

КОНСТРУКЦІЇ МОСТІВ ДЛЯ ШВИДКОГО НАВЕДЕННЯ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

Розглянуті основні принципи та методи проектування наплавних мостів. Головна увага приділена гідрологічним аспектам проектування наплавних мостів, як найменш дослідженій області, що має пропуски в нормативній базі. Доведена важливість урахування не тільки максимальних гідрологічних характеристик, але й мінімальних, які представляють один з екстремумів гідрологічного режиму.

Рассмотрены основные принципы и методы проектирования наплавных мостов. Главное внимание уделено гидрологическим аспектам проектирования наплавных мостов, как наименее исследованной области, имеющей пробел в нормативной базе. Доказана важность учета не только максимальных гидрологических характеристик, но и минимальных, которые представляют один из экстремумов гидрологического режима.

Basic principles and methods of planning of floating bridges are considered. Above all attention is spared to the hydrological aspects of planning of floating bridges, as the area of knowledge that is not explore so much. Importance of account is proved not only maximal hydrological descriptions but also minimum, which represent one of features of the hydrological mode.

Наплавні мости будували в давнину і продовжують будувати на всіх континентах. У сучасному мостобудуванні цей вид мостів знаходить широке застосування в США, Норвегії, Росії і деяких країнах Азії. У російській будівельній практиці наплавні мости більше відомі як тимчасові споруди або як мости швидкого наведення при проведенні аварійно-рятувальних робіт в умовах надзвичайних ситуацій (стихійних бід) і військових дій. Також вважається за доцільне їх пристрій на дорогах з низькою інтенсивністю руху транспортних засобів, тобто на дорогах нижчих категорій.

Останнім часом досить активно як у пресі, так і на міжнародних конференціях і симпозіумах обговорюється можливість будівництва мостових переходів значної протяжності через морські протоки: Берінгов (Росія–Америка); Керченський (Крим–Кавказ); Мессіна (Італія–Сицилія); Гібралтар (Іспанія–Марокко); Невельського (Росія–Сахалін). Будівництво вказаних споруд відрізняють виключно складні інженерно-гідрометеорологічні і геологічні умови, глибини заставляння фундаментів опор до 100 м, підвищених вимог морського судноплавства. Очевидно, що за таких умов варіант наплавного моста може виявитися цілком конкурентноздатним.

В теперішній час в практиці проектування і будівництва мостів виник ряд нових характерних напрямів, коли потрібне проведення поглибленого вивчення комплексу питань по великим мостовим переходам із залученням фахівців суміжних спеціальностей (навігація морських водних шляхів, суднобудування, морська гідрологія і метеорологія).

Для великих водних перешкод, до яких відносяться, головним чином, гирла річок при великій

глибині води і мулистому ґрунті дна, морські протоки, пристрій наплавних мостів може бути єдиним економічно і технічно доцільним.

Тому стосовно наплавних мостів виникає додаткова складність, яка виражається у тому, що для обґрунтування пристрою цього типу мостів потрібні не тільки максимальні гідрологічні характеристики, але і мінімальні, які також представляють один з екстремумів гідрологічного режиму.

До теперішнього часу як в світовій, так і в російській практиці накопичено значний досвід проектування, будівництва і експлуатації наплавних мостів. Цей досвід необхідний для використання при розробці нових проектів і подальшого вдосконалення нормативних документів. Разом з тим виявлено, що в даний час в проектних організаціях ослаблені навички проектування наплавних мостів, кількість фахівців, здатних якісно виконати розробку проектної документації, обмежена.

Наплавний міст включає плавучу частину, перехідні і підхідні ділянки (рис. 1). Плавуча частина – це плавучі опори, на які спирається прогінна будова.

Перехідна ділянка це один прогін для сполучення плавучої частини, що має змінний рівень, з підхідною (береговою) ділянкою, що має постійний рівень. Підхідною ділянкою може бути як насип, так і естакада, яка влаштовується біля берегів. Невідомою частиною наплавного мосту є закріплення проти зносу його течією, подовжнім і поперечним вітром або аварійним гальмуванням транспортних засобів на мосту. Як правило, передбачають сумісне подовжнє і поперечне закріплення мосту. При необхідності пропуску судів в наплавних мостах вла-

птовуюють вивідні ланки або розлучні прогони.

