

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»



ГОРБАТЮК ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 624:873:624.042

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА МОДЕЛЕЙ РОЗРАХУНКУ
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
НАПЛАВНИХ МОСТІВ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Солдатов Кім Іванович,
Дніпропетровський національний
університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна, доцент кафедри
«Мости».

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Пічугін Сергій Федорович**, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, завідувач кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас;

кандидат технічних наук **Шехоркіна Світлана Євгеніївна**, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій.

Захист відбудеться «28» січня 2016 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.085.02 при Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49605, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49605, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а.

Автореферат розісланий «25» грудня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор



С. О. Слободянюк

урахуванням пропозицій усіх національних галузевих академій наук України).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення конструкції прогонових будов та понтонів наплавних мостів і моделей розрахунку їх напружено-деформованого стану наплавних мостів, обґрунтування можливості використання наплавних мостів у цивільному та транспортному будівництві.

Сформульована мета дисертаційної роботи обумовила необхідність розв'язання таких задач:

- аналіз існуючого досвіду та перспектив застосування, а також загальних принципів проектування та розрахунку наплавних понтонних мостів на статико-динамічні навантаження;
- удосконалення конструкції понтонів та балок прогонових будов наплавних мостів;
- розробка та верифікація розрахункової моделі для визначення параметрів напружено-деформованого стану та динамічних характеристик наплавного мосту з урахуванням основних параметрів зовнішніх навантажень;
- експериментальне дослідження роботи конструкцій наплавного мосту в натурних умовах під дією навантажень від залізничного та автомобільного транспорту;
- дослідження впливу параметрів наплавного мосту та зовнішніх навантажень, швидкості руху та рухомого навантаження на напружено-деформований стан наплавного мосту;
- дослідження техніко-економічних показників наплавних мостів.

Об'єкт дослідження – несучі конструкції наплавних мостів під залізничне та автомобільне навантаження.

Предмет дослідження – закономірності напружено-деформованого стану несучих конструкцій наплавних мостів в залежності від характеристик наплавних мостів та зовнішніх навантажень.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі використовується експериментально-теоретичний метод дослідження, при якому теоретичні розрахунки корегуються результатами експерименту. Числові розрахунки виконані в середовищі параметричного моделювання та інженерного аналізу Belinda Structure 2014 (номер ліцензії GUN-DN20142015), яке реалізує метод скінченних елементів у поєднанні з динамічними рівняннями Ньютона–Ейлера для стержневих систем. При удосконаленні несучих конструкцій прогонових будов використовувались методи раціонального проектування металевих конструкцій.

Наукова новизна одержаних результатів:

- запропоновано удосконалі конструкції понтонів та балок прогонових будов для будівництва наплавних мостів (дістало подальший розвиток);
- запропоновано розрахункову модель наплавного мосту, яка дозволяє аналізувати поведінку конструкції в часі під впливом зовнішніх навантажень (запропоновано вперше);
- отримано нові експериментальні дані про роботу конструкцій наплавного мосту під дією навантажень від залізничного та автомобільного транспорту (дістало подальший розвиток);
- отримано дані про напружено-деформований стан конструкцій та

динамічні характеристики наплавного мосту в залежності від основних параметрів зовнішніх навантажень (дістало подальший розвиток);

– отримано дані щодо техніко-економічних показників конструкцій наплавних мостів (дістало подальший розвиток).

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці конструкцій наплавних мостів, які рекомендовані для застосування не тільки в Збройних силах України, але й як тимчасові та капітальні споруди цивільного будівництва.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в практику роботи понтонно-мостових підрозділів Державної спеціальної служби транспорту України на двох наплавних мостах, які були наведені в липні-серпні 2014 року в ході Антитерористичної операції на річках Сіверський Донець, Казенний Торець (Донецька область), а також в навчальний процес в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки й результати досліджень, які виносяться на захист, одержані автором. Особистий внесок здобувача в роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1, 2, 4, 5, 8, 12, 13] – удосконалення конструкцій наплавних мостів;

[3] – теоретичне та експериментальне дослідження роботи конструкцій наплавного мосту в натурних умовах;

[6, 7, 9, 10, 11] – розробка розрахункової моделі та дослідження напружено-деформованого стану конструкцій наплавного мосту.

Апробація результатів дисертації. Результати наукових досліджень, викладені в дисертації, доповідалися на Міжнародних науково-практичних конференціях «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика» (Дніпропетровськ, 2010, 2012, 2014); 70-й, 72-й, 73-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, 2007 р., 2010 р.); «Engineer of the 3rd Millennium» (Дніпропетровськ, 2012 р.); «Строительство и восстановление искусственных сооружений» (Гомель, 2013 р.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на міжкафедральному науковому семінарі з будівельних конструкцій ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна (2015 р.), а також на розширеному науковому семінарі кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ДВНЗ «ПДАБА» (2015 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковано в 13 наукових працях, у тому числі 8 публікацій у фахових наукових виданнях, 3 – у матеріалах і тезах доповідей наукових конференцій, 1 – патент України на корисну модель, 1 – за кордоном.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і 3 додатків. Повний обсяг роботи становить 162 сторінки, з них основний текст на 120 сторінках, список використаних джерел із 128 найменувань на 14 сторінках. Дисертація містить 87 рисунків, 20 таблиць та 3 додатки на 28 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету й завдання дослідження, відображено наукову новизну результатів, їхнє практичне значення. Наведено відомості про апробацію й публікацію результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** розкрито сучасні проблеми й перспективи розвитку будівництва наплавних мостів та обґрунтовано їх застосування в умовах сучасного транспортного будівництва.

Розглянуто конструктивні рішення наплавних мостів та приведені найбільш поширені в Україні конструкції для їх будівництва. Значний внесок у галузь транспортного будівництва зробили такі видатні вчені, як А. А. Уманський, В. І. Телов, А. В. Кручінкін, М. Г. Давидов, М. М. Ушаков та ін.

Питанням проектування плавучих споруд різноманітного призначення присвячені роботи З.П. Бондурянського, М.М. Єгорова, І.М. Сіверцева, М. В. Савицького, С. Є. Шехоркіної та ін.

Виконано аналіз основних конструктивних систем, методів розрахунку конструкцій наплавного мосту, а також визначення навантажень від транспорту. Питанням визначення та нормування транспортних навантажень на мостові конструкції займалися різні видатні вчені, зокрема, Є. Є. Гібшман, М. Б. Лялін, Б. І. Казиницька, І. І. Казей, М. М. Митропольський, О. І. Васильєв, П. М. Саламахін та ін. Науковим дослідженням навантажень на будівельні конструкції також присвячено роботи В. М. Гордєєва, Р. І. Кінаша, А. І. Лантух-Ляценка, В. А. Пашинського, А. В. Перельмутера, С. Ф. Пічугіна та ін.

Виконано огляд існуючих наукових робіт з питань дослідження динамічного впливу рухомого навантаження на мостові конструкції, а також гідропружного аналізу плавучих систем. Проведено аналіз сучасних програмних комплексів для комп'ютерного моделювання та дослідження напружено-деформованого стану і динаміки будівельних конструкцій.

Проблеми динамічного впливу рухомого навантаження на балкові системи свого часу досліджували Л. Ейлер, Ф. Вілліс, Д. Стокс, А. М. Крилов, С. П. Тимошенко, В. А. Лазарян, Є. П. Блохін, В. В. Болотін, С. І. Конашенко, С. С. Кохманюк, А. П. Філіпов, М. К. Снітко, Л. Фриба, А. Б. Моргаєвський, Я. Г. Пановко, Є. С. Сорокін, К. І. Солдатов та ін. Дослідженням динамічної роботи будівельних конструкцій присвячені роботи багатьох вчених, таких як М. І. Казакевич, В. В. Кулябко, В. Ф. Ушкалов і ін. Вивченню питань взаємодії мостів із залізничним та автомобільним навантаженням присвятили свої праці Л. Fryba, О. Г. Барченков, Г. М. Кадісов, Г. П. Арясов та ін.

На основі проведеного аналізу наукових робіт та стану досліджень зроблено наступні висновки:

1. Наведення наплавних понтонних мостів в умовах екстремальних ситуацій при затопленні територій або руйнуванні існуючих мостів є найкращим способом відновлення інфраструктури країни. Як показує сучасний досвід будівництва наплавних мостів та плавучих споруд, галузь їхнього застосування може бути ширшою та має значні перспективи.

2. Наплавні мости мають ряд переваг, зокрема, швидкість виконання робіт, мобільність, незалежність від геологічних умов та глибини водойми, багаторазове та багатоцільове використання понтонів. Проте існуючі конструкції понтонів мають високу металоємність та обмежені умови застосування, тому необхідне удосконалення конструкцій наплавного мосту.

3. Розрахункові схеми, які використовуються при проектуванні наплавних

мостів в повній мірі не відображають їхню реальну роботу, а навантаження, за якими були запроектовані наплавні мости, які наразі експлуатуються в Україні, не відповідають сучасним нормам. З огляду на це постає питання розробки розрахункової моделі наплавного мосту для досліджень статичної та динамічної роботи наплавних мостів згідно чинних нормативно-технічних документів, яка б враховувала особливості навантажень та роботи конструкцій.

4. Незважаючи на широке коло досліджень у галузі динамічної поведінки будівельних конструкцій, питання динамічної роботи наплавних мостів з урахуванням впливу різних факторів, таких як параметри мосту, тип транспорту та швидкість його руху тощо, залишаються актуальними і потребують подальшого дослідження.

З урахуванням вищенаведеного сформульовано мету та задачі дослідження, які наведено у вступі.

У **другому розділі** описано конструктивне рішення понтону із трьох секцій. Схема влаштування наплавного мосту із понтонами запропонованої конструкції приведена на рис. 1.

