення для порому на який встановлено 6 вагонів

Довжина прольоту l_n , м	Довжина парому, м та кількість понтонів	Прогин, мм при Схемах завантаження: 1, 2, 3			Довжина прольоту l_n , м	Довжина парому, м та кількість понтонів	Прогин, мм при схемах завантаження: 1, 2, 3		
		1	2	3			1	2	3
6,25	75,0/12	22,6	84,2	74,6	11,32	79,2/7	24,6	86,2	118,8
12,35	74,1/6	25,4	87,0	127,4	14,41	72,0/5	30,0	91,4	144,1
16,47	82,0/5	32,0	93,6	165,0	18,53	74,1/4	41,8	103,4	182,4
21,63	86,5/4	57,8	119,4	228,5	23,68	71,0/3	51,4	113,0	196,6

Якщо від результату по третій схемі відняти результат по першій, то маємо осадку від тимчасового навантаження.

У випадку влаштування паромних переправ на рис. 4 наведено схему шестисекційного парому та пристані.

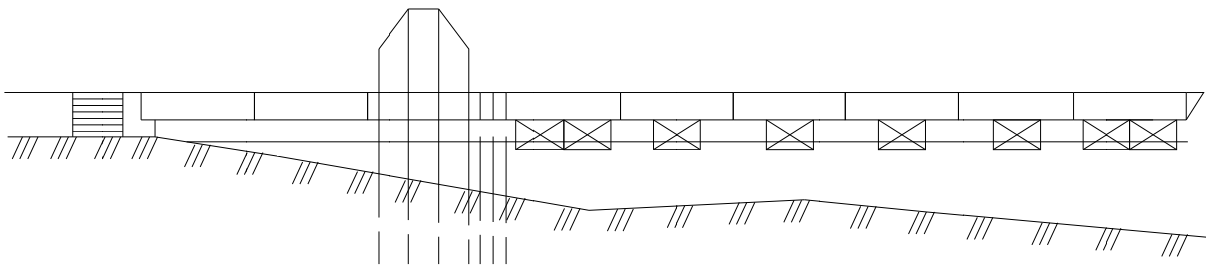


Рис. 4. Схема шестисекційного парому та пристані

Так як і в наплавному мості на понтони ми ставимо більші за довжиною прогонові будови

і находимо їхнє переміщення від таких самих навантажень.