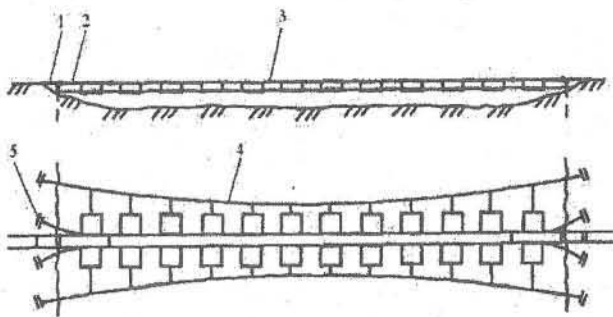


Рис. 1. Схема основних частин наплавного мосту:
1 – берегова (підхідна) частина; 2 – перехідна (з'єднувальна) частина; 3 – річкова (плавуча) частина; 4 – поперечне закріплення; 5 – подовжнє закріплення

Наплавні мости влаштовують через річки з великою глибиною води і слабкими ґрунтами в основі, коли виникають труднощі при будівництві фундаментів мостових опор, які спричиняють додаткові витрати на будівництво. Можливість улаштування наплавних мостів визначається відповідними гідрологічними умовами: малою швидкістю течії; відсутністю хвильової дії, крижаного покриття або наявністю сприятливого льодового режиму. Наплавні мости нерідко влаштовують на дорогах нижчих категорій, а також як тимчасові мости, наприклад, при зведенні постійного мосту на якийсь час його будівництва (рис. 2).

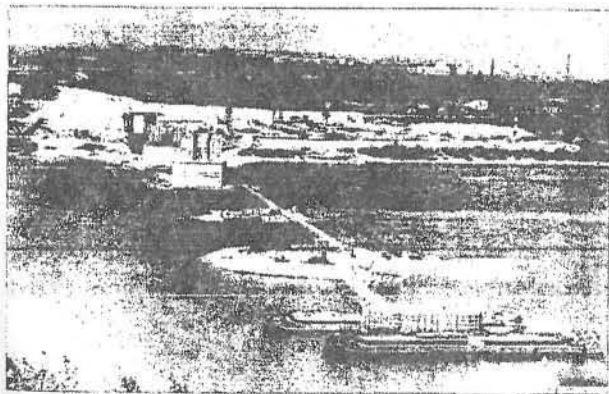


Рис. 2. Тимчасовий наплавний міст для будівництва моста через р. Оку в м. Нижньому Новгороді

Наплавні мости різноманітні за типами, конструктивними ознаками, матеріалами і режимом функціонування у внутрішньорічному і багаторічному періодах.

За конструктивними ознаками наплавні мости прийнято розрізняти за системою річкової частини: розрізна, шарнірна, нерозрізна.

За матеріалом наплавні мости можуть бути дерев'яними, металевими, залізобетонними

або виконаними із комбінації матеріалів.

Плавучими опорами дерев'яних наплавних мостів служать плашкоути (плоскодонні дерев'яні плавучі опори). В опорах металевих наплавних мостів застосовують закриті понтони різної форми (прямокутної, круглої, овальної). Опорами залізобетонних наплавних мостів служать залізобетонні понтони замкнутої конструкції.

По режиму функціонування наплавні мости можуть бути стаціонарними і сезонними. Стаціонарні наплавні мости працюють без перерви протягом всього року. Сезонні наплавні мости розводять на період пропуску паводків і льодоходу.

У сучасній російській практиці наплавні мости найчастіше використовувалися і використовуються як тимчасові, сезонні споруди, як правило, що розбираються на зиму. Достатньо широко наплавні мости застосовуються в ході будівництва постійних мостів і гідровузлів. Для швидкозведених переправ можуть використовуватися понтонно-мостові парки.