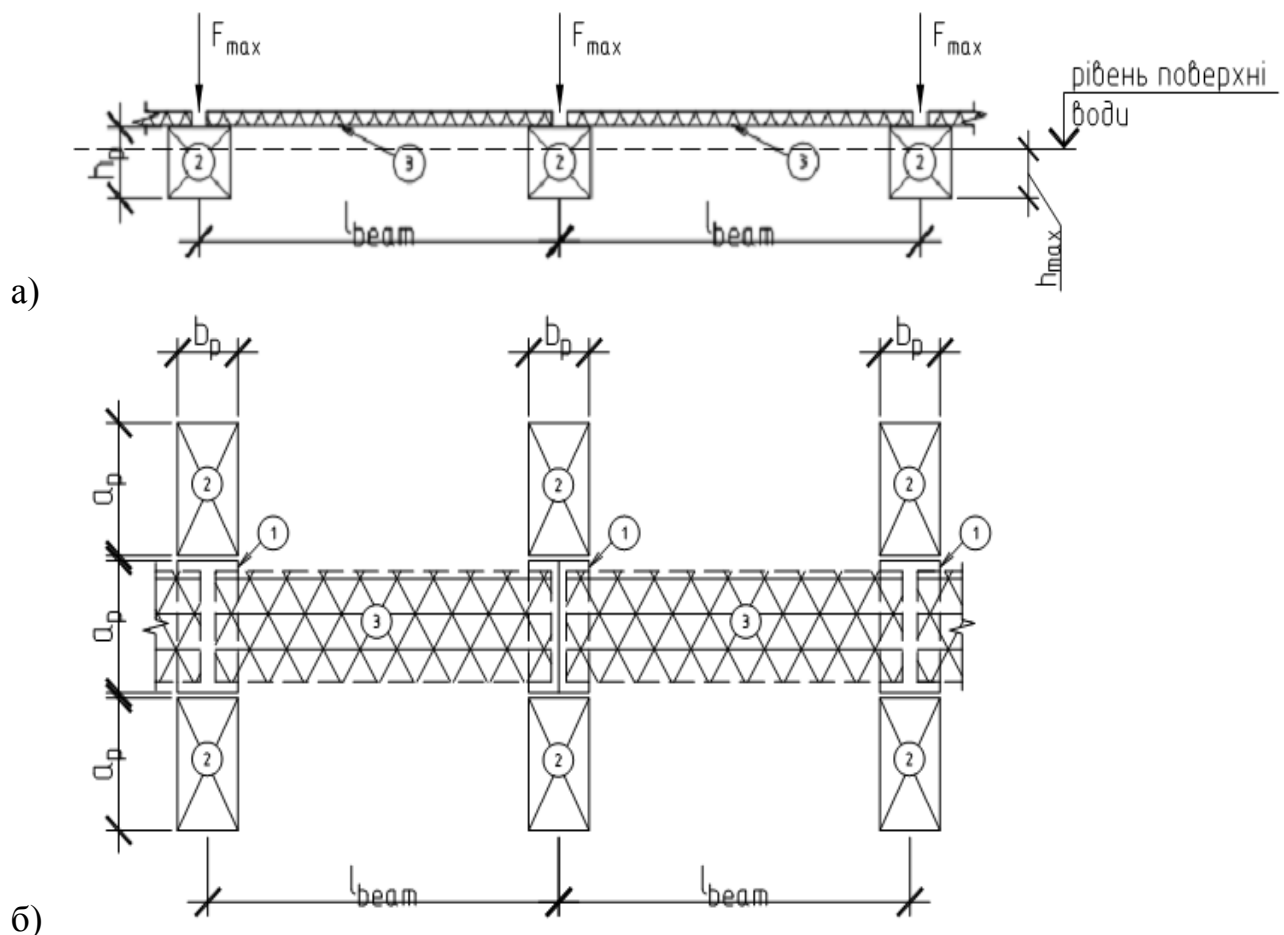


Рис. 1. Схема влаштування наплавного мосту:

а) вигляд з фасаду мосту; б) вигляд в плані;

1 – металевий понтон, 2 – пластиковий понтон, 3 – конструкції прогонової будови

В конструктивному рішенні для середньої секції пропонується використовувати стандартний металевий понтон типових моделей (НЖМ-56, КС-

63, УП-78, П-12), а для крайніх секцій – аналогічні пластикові. На понтон середньої секції встановлюються конструкції прогонової будови, по яким здійснюється рух транспорту, людей, тощо. З метою обґрунтування запропонованої конструкції наплавного мосту було проведено дослідження його статичної роботи, а саме плавучості. Для цього визначалися максимальні значення осадки понтонів типових моделей наплавного мосту в залежності від довжини прогону. Визначення осадки виконувалось з урахуванням маси понтонів та прогонових будов, а також навантаження від стандартних вагонів (62 кН/м). Розрахунки виконувались для прогонових будов типової конструкції, які використовуються для зведення наплавних мостів в Україні (погона вага 9.6 кН/м). Графік зміни осадки понтона в залежності від довжини прогону приведено на рис. 2.

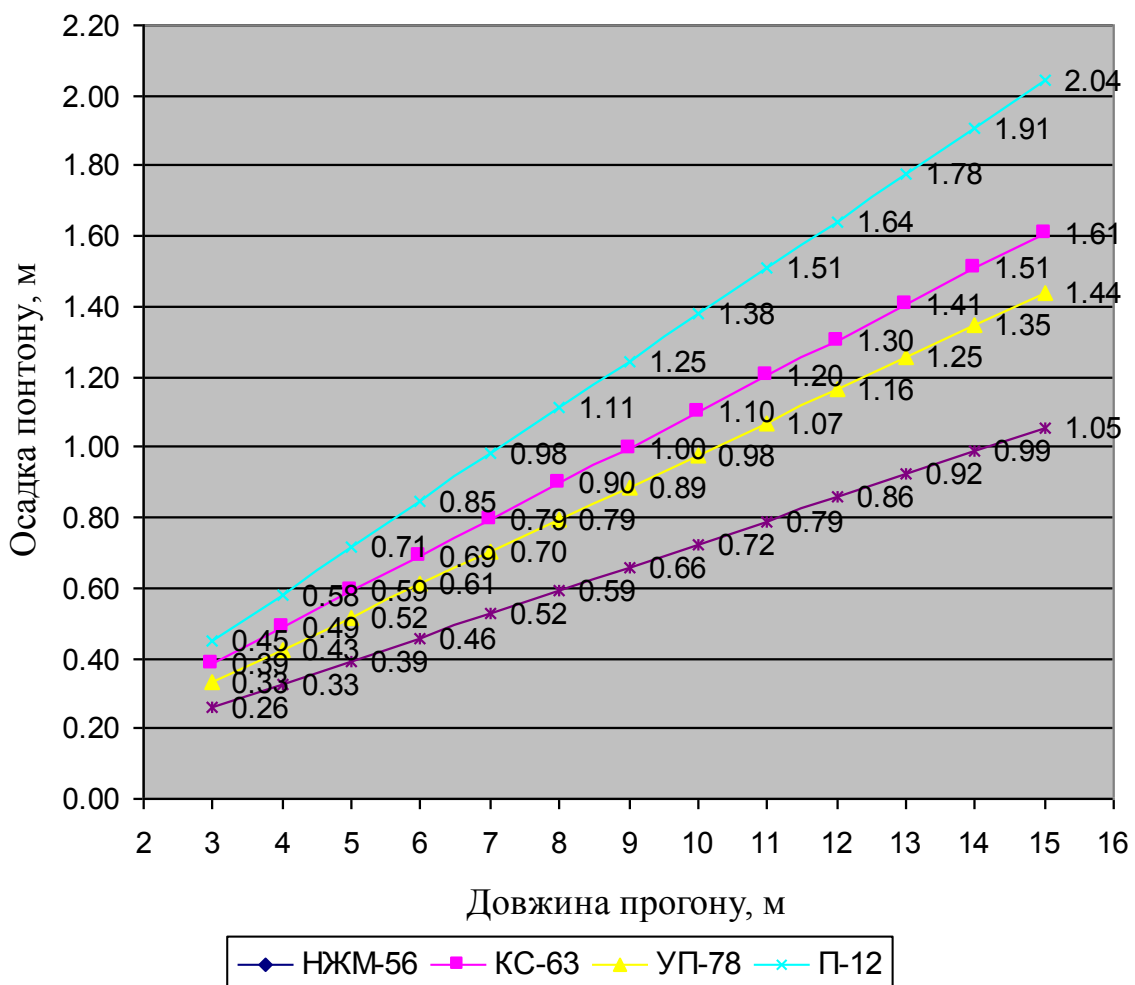


Рис.2. Графік зміни осадки понтона в залежності від довжини прогону

На основі проведених досліджень були отримані дані щодо максимально допустимих значень довжини прогону l_{beam} та навантаження на понтон F_{max} . При цьому розглядалось два варіанта експлуатації понтона:

- 1) в напівзануреному стані так, щоб сухим залишилося 50 см висоти його борту (осадка складає $h_{max} = h_p - 0.5$);
- 2) повне занурення (осадка складає $h_{max} = h_p$).

Вихідні дані та результати розрахунків приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Максимально допустимі значення
довжини прогону l_{beam} та навантаження на понтон F_{max}

Тип конструкції понтона	Розміри понтона, м			1 варіант ($h_{max} = h_p - 0.5$)		2 варіант ($h_{max} = h_p$)	
	h_p	b_p	a_p	l_{beam} , м	F_{max} , кН	l_{beam} , м	F_{max} , кН
НЖМ-56	1,4	2,6	9,0	8.0	982.8	12.95	631.8
КС-63	1,8	3,6	7,2	13.5	1399.7	19.9	1010.9
УП-78	1,4	3,0	6,0	6.4	756	10.15	486
П-12	1,5	3,0	12,0	14.25	1620	21.7	1080

Таким чином, в результаті розрахунків було встановлено, що запропонована конструкція може бути застосована для зведення наплавних мостів при умові обмеження відстаней між понтонами (довжини прогонів), а також навантажень на понтон.