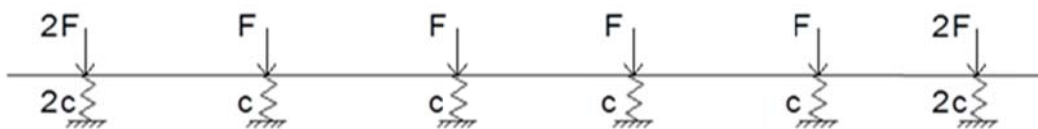


Рис. 5. Розрахункова схема паромної переправи

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

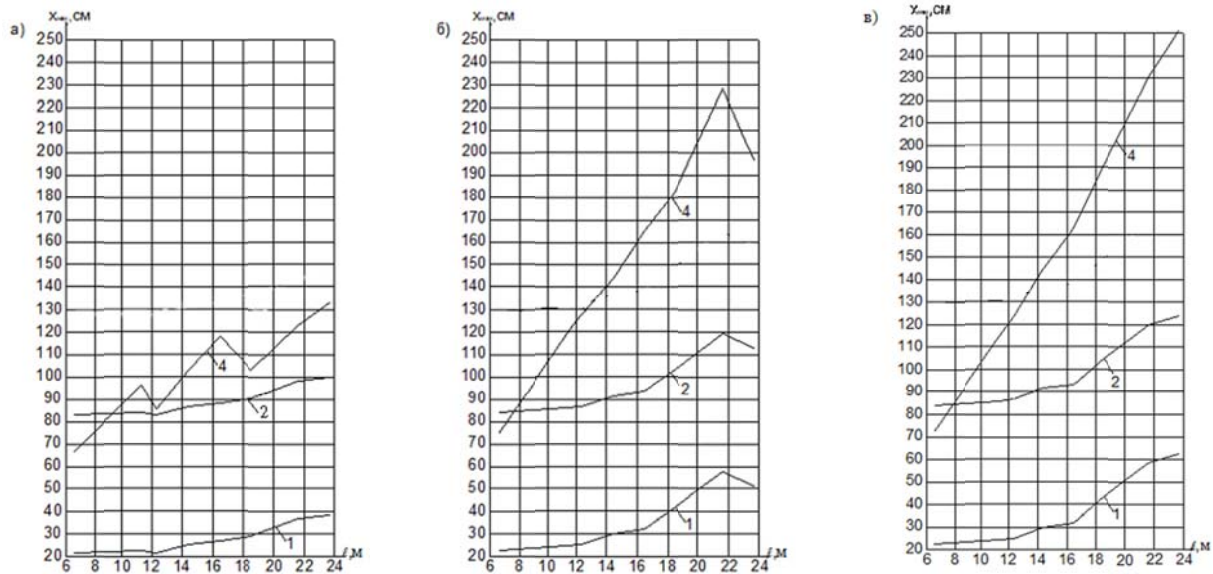


Рис. 6. Графіки переміщень у залежності від довжини прогонової будови:

а) – пором під 3 вагона; б) – пором під 6 вагонів (1 – від сил 118 кН; 2 – від сил 596,7 кН; 4 – від тимчасового навантаження 62 кН/м разом із власною вагою); в) – графіки переміщень в залежності від довжини прогонової будови та схеми завантаження

Проведені теоретичні дослідження показали, що наплавні залізничні мости залишаються в Україні унікальним транспортним засобом, який забезпечує переправу через водні перешкоди залізничного рухомого складу та автомобільної техніки, як в мостовому так і в поромному варіанті. Крім того їх використання доцільне не лише в інтересах оборони, а і в мирний час в інтересах економіки держави, особливо в умовах ліквідації наслідків техногенних та природних катастроф і при будівництві позакласних і великих мостів.

З метою підкріплення результатів теоретичних досліджень статичної та динамічної роботи наплавних мостів у вересні 2012 року були проведені випробування наведеної конструкції НЗМ-56 через водну перешкоду довжиною 325 м з пропуском рухомого складу та

автомобільної техніки. Випробування проводились галузевою науково-дослідною лабораторією «Штучних споруд» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Програмою випробувань перевірялись:

- осадка від рухомого навантаження при проході потягу з тепловозом ТУ-2 загальною вагою 208 т (потяг, п'ять платформ з технікою);
- осадка від проходу колони автомобільної техніки;
- осадка від одиночних автомобілів;
- динамічна робота наплавного моста при проході вказаної техніки.

Загальний вигляд наплавного мосту наведено на рис. 7.