Понтонні парки поділяються на самохідні і несамохідні. Основна відмінність полягає у тому, що самохідні парки мають в три рази більше осідання (близько 2 м) і непридатні на мілководді, при швидкій течії.

У сучасній вітчизняній будівельній практиці для проектування наплавних мостів використовуються такі нормативні документи і рекомендації: ДБН В.2.3-14.2006 Мости та труби, правила проектування, Методичні вказівки, Інструкція ПНМ-79, Методичні рекомендації РНМ-79. Інструкція розроблена стосовно проектування наплавних мостів під залізничне навантаження. Як додаток до цієї Інструкції і для сумісного використання складені Методичні рекомендації, які містять методику загального розрахунку наплавних мостів з місцевих плавучих засобів річкового флоту. У них висловлені основні технічні умови проектування наплавних залізничних мостів, правила конструювання, методи розрахункових перевірок остійності, плавучості, загальної міцності. Також в них окреслені особливості проектування мостів на окремих плавучих опорах і мостів-стрічок, представлені алгоритми-прикладні розрахунки наплавних мостів розрізної, нерозрізної і шарнірної систем.

Розглянемо основні технічні нормативи і рекомендації на наявність вимог до розрахунків на дію водного потоку.

На відміну від ДБН В.2.3-14, який не відображає специфіки проектування наплавних мостів на дію водного потоку, Методичні вказівки, Інструкція і рекомендації встановлюють необхідність визначення найвищого і найнижчого рівнів води за період експлуатації; вимоги до

обліку гідродинамічної дії на плавучі опори; регламентують методику перевірки гідродинамічної стійкості моста шляхом обчислення критичних швидкостей перебігу води відносно моста; встановлюють необхідність призначення заходів захисту берегових частин від підмиву.

Методичні вказівки рекомендують визначати найвищий і найнижчий рівні води за період експлуатації із забезпеченістю 20 %. А для переправ, споруджених в особливий період, визначення рівнів потрібно виконувати із забезпеченістю 10 %.

Проте, відзначимо, що дані Методичні вказівки прив'язані до норм для короткострокових споруд, термін служби яких звичайно не перевищує 10 років. Тому для постійних наплавних мостів з терміном служби 75...100 років такий підхід не можна визнати обґрунтованим. Також невизначене поняття – особливий період, коли рівні треба приймати із забезпеченістю 10 %.

Узагальнення зарубіжного і вітчизняного досвіду проектування і експлуатації дозволило сформулювати мету, яка повинна відображатися в критеріях проектування, і встановлювати спеціальні вимоги, які забезпечують ефективність застосування і надійне функціонування наплавних мостів. Основні встановлені вимоги повинні забезпечувати термін служби наплавних мостів – 15...20 років з низькими експлуатаційними витратами, надійним функціонуванням, безпекою і комфортністю проїзду в звичних (регулярних) умовах експлуатації; стійкість при пошкодженнях від катастрофічних навантажень і екстремальних гідрометеорологічних дій; а також у разі окремого пошкодження не повинні бути схильні до ефекту прогресуючого руйнування.

Проектування конструкцій наплавних мостів ведеться на їх навантаження та їх з'єднувань, які регламентовані ДБН В.2.3-14. Проте, наплавні мости мають просторову комбінацію елементів, відмінних від високowodного моста тим, що, окрім регламентованих навантажень, є ще і інші додаткові чинники, що мають гідрометеорологічну природу, що впливають на надійне функціонування всієї споруди: амплітуда коливання рівнів води; перебіг води; вітрові і хвильові дії; приливно-відпливні явища і льодові дії (залежно від місця розташування). Таким чином, працездатність наплавних мостів дуже чутлива до дії гідрометеорологічних чинників.

Проблема визначення амплітуди коливання рівнів води є центральною в обґрунтуванні надійного функціонування наплавного моста. Від величини цієї амплітуди залежать висота моста, довжина підхідної і з'єднувальної частин, відмітки брівки земляного полотна у підхідної частини, тривалість і безперебійність функціонування моста. Проте, рішенню цієї проблеми не

додавалося серйозного