З метою обґрунтування відповідності типових балок прогонових будов чинним нормам проектування, а також можливості застосування перфорованих двотаврів як балок прогонових будов наплавних мостів, проведено аналіз НДС даних конструкцій. Для аналізу були прийняті двотаврові балки стандартною довжиною 11.7, 15.9, 18,0 м із суцільною та перфорованою стінками. Висота поперечного перерізу балки із суцільною стінкою приймалася 104 см, з перфорованою – 150 см. Також додатково була досліджена можливість застосування більш міцної сталі (15ХСНД та 10ХСНД). Як показав аналіз отриманих даних, типові балки прогонових будов не відповідають чинним нормативним документам. Умови міцності та стійкості для балки висотою 104 см та прольотом 11.7 м виконуються лише при застосуванні сталі 10ХСНД та рекомендованих товщинах стінки 14мм, полицок 28мм. Для застосування більших прольотів балки прогонової будови необхідне застосування перфорованих двотаврів висотою 150см з сталі 10ХСНД.

Для дослідження статичної роботи секції наплавного мосту в якості поромної переправи була прийнята конструкція, яка складається з понтонів запропонованої конструкції, на котрі спирається прогонова будова. При розрахунках були розглянуті умови завантаження за наступними схемами: (1) власна вага понтонів Q_{pont} та прогонових будов Q_{beam} різної довжини (пором для розміщення трьох вагонів); (2) власна вага понтонів Q_{pont} та прогонових будов Q_{beam} різної довжини (пором для розміщення шести вагонів) власна вага понтонів Q_{pont} , прогонових будов Q_{beam} різної довжини та тимчасове навантаження від трьох вагонів V_{vag}^3 ; (3) власна вага понтонів Q_{pont} , прогонових будов Q_{beam} різної довжини та тимчасове навантаження V_{vag}^6 від шести вагонів. Результати розрахунків на прикладі

конструкції понтона НЖМ-56 ($h_p = 1.4$ м) приведено на рис. 3.

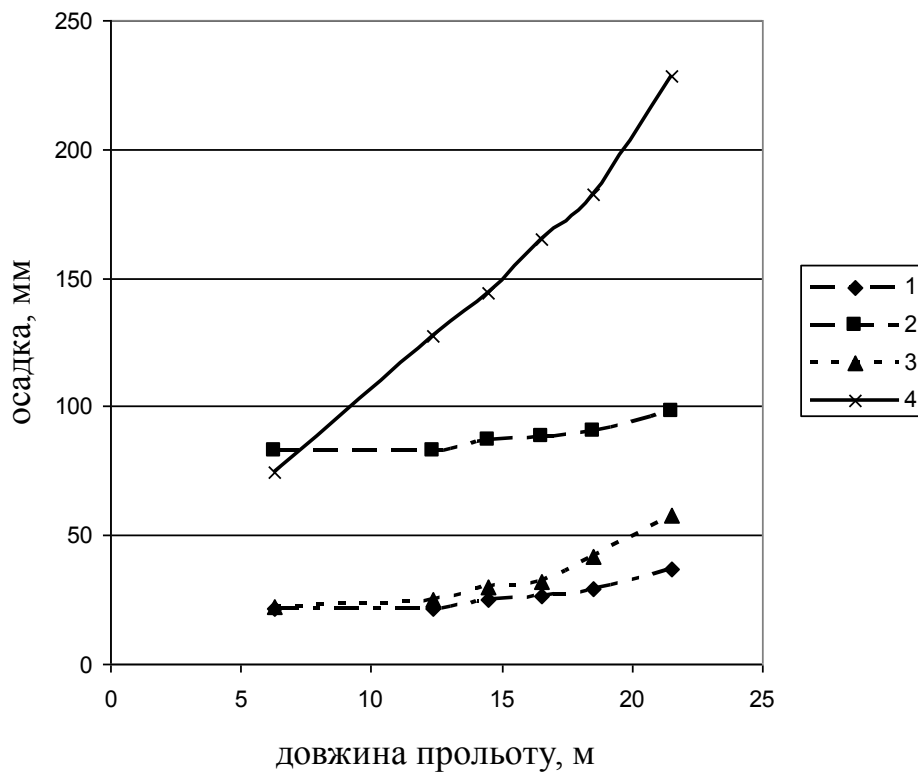


Рис. 3. Графіки вертикальних переміщень конструкції секції наплавного мосту у залежності від довжини прогонової будови:

1 – розміщення шести вагонів (3 схема завантаження); 2 – розміщення трьох вагонів (2 схема завантаження); 3 – пором для розміщення шести вагонів (2 схема завантаження); 4 – пором для розміщення трьох вагонів (1 схема завантаження)

Аналізуючи розглянуті схеми, можна зробити висновок, що при максимальному завантаженні (схема 3) для розглянутої конструкції наплавного мосту переміщення трьох залізничних вагонів можливе при застосуванні прогонових будов довжиною 6,25..12,35 м, тоді як для шести вагонів довжина прогонової будови не може перевищувати 6,25 м.

Третій розділ присвячено розробці та верифікації статико-динамічної розрахункової моделі наплавного мосту.

На початковому етапі було проведено аналіз динамічної роботи наплавного мосту за спрощеними розрахунковими схемами з використанням програмного комплексу MathCAD15. Встановлено, що реальній роботі запропонованої конструкції наплавного мосту відповідає схема у вигляді нерозрізної балки на пружних опорах (понтонах) із зосередженими масами у місцях пружних опор. Дана схема була прийнята для подальших досліджень та розробки розрахункової моделі.

Для проведення досліджень напружено-деформованого стану та характеристик динамічної роботи наплавного мосту з використанням програмного комплексу «Belinda Structure 2014» була розроблена просторова розрахункова модель наплавного мосту із прогоною будовою, по якій рухається транспорт.

При моделюванні конструкції наплавного мосту використовувались стандартні елементи бібліотеки скінченних елементів ПК «Belinda Structure 2014». Прогонова

будова наплавного мосту задавалася стержневими скінченними елементами, які працюють у складному напружено-деформованому стані на згин у двох взаємно перпендикулярних площинах (вертикальній, горизонтальній), а також розтяг-стиск з крученням відносно власної поздовжньої осі. Понтони наплавного мосту моделювались як пружні опори. На рис. 4 показана схема навантажень на секцію понтону, які прикладалися до відповідних вузлів розрахункової моделі.

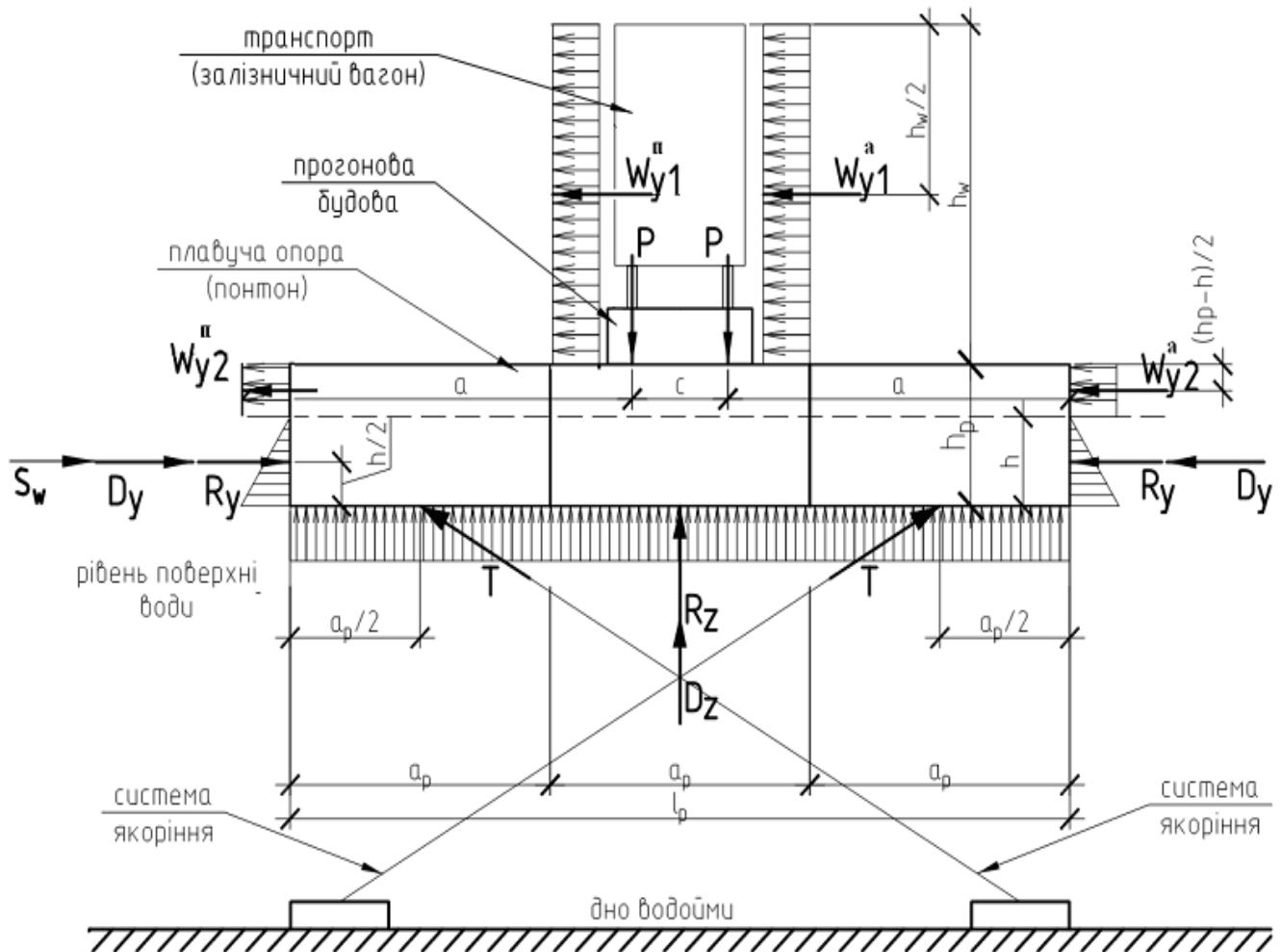


Рис. 4. Схема до розробки моделі наплавного мосту:

P – навантаження від транспорту; W_{y1}^a, W_{y1}^i – вітрове навантаження на транспорт та конструкції прогонової будови (активне та пасивне, відповідно); W_{y2}^a, W_{y2}^i – вітрове навантаження на надводну частину плавучої опори (активне та пасивне, відповідно); R_y, R_z – рівнодіючі сили опору водного середовища; D_y, D_z – дисипативні сили; S_w – рівнодіюча сил водотоку; T – сили утримування якорної системи

На елементи конструкції наплавного мосту під час експлуатації діють наступні зовнішні навантаження: навантаження від транспортних засобів P , вітрове навантаження на конструкції прогонової будови W_{y1} та надводної частини плавучої опори W_{y2} , навантаження з боку водного середовища R_y та R_z , сили утримування якорної системи T . Також в моделі була врахована дисипація енергії коливань

плавучої системи шляхом прикладання дисипативних сил D_y та D_z . Навантаження задавалися у вигляді рівнянь, які враховують залежність величини навантаження від осадки понтона. Тимчасове навантаження від вагонів або інших типів транспорту у запропонованій розрахунковій моделі приймалося у вигляді системи зосереджених навантажень, які рухаються із заданою швидкістю вздовж лінії, що поєднує центри ваги перерізів відповідних елементів. Кожне зосереджене навантаження характеризує осьовий тиск колісної пари відповідного транспортного засобу.