Рис. 7. Загальний вигляд руслової частини наплавного мосту

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

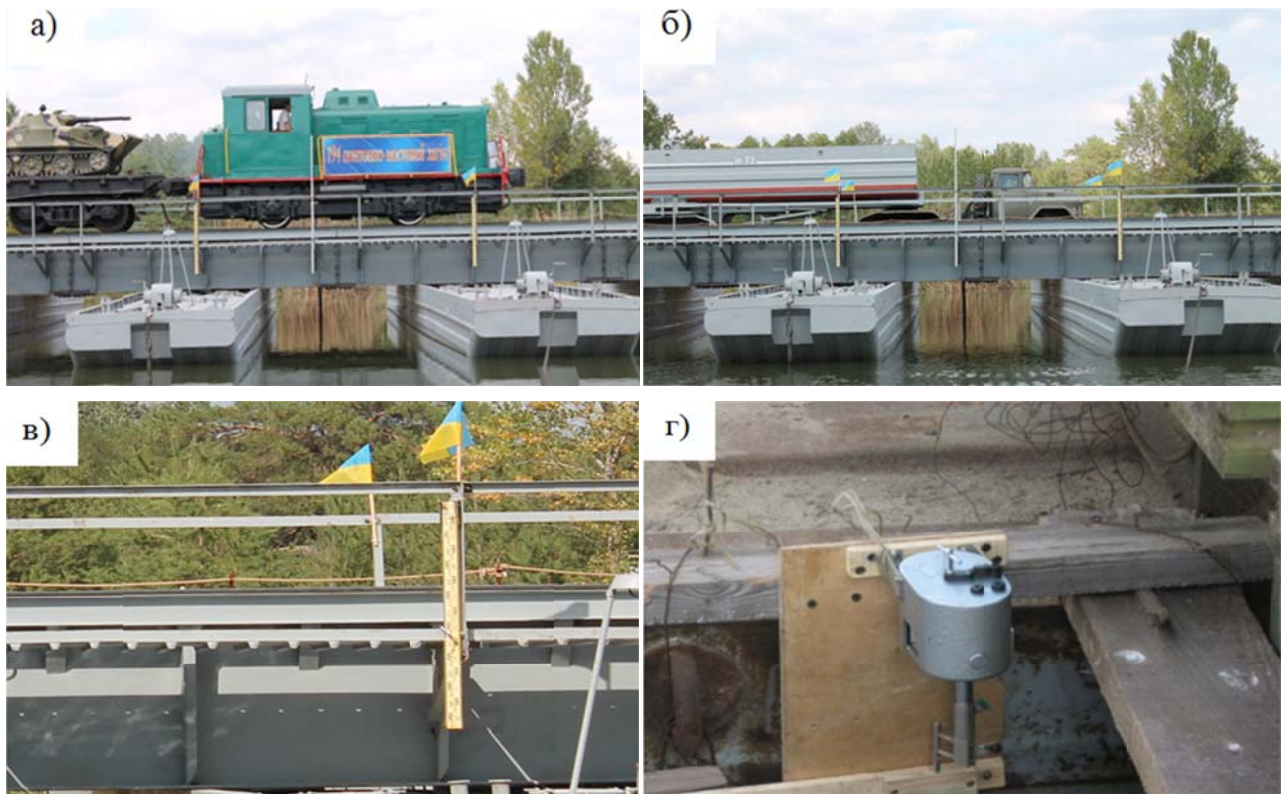


Рис. 8. Окремі моменти випробувань наплавного мосту:

а) – проїзд помосту рухомого складу з технікою; *б)* – проїзд одиночних автомобілів; *в)* – рейки для фіксації вертикальних переміщень; *г)* – віброграф ВР-1 для реєстрації коливань

Запис результатів випробувань проводився методом фіксації положення рухомого складу фотометричним методом з послідуною обробкою результатів за допомогою обчислювальної техніки (комп'ютерна програма). Перед початком випробувань на двох понтонах та між ними були закріплені геодезичні рейки, які давали можливість зафіксувати вертикальне переміщення в даних точках в любий момент часу.

За результатами випробувань побудовано графіки переміщень при проїзді рухомого складу з технікою у двох напрямках. Графіки наведено на рис. 9. (по вертикалі відкладено реальні переміщення двох суміжних понтонів та вузла їх з'єднання, а по горизонталі – номери моментів фіксації положення рухомого складу через рівні проміжки часу).