З метою верифікації запропонованої моделі були проведені натурні випробування наплавного мосту конструкції НЖМ-56 через водну перешкоду довжиною 325 м з пропуском залізничного рухомого складу та автомобільної техніки. Випробування проводилися Галузевою науково-дослідною лабораторією штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Перед початком випробувань на понтонах та між ними були закріплені геодезичні рейки, які давали можливість фіксувати вертикальне переміщення конструкції мосту (осадки). Для визначення частоти та амплітуди коливань наплавного мосту застосовувався віброграф ВР-1. При випробуваннях транспорт рухався зі швидкістю 10 км/год.

Загальний вигляд наплавного мосту при проїзді залізничного рухомого складу та одиночних автомобілів приведено на рис. 5 (а) та (б); закріплених рейок – на рис. 5(в); закріпленого на конструкції наплавного мосту вібрографа – на рис. 5(г).

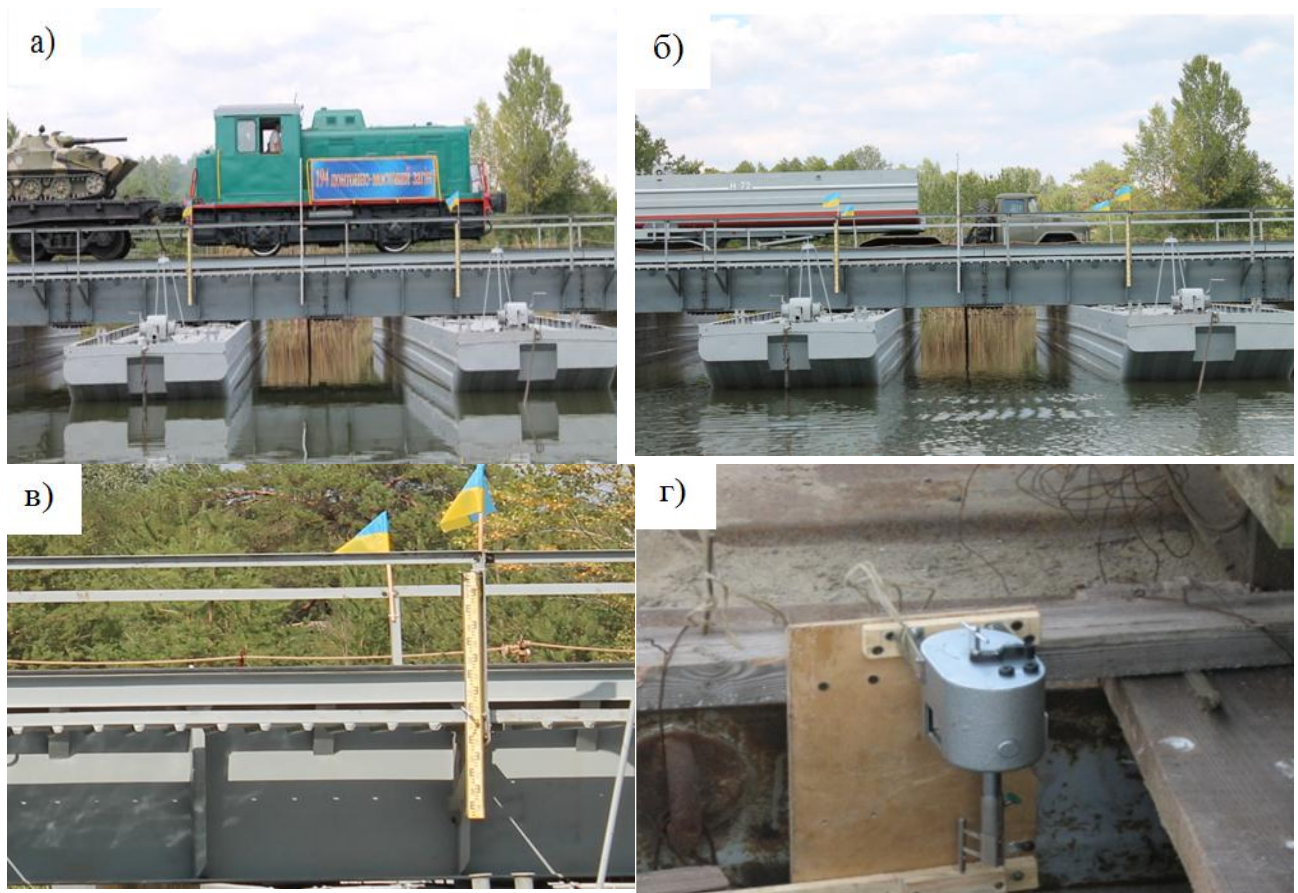


Рис. 5. Натурні випробування наплавного мосту:

- а) проїзд залізничного рухомого складу з тяговим тепловозом ТУ-2;
- б) проїзд автомобільної транспортної техніки; в) рейки для фіксації

вертикальних переміщень; г) віброграф ВР-1

За результатами випробувань було отримано графіки вертикальних переміщень (осадки) при проїзді рухомого складу з технікою у двох напрямках. Результати випробувань при проїзді рухомого складу з тяговим тепловозом ТУ-2 приведені на рис. 6; при проїзді одиночної транспортної автомобільної техніки (на прикладі ГАЗ-63) – на рис. 7.

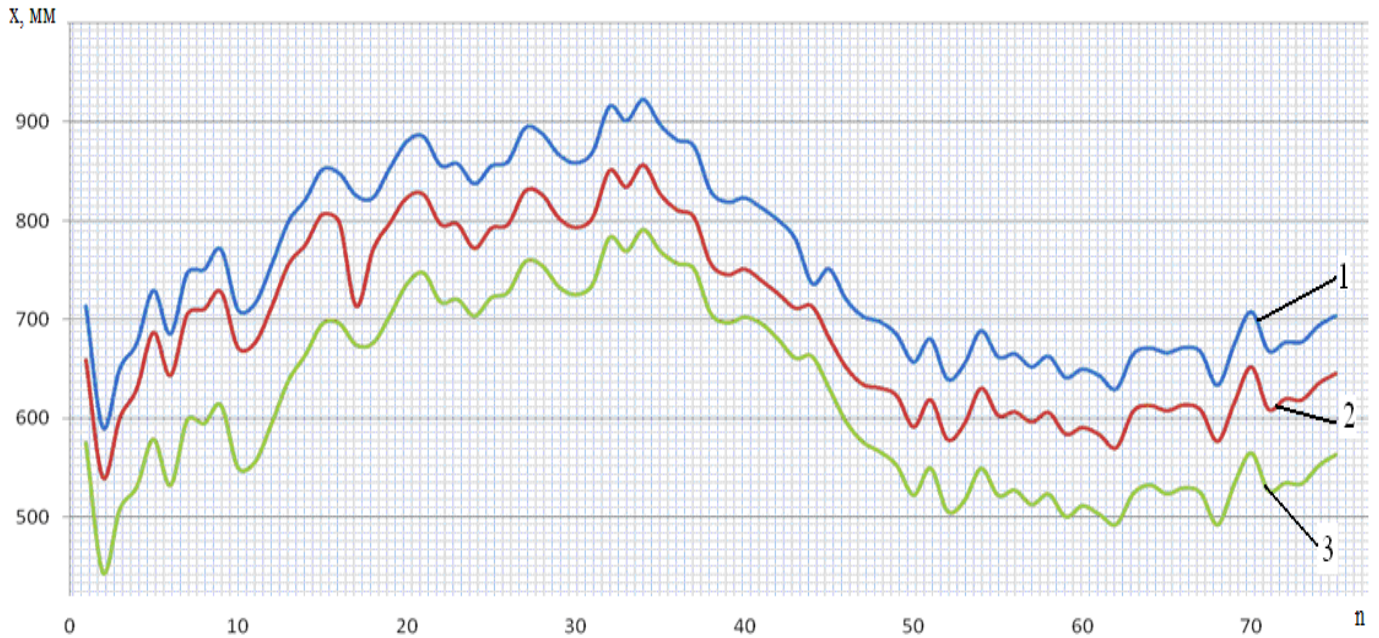


Рис. 6. Графіки вертикальних переміщень (осадки) наплавного мосту при проїзді рухомого складу з тяговим тепловозом ТУ-2:

1 – лівий понтон; 2 – середній понтон; 3 – правий понтон

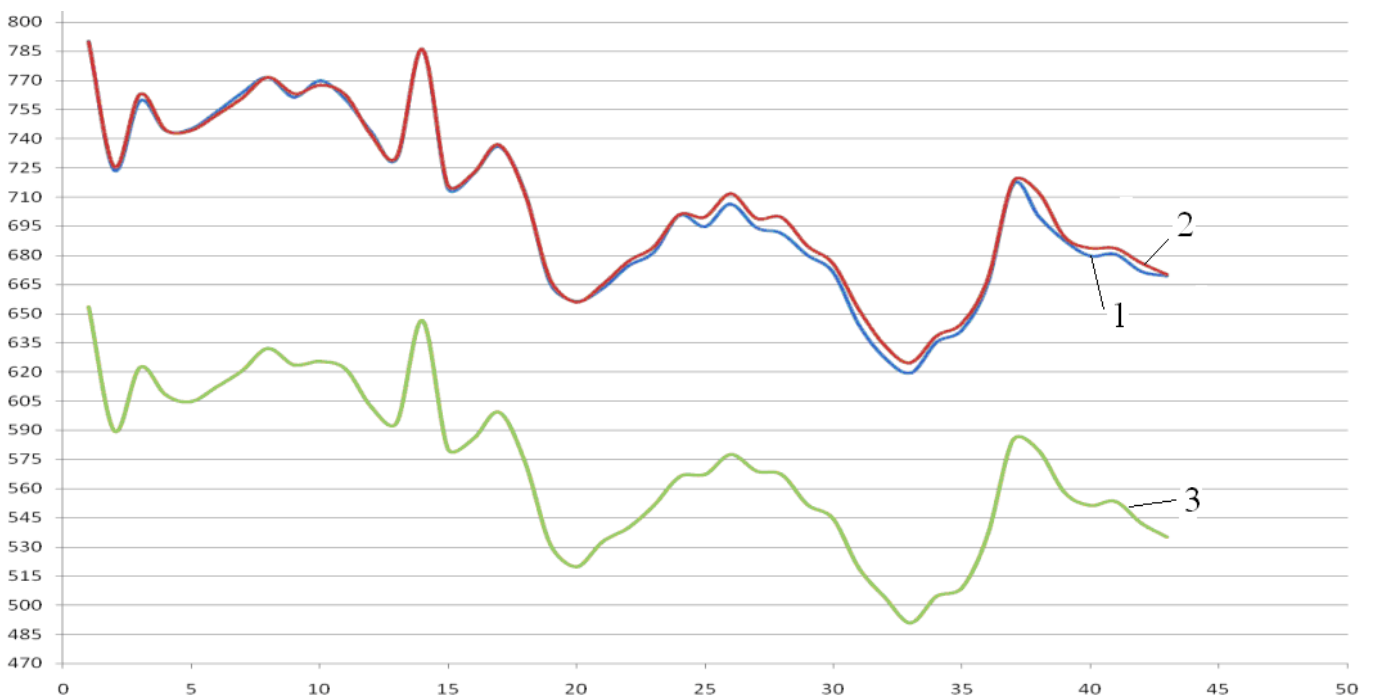


Рис. 7. Графіки вертикальних переміщень (осадки) наплавного мосту при проїзді одиночної транспортної автомобільної техніки (на прикладі ГАЗ-63):

1 – лівий понтон; 2 – правий понтон; 3 – середній понтон

Верифікацію і перевірку коректності запропонованої статико-динамічної розрахункової моделі проведено шляхом порівняння результатів натурних експериментів із результатами чисельного моделювання в запропонованій розрахунковій моделі.

В результаті моделювання були отримані графіки вертикальних переміщень (зміни осадки) наплавного мосту при проїзді тепловозу ТУ-2 з п'ятьма платформами (рис. 8) та під час руху одиничного автотранспорту (рис. 9).

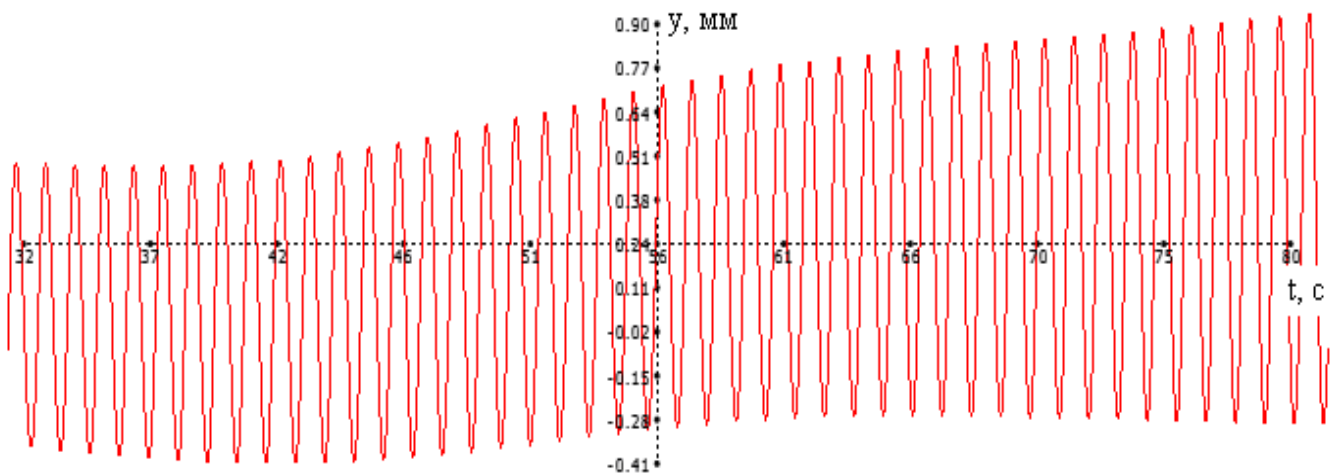


Рис. 8. Графік вертикальних переміщень (осадки) наплавного мосту при проїзді тепловозу ТУ-2 з п'ятьма платформами за результатами чисельного моделювання

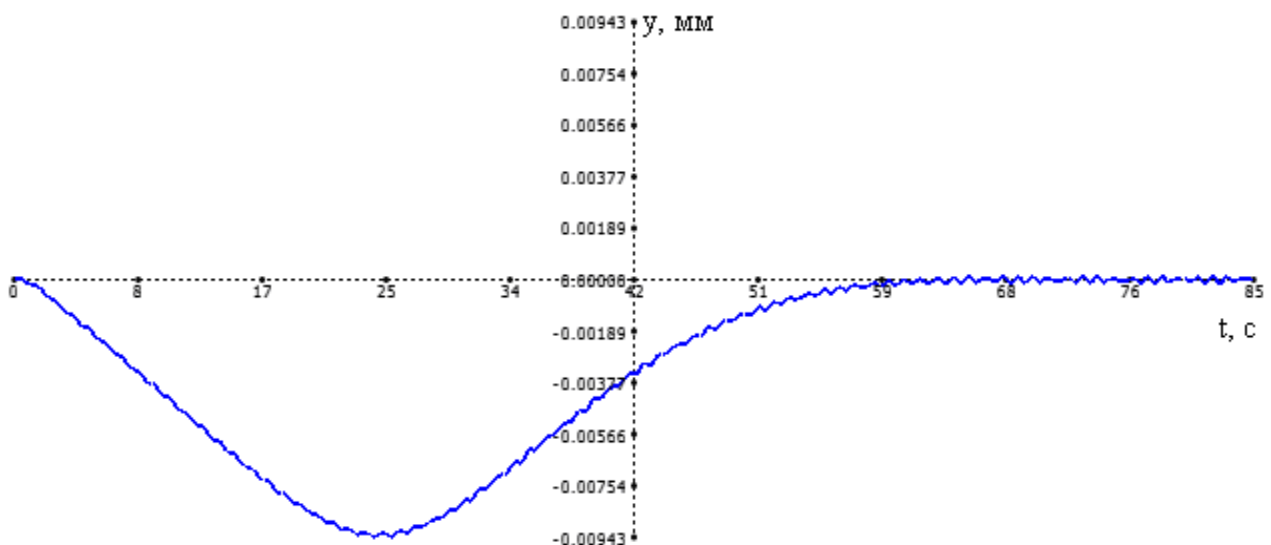


Рис. 9. Графік вертикальних переміщень (осадки) наплавного мосту під час руху одиничного автотранспорту за результатами чисельного моделювання (на прикладі автомобілю ГАЗ-63)

Порівняння теоретичних величин, отриманих при розрахунку запропонованої моделі в ПК «Belinda Structure 2014» з результатами натурних випробувань приведено в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльні дані чисельного моделювання та натурних випробувань
наплавного мосту

Тип машини	Максимальне значення осадки (вертикальні переміщення), см		Похибка, %
	розрахунок	експеримент	
Тяговий тепловоз ТУ-2 з п'ятьма платформами	93.4	90.3	3.4
ГАЗ-63	8.44	7.83	7.8
КамАЗ	36.7	35.1	4.6
КрАЗ	40.5	38.5	5.2
ЗІЛ-130	14.8	13.6	8.8

Як видно з даних, приведених в табл. 2, похибка результатів чисельного моделювання та натурних випробувань наплавного мосту становить 3.4 – 8.8%, що свідчить про достатню ступінь співпадіння отриманих даних та підтверджує коректність розрахункової моделі, яка запропонована у роботі.

У **четвертому розділі** викладено результати дослідження напружено-деформованого стану наплавного мосту з використанням запропонованої розрахункової моделі.

При моделюванні варіювалися параметри наплавного мосту (початкова осадка понтону) та умови експлуатації (вітровий район, температура води, швидкість руху поїзда). Діапазони значень кожного параметру приведені в табл. 3.

Розміри понтону були прийняті 11.0 м х 2.6 м х 1.40 м, довжина х ширина х висота, відповідно. На кожному етапі розрахунків змінювався один з визначених параметрів, а інші приймалися рівними значенню за замовчуванням.

Таблиця 3

Вихідні параметри розрахункової моделі наплавного мосту

№ п/п	Параметр	Одиниці виміру	Досліджуваний діапазон значень	Значення за замовченням
1	Початкова осадка понтону	м	0.10 ... 1.20	0.30
2	Швидкість течії водотоку	м/с	0 ... 2	1
3	Температура води	°C	0 ... 50	20
4	Вітровий район згідно ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи»	—	1 ... 5	3

В результаті були отримані діаграми згинальних моментів, поперечних сил та переміщень в балках прогонової будови наплавного мосту. В якості ілюстрації

результатів на рис. 10 приведена діаграма згинальних моментів, що виникають в перерізі балок прогонової будови в середині довжини наплавного мосту. На рис. 11 приведена діаграма поперечних сил, що виникають в перерізі балок прогонової будови.

Встановлено, що максимальні значення згинальних моментів та поперечних сил в балках прогонової будови виникають при максимальній початковій осадці плавучої опори. При цьому значення поперечних сил зменшуються від берегової частини до середини плавучої частини, де вони є максимальним.