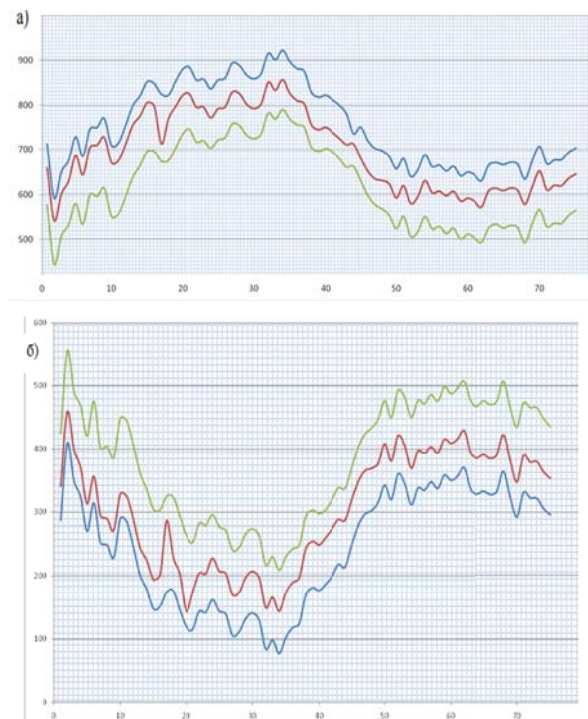


Рис. 9. Графіки переміщень при проїзді рухомого складу з технікою:

а) – проїзд туди; *б)* – проїзд в зворотному напрямку

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 4

При завантаженні туди (локомотив спереду)			При завантаженні у зворотному напрямку (локомотив з задку)		
Максимальний прогин (осадка), мм			Максимальний прогин (осадка), мм		
Між понтонами	Лівий понтон	Правий понтон	Між понтонами	Лівий понтон	Правий понтон
33,21	31,58	34,69	32,55	31,02	33,90
Осадка за результатами розрахунків					
32,68			32,58		

Додатково оброблені результати пропуску одиночних машин. Графік переміщень при проході окремих машин наведено на рис. 10, а у табл. 5 наведені максимальні вертикальні переміщення від проходу одиночних машин різної ваги. У колонках наведено два результати (два суміжні понтони по яких проводились вимірювання).

Як видно осадка понтонів за експериментом та за результатами розрахунків відрізняється незначно.

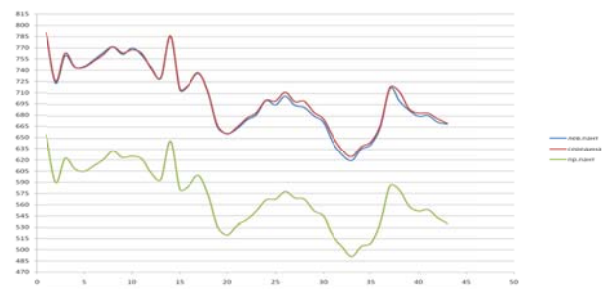


Рис. 10. Графіки переміщень при проїзді машин різного типу

Таблиця 5

Максимальні вертикальні переміщення від різних типів автомобілів

Тип машини	Наїзд на понтони	З'їзд з понтонів	Осадка, мм (випробування)	Осадка, мм (розрахунок)
ГАЗ-63	45,2...49,7	20,2...28,1	25,0...21,6	22,6
КамАЗ	83,7...75,9	118,8...109,0	35,1...34,9	33,8
КрАЗ	124,4...122,3	87,1...83,8	37,3...38,5	37,6
ЗИЛ-130 з понтоном	154,8...149,0	95,4...86,1	59,4...62,9	60,3

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Солдатов, К. И. Частные случаи задачи о собственных колебаниях регулярных упруго опертых балок [Текст] / К. И. Солдатов // Вопросы статической и динамической работы мостов. – Д., 1972. – Вып. 127. – С. 72-79.
- Солдатов, К. И. Свободные колебания регулярных балок и некоторых мостовых конструкций на упругих опорах [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук ... / Ким Иванович Солдатов. – Д., 1971 – 19 с.
- Наплавной железнодорожный мост НЖМ-56 [Текст]. – М. : Военное изд-во, 1977 – 343 с.
- ВСН 136-78 Инструкция по проектированию вспомогательных сооружений и устройств для строительства мостов [Текст]. – Введ. 1978-01-06. – М. : Минтрансстрой, 2001. – 300 с.
- Кисляк, В. П. К вопросу о горизонтальной жесткости опор временных мостов [Текст] / В. П. Кисляк, К. И. Солдатов // Вопросы динамики мостов и теории колебаний. – Д., 1979. – Вып. 202/23 – С. 110-117.
- Кисляк, В. П. Исследование динамической работы временных железнодорожных мостов [Текст] / В. П. Кисляк, К. И. Солдатов // Вопросы динамики мостов и теории колебаний. – Д., 1979. – Вып. 202/23. – С. 117-122.
- Телов, В. И. Наплавные мосты, паромные и ледяные переправы [Текст] / В. И. Телов, И. М. Кануков. – М. : Транспорт, 1978. – 384 с.
- Daniels, S. H. State to revisit pontoon fix [Текст] // Engineering News Engineering Record. – 1997. – Dec. 8. – P. 15.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