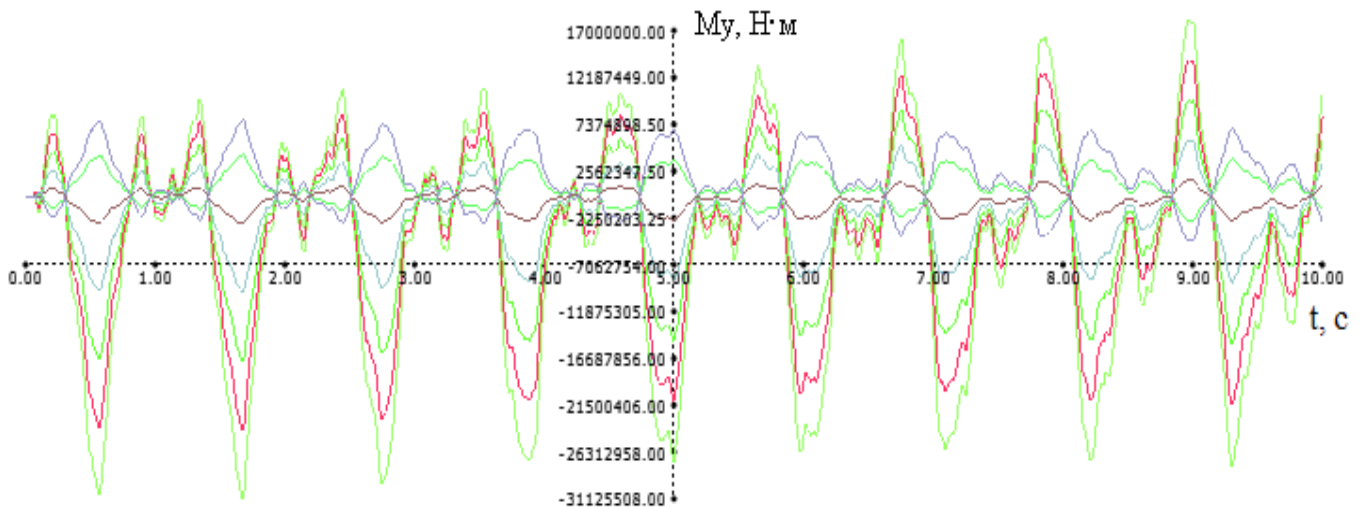


Рис. 10. Діаграма згинальних моментів M_y , що виникають в перерізі балок прогонової будови

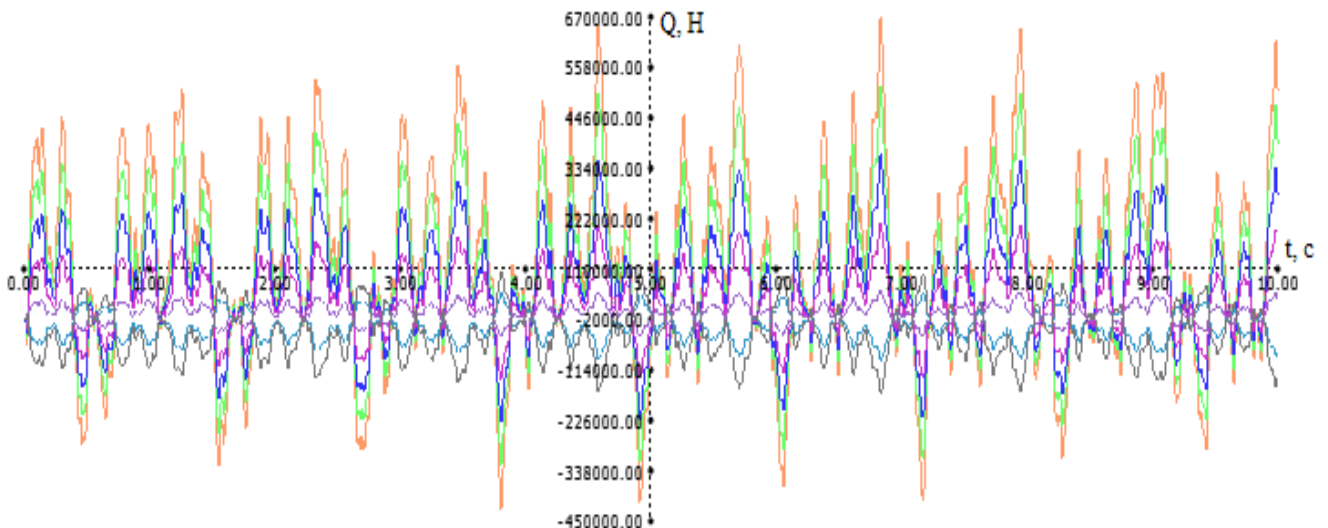


Рис. 11. Діаграма поперечних сил Q_z , що виникають в перерізі балок прогонової будови

Швидкість течії водотоку має суттєвий вплив на величину горизонтальних переміщень наплавного мосту, які збільшуються із збільшенням швидкості (рис. 12).

Температура води істотно не впливає на НДС, параметри якого для різних

температур відрізняються не більше ніж на 10 %.

Щодо впливу інтенсивності вітрового навантаження, то найбільш небезпечними для наплавного мосту виявляються навантаження першого вітрового району згідно ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи». Рекомендованими для зведення наплавних мостів є території, що відповідають 2 – 5 вітровим районам.

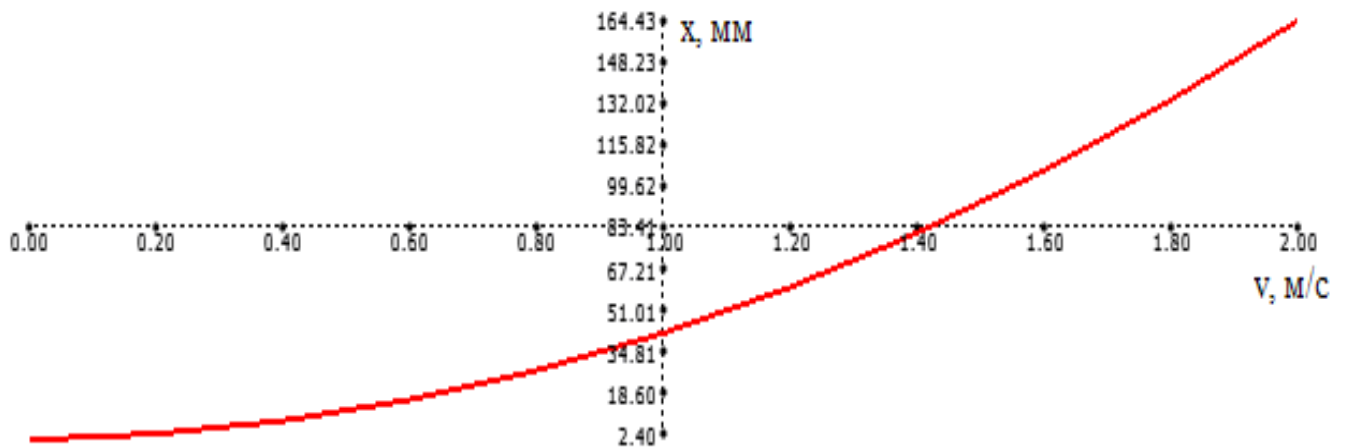


Рис. 12. Графік залежності максимальних горизонтальних переміщень від швидкості течії водотоку

Для дослідження впливу звичайного руху поїздів модель наплавного мосту була розрахована на навантаження від типових для України моделей поїздів (вагон УКВ 11-066, платформа 13-401, вагон-самоскид 31-634, піввагон 12-127, транспортери 3923 та 3994), в результаті чого були отримані уточнені дані щодо НДС конструкції наплавного мосту в залежності від конкретної моделі поїзду. В результаті виконаного моделювання були отримані фазові траєкторії «момент – переміщення» для кожного типу поїзда, які проілюстровані на прикладі вагона УКВ 11-066 (рис. 13).

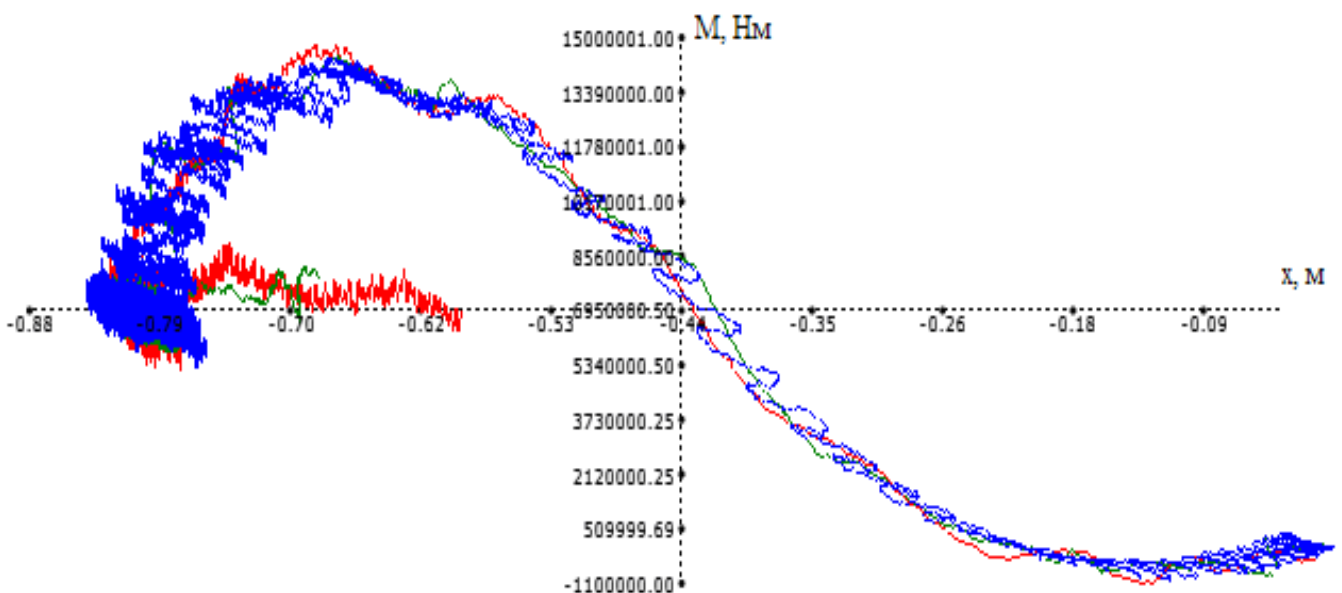


Рис. 13. Фазові траєкторії «момент-переміщення» (серія вагон УКВ 11-066)

На наступному етапі для дослідження напружено-деформованого стану в умовах швидкісного руху модель наплавного мосту була розрахована на вплив навантаження HSLM-A, згідно ДСТУ-НБ EN 1991-2:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости», для різних типів універсального поїзда A1...A10.

В результаті розрахунків за моделями швидкісного рухомого складу HSLM класів A1-A10 були отримані дані щодо величин вертикальних переміщень та прискорень, а також згинальних моментів в конструкціях наплавного мосту. В якості ілюстрації отриманих результатів на рис. 14 приведено графік лінійних прискорень наплавного мосту від впливу швидкісного рухомого складу HSLM-A1.

Результати моделювання роботи наплавного мосту за моделями швидкісного рухомого складу зведено до табл. 4.

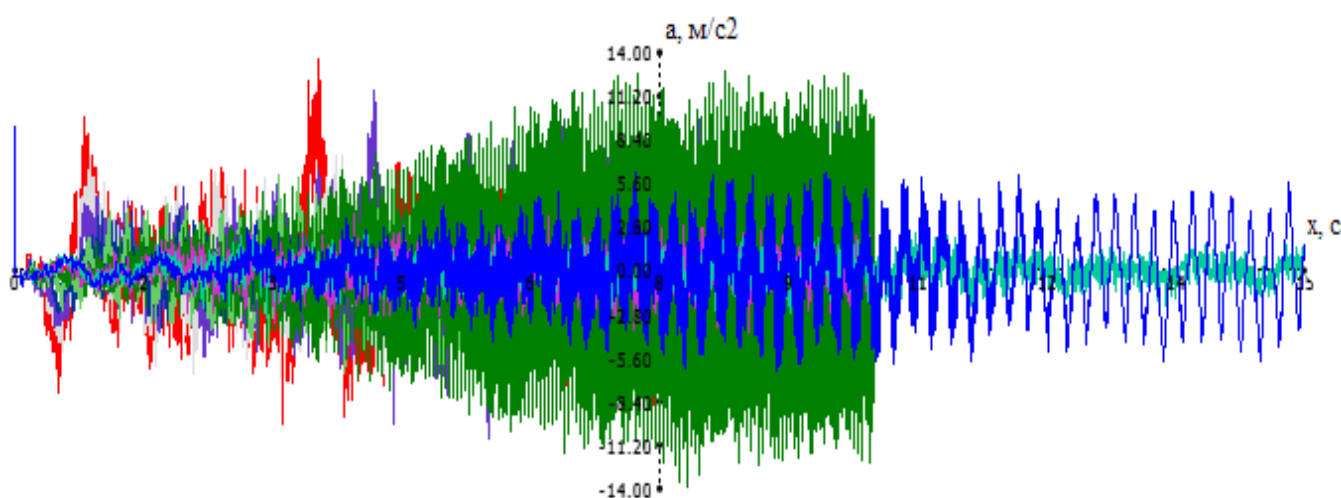


Рис. 14. Лінійні прискорення наплавного мосту від впливу швидкісного рухомого складу HSLM-A1

Таблиця 4

Результати моделювання роботи наплавного мосту
за моделями швидкісного рухомого складу HSLM

Тип універсального поїзда	Діапазон вертикальних переміщень, см	Діапазон вертикальних прискорень, м/с ²	Діапазон згинальних моментів, МН·м
A1	-46 ... +17	-14,0 ... +14,0	-11,8 ... +12,6
A2	-50 ... +10	-17,5 ... +17,5	-5,6 ... +11,8
A3	-45 ... +24	-14,0 ... +18,0	-12,3 ... +13,4
A4	-15 ... +14	-12,0 ... +16,0	-11,0 ... +11,0
A5	-26 ... +24	-11,0 ... +14,0	-12,8 ... +12,8
A6	-23 ... +20	-14,5 ... +14,0	-10,6 ... +12,0

Продовження табл. 4

A7	-24 ... +21	-10,0 ... +14,3	-11,5 ... +12,5
A8	-46 ... +27	-13,2 ... +14,5	-11,9 ... +12,4
A9	-46 ... +32	-18,6 ... +18,6	-11,0 ... +12,3
A10	-50 ... +30	-20,4 ... +20,4	-12,8 ... +13,8
Екстремуми	-50 ... +30	-20,4 ... +20,4	-12,8 ... +13,8

Як показали результати моделювання, значення параметрів НДС в елементах конструкції наплавного мосту збільшуються внаслідок підвищення швидкості руху поїзда. При цьому встановлено, що параметри НДС прогонової будови мосту за порядком збігаються з параметрами, розрахованими для вантажних поїздів із меншими швидкостями. У першому наближенні можна вважати, що наплавний міст може бути використаний під швидкісний залізничний рух.

У **п'ятому розділі** розглянуто технологічні особливості наведення наплавного мосту та організації берегоукріплювальних робіт, а також визначено економічний ефект від застосування конструктивного рішення понтону із трьох секцій та балок прогонових будов з перфорованою стінкою (перший варіант).

Запропонована в другому розділі конструкція порівнювалась із типовими конструкціями понтонів та балок залізничного наплавного мосту НЖМ-56 (другий варіант). Для аналізу була прийнята секція наплавного мосту з чотирьох прогонів, яка складається з п'яти понтонів і, відповідно, восьми балок прогонової будови. Довжина прогону балок прийнята стандартною $l_{beam}=6.25$ м. Вартість будівельних матеріалів прийнята згідно з поточними цінами в Україні. Результати розрахунків представлено в табл. 5.

Таблиця 5

Показники витрат та вартості матеріалів на секцію наплавного мосту

№ з/п	Найменування	Варіант 1		Варіант 2	
		Витрати, т	Вартість, тис.грн.	Витрати, т	Вартість, тис.грн.
1	Метал на виготовлення секцій понтону	18	198	59	649
2	Метал на виготовлення балок прогонових будов	15.68	172.48	19.36	212.96
3	Загалом:	33.68	370.48	78.36	861.96
4	Пластик на виготовлення секцій понтону	12	97.7	-	-
5	Всього на секцію:	-	468.18		861.96

Таким чином, за рахунок заміни крайніх секцій плавучої опори, по яким не відбувається рух транспорту, на пластикові, а також застосування балок з перфорованою стінкою витрати сталі зменшуються на 57%, а загальна вартість матеріалів на зведення секції наплавного мосту знижується на 393,78 тис. грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі викладено результати науково обґрунтованих досліджень, спрямованих на розв'язання актуальної науково-прикладної задачі удосконалення моделей розрахунку напружено-деформованого стану наплавних мостів та конструкції понтонів та прогонових будов наплавних мостів з можливістю їх використання у цивільному та транспортному будівництві. За результатами роботи було зроблено наступні висновки:

1. На основі проведеного аналізу існуючого досвіду та перспектив застосування наплавних понтонних мостів встановлено, що застосування даного типу споруд в умовах екстремальних ситуацій під час затоплення територій або виведення з ладу існуючих мостів є найкращим способом відновлення інфраструктури країни, а також вирішенням проблеми будівництва мостів у складних умовах при значній глибині водної перешкоди, складних інженерно-геологічних умовах дна водойми тощо.

2. Виходячи із особливостей та недоліків існуючих конструктивних рішень понтонів для улаштування наплавних мостів та поромних переправ було запропоновано конструкцію понтону із трьох секцій, в якій для середньої секції використовується стандартний металевий понтон типових моделей, а крайні секції виготовляються з пластикових понтонів аналогічної конструкції. Встановлені гранично допустимі значення прольоту балок прогонової будови, за яких для запропонованого конструктивного рішення задовольняються вимоги щодо плавучості. Обґрунтовано можливість застосування перфорованих двотаврів для виготовлення балок прогонових будов наплавних мостів.

3. На основі аналізу динамічної роботи наплавного мосту розроблена просторова розрахункова модель, яка дозволяє визначати параметри напружено-деформованого стану та динамічних характеристик конструкції наплавного мосту з урахуванням основних параметрів зовнішніх навантажень, а також впливу швидкості рухомого навантаження.

4. Проведені експериментальні дослідження роботи конструкцій наплавного мосту в натурних умовах під дією навантажень від залізничного та автомобільного транспорту. Результати проведених натурних випробувань наплавного мосту підтвердили коректність запропонованої розрахункової моделі.

5. Отримані дані щодо впливу параметрів наплавного мосту та зовнішніх навантажень, швидкості руху та моделі рухомого навантаження на напружено-деформований стан та динамічні характеристики наплавного мосту.