К. И. СОЛДАТОВ^{1*}, Ю. Н. ГОРБАТЮК², С. В. КЛЮЧНИК³, М. К. ЖУРБЕНКО⁴^{1*} Каф. «Мосты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (096) 527 26 01, эл. почта kim-kim@i.ua² Каф. «Мосты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 339 41 28, эл. почта Yuri.Gorbatyuk@gmail.com³ ОНИЛ искусственных сооружений, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 367 34 34, эл. почта SSSeR 05@ukr.net⁴ ОНИЛ искусственных сооружений, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 122 71 63**К ВОПРОСУ НОРМИРОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА НАПЛАВНЫЕ МОСТЫ**

Цель. Целью данной работы является исследование статической работы наплавных мостов под реальным нагрузкам путем разработки методики расчетов, которая бы была подтверждена экспериментальными данными. **Методика.** Для исследования работы наплавного моста под статической нагрузкой с целью его нормирования выбрана методика экспериментально-теоретического исследования. Теоретические расчеты выполнены по схеме разрезной конструкции на упругих опорах (понтонках) или на упругом основании. **Результаты.** На основе анализа данных расчетов и испытаний на реальном объекте, установлено, что теоретические погрешности незначительно отличаются от полученных при испытаниях. **Научная новизна.** В данном случае очень важным является то, что теоретические исследования подкреплены масштабным экспериментом на реальном объекте с реальной нагрузкой. **Практическая значимость.** Проведено экспериментально-теоретическое исследование дает возможность пользоваться данной методикой расчетов наплавных мостов и при проектировании.

Ключевые слова: понтон; наплавные мосты; жесткость; прогиб; перемещение; загрузка

K. I. SOLDATOV^{1*}, Y. N. GORBATYUK², S. V. KLYUCHNIK³, M. K. ZHURBENKO⁴^{1*} DEPT. of Bridges, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 527 26 01, e-mail kim-kim@i.ua² DEPT. of Bridges, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 339 41 28, e-mail Yuri.Gorbatyuk@gmail.com³ BSRL Structure, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 367 34 34, e-mail SSSeR 05@ukr.net⁴ BSRL Structure, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 122 71 63**TO QUESTION OF SETTING OF NORMS OF STATIC LOADING ON NAPLAVNYE BRIDGES**

Purpose. The aim of this work is to study the static floating bridge work under real stress by developing a method of calculation that there was confirmed by experimental data. **Methodology.** For the study of the floating bridge under static load with a view to the valuation methodology selected experimental and theoretical study. Theoretical calculations were carried out under the scheme split design on elastic supports (pontoons) or on an elastic foundation. **Findings.** Based on the analysis of these calculations and tests on the real object, found that theoretical results slightly differ from those obtained in the tests. **Originality.** In this case, it is very important that the theoretical studies supported by large-scale experiment on the real object with the actual load. **Practical value.** An experimental and theoretical study provides an opportunity to use this technique and calculation of floating bridges in the design.

Keywords: pontoon; swimming bridges; inflexibility; bending; moving; load

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., приват-проф. М. О. Лісняк (Україна).

Надійшла до редколегії 29.10.2013.

Прийнята до друку 30.11.2013.