6. На основі проведених досліджень техніко-економічних показників наплавного мосту визначено економічний ефект від застосування запропонованого в розділі 2 конструктивного рішення, який становить 393,78 тис. грн. для секції наплавного мосту з чотирьох прогонів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горбатюк Ю. Н. Научно-теоретические и практические направления усовершенствования конструкций наплавных мостов / А. В. Радкевич, К. И. Солдатов, Ю. Н. Горбатюк // Международная научно-практ. конф. «Строительство и восстановление искусственных сооружений», г. Гомель, 2013. Ч. 1. – Гомель, 2013. – С. 45-49.
2. Горбатюк Ю. М. Дослідження застосування наскрізних двотаврів для прогонових будов наплавних мостів / Ю. М. Горбатюк, К. І. Солдатов, М. С. Папко // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2014. – № 2(50). – С. 173-186.
3. Горбатюк Ю. М. Аналіз результатів теоретичних розрахунків та натурних експериментів наплавного мосту / Ю. М. Горбатюк, К. І. Солдатов, В. Є. Артьомов // Вісн. Придніпровської держ. акад. буд-ва та архітектури. – 2015. – № 5 (206). – С. 17-25.
4. Горбатюк Ю. М. Конструкція мостів для швидкого наведення в екстремальних умовах / Ю. М. Горбатюк, В. М. Косяк, С. І. Олефіренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – С. 90-94.
5. Горбатюк Ю. М. Дослідження та техніко-економічне обґрунтування доцільності запровадження, комплексного виробництва габіонних конструкцій / А. В. Радкевич, Ю. М. Горбатюк, І. М. Євін, С. О. Яковлев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 162-167.
6. Горбатюк Ю. М. До питання динамічної роботи наплавних мостів / К. І. Солдатов, Ю. М. Горбатюк, Д. О. Курильченко // Зб. наук. пр. ДНУЗТ «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика». – 2012. – Вип. 2. – С. 83-93.
7. Горбатюк Ю. М. До питання нормування статичного навантаження на наплавні мости / Ю. М. Горбатюк, С. В. Ключник, М. К. Журбенко // Зб. наук. пр. ДНУЗТ «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика». – 2013. – Вип. 4. – С. 89-97.
8. Горбатюк Ю. М. Шляхи удосконалення конструкції наплавних мостів / К. І. Солдатов, Ю. М. Горбатюк // Зб. наук. пр. ДНУЗТ «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика». – 2014. – Вип. 5. – С. 92-97.
9. Горбатюк Ю. М. До питання допустимої швидкості руху поїздів по наплавних мостах / Ю. М. Горбатюк, К. І. Солдатов, В. Є. Артьомов // Зб. наук. пр. ДНУЗТ «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика». – 2014. – Вип. 6. – С. 83-91.
10. Gorbatiuk Y. M. Die forschung der modelle fur die bestimmung der frequenzen der freien schwingungen in der arbeit der aufschmelzenbrucken / Y. M. Gorbatiuk // Student scientific conference “Engineer of the 3rd Millennium” : teses. – Dnipropetrovsk, 2012. – P. 88-89.
11. Горбатюк Ю. М. Аналіз застосування різних розрахункових схем для обчислення власних коливань наплавних мостів / Ю. М. Горбатюк, Є. О. Євдокименко, Д. О. Курильченко // Тези доп. 72-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», ДНУЗТ, 2012 р. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 153-155.
12. Горбатюк Ю. М. Впровадження нових наукових досягнень стосовно

удосконалення конструкції наплавних мостів / Ю. М. Горбатюк, Ю. О. Дацків // Тези доповідей 73-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», ДНУЗТ, 2013 р. – С.182-183.

13. Пристрій для кріплення прогонових будов до паль опор мостів для швидкого наведення: Пат. 31838 Україна, МПК E01D 19/04 / Горбатюк Ю.М. (Україна) - № u200713585; заявл. 05.12.2007; опубл. 25.04.2008, Бюл. № 8. – 4 с.

АНОТАЦІЯ

Горбатюк Ю. М. Удосконалення конструкції та моделей розрахунку напружено-деформованого стану наплавних мостів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, Дніпропетровськ, 2015.

Дисертаційна робота присвячена питанням удосконалення конструкції та моделей розрахунку напружено-деформованого стану наплавних мостів.

Проведено аналіз існуючого досвіду та перспектив застосування наплавних понтонних мостів та встановлено, що застосування даного типу споруд в умовах екстремальних ситуацій під час затоплення територій або виведення з ладу існуючих мостів є найкращим способом відновлення інфраструктури країни, а також вирішенням проблеми будівництва мостів у складних умовах при значній глибині водної перешкоди, складних інженерно-геологічних умовах тощо.

Виходячи із особливостей та недоліків існуючих конструктивних було удосконалено конструкцію понтону та балок прогонової будови рішень для улаштування наплавних мостів. Встановлені гранично допустимі значення прольоту балок прогонової будови. Проведено дослідження статичної роботи наплавного мосту, на основі яких визначено оптимальну довжину балок прогонової будови.

Запропоновано розрахункову модель, яка дозволяє визначати параметри напружено-деформованого стану та динамічних характеристик наплавного мосту з урахуванням основних параметрів зовнішніх навантажень. З метою верифікації запропонованої розрахункової моделі проведені натурні випробування наплавного мосту з пропуском залізничного рухомого складу та автомобільної техніки, які підтвердили коректність запропонованої розрахункової моделі.

Отримані дані щодо впливу параметрів наплавного мосту та зовнішніх навантажень на напружено-деформований стан наплавного мосту.

Отримані уточнені дані щодо напружено-деформованого стану конструкції наплавного мосту в умовах звичайного руху типових для України моделей поїздів та швидкісного руху з використанням моделі навантаження HSLM-A, згідно EN 1991-2.

Систематизовано технологічні особливості будівництва та технологічного супроводу наплавних мостів. Визначено економічний ефект від застосування запропонованих конструкцій понтону та балки прогонової будови, який складає 393,78 тис. грн.

Ключові слова: наплавні мости, понтони, наскрізні двотаври, удосконалення конструкції, швидкісний рух, напружено-деформований стан, статика, динаміка.

АННОТАЦИЯ

Горбатюк Ю. Н. Совершенствование конструкции и моделей расчета напряженно-деформированного состояния наплавных мостов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» Министерства образования и науки Украины, Днепрпетровск, 2015.

Диссертационная работа посвящена вопросам совершенствования конструкции и моделей расчета напряженно-деформированного состояния наплавных мостов.

Проведен анализ существующего опыта и перспектив применения наплавных понтонных мостов. Установлено, что применение данного типа сооружений в условиях экстремальных ситуаций во время затопления территорий или выхода из строя существующих мостов является лучшим способом восстановления инфраструктуры страны, а также решением проблемы строительства мостов в сложных условиях при значительной глубине водной преграды, сложных инженерно-геологических условиях и т. п.

Исходя из особенностей и недостатков существующих конструктивных решений была усовершенствована конструкция понтона и балок пролетного строения для устройства наплавного моста. На основе анализа статической работы понтона, установлены предельно допустимые значения пролета балок пролетного строения, при которых для предложенного конструктивного решения удовлетворяются требования по плавучести.

Проведено исследование статической работы секции наплавного моста в качестве паромной переправы для перевозки трех или шести вагонов, на основе которых определена оптимальная длина балок пролетного строения.

Для разработки расчетной модели был проведен анализ динамической работы наплавного моста по упрощенным расчетным схемам, который показал, что реальной работе предложенной конструкции наплавного моста соответствует схема в виде неразрезной балки на упругих опорах с сосредоточенными массами в местах упругих опор. С использованием программного комплекса «Belinda Structure 2014» разработана пространственная расчетная модель, которая позволяет определять параметры напряженно-деформированного состояния и динамические характеристики наплавного моста с учетом основных параметров внешних нагрузок.

С целью верификации предложенной расчетной модели проведены натурные испытания наплавного моста с пропуском железнодорожного подвижного состава и автомобильной техники. Погрешность результатов численного моделирования и натурных испытаний наплавного моста составляет 3.4 - 8.8%, что свидетельствует о достаточной степени совпадения полученных данных.

Получены данные о влиянии параметров наплавного моста и внешних нагрузок на напряженно-деформированное состояние наплавного моста с использованием предложенной расчетной модели. Установлено, что максимальные значения

изгибающих моментов и поперечных сил в балках пролетного строения возникают при максимальной начальной осадке плавучей опоры. Скорость течения водотока оказывает существенное влияние на величину горизонтальных перемещений наплавного моста, которые увеличиваются с увеличением скорости. Температура воды фактически не влияет на напряженно-деформированное состояние. Рекомендованными для возведения наплавных мостов являются территории, которые соответствуют 2 - 5 ветровым районам.

Получены уточненные данные о напряженно-деформированном состоянии конструкции наплавного моста в условиях обычного движения типовых для Украины моделей поездов и скоростного движения с использованием модели нагрузки HSLM-A, в соответствии с EN 1991-2.

Систематизированы технологические особенности строительства и технологического сопровождения наплавных мостов.

Установлено, что за счет замены крайних секций плавучей опоры, по которым не происходит движение транспорта, на пластиковые, а также использования балок с перфорированной стенкой затраты стали уменьшаются на 57%. Определен экономический эффект от применения предложенных конструкций понтона и балки пролетного строения, который составляет 393.78 тыс. грн.

Результаты диссертационной работы внедрены практику работы понтонно-мостовых подразделений Государственной специальной службы транспорта Украины и учебный процесс в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Ключевые слова: наплавные мосты, понтоны, двутавры с перфорированной стенкой, совершенствование конструкции, скоростное движение, напряженно-деформированное состояние, статика, динамика.

SUMMARY

Gorbatyuk Yu. M. – The improving of the design and checking the calculation of a stress-strain state of the floating bridges. – Manuscript.

The dissertation for the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences in Specialty 05.23.01 – The Building Designs, Buildings and Constructions. – Higher State Educational Institution Prydniprovsk State Academy of Construction and Architecture, Dnipropetrovsk, 2015.

The dissertation is devoted to the problems of improving the design and checking the calculation of a stress-strain state of the floating bridges.

The analysis of the existed experience and prospects of pontoon bridges use is carried out. It is determined that application of such structures is very promising for extreme situations of flooding or demolition of existed bridges, where there is a need to restore infrastructure of a country and also could be a solution of bridge construction in difficult conditions such as high deep water, complicated geological conditions, etc.

According to the peculiarities and disadvantages of the existed pontoon bridge structures the pontoon and span beam structure were improved. Design model of pontoon bridge was proposed for parameters of stress-strain state and dynamic characteristics determination taking into account basic external loading parameters. Real-scale test of pontoon bridge on passage of train and vehicle was carried out to verify proposed model.

Data about an influence of pontoon bridge characteristics and external loading parameters on stress-strain state were obtained. Refined data about stress-strain state of pontoon bridge in conditions of passage of common for Ukraine types of trains and high-speed passage according to EN 1991-2 for HSLM-A load model.

Keywords: floating bridges, pontoons, through-beams, improving of the design, a fast traffic, a deflective state, statics, dynamics.

Горбатюк Юрій Миколайович

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА МОДЕЛЕЙ РОЗРАХУНКУ
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НАПЛАВНИХ МОСТІВ**

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку .Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 1,0. Зам. №

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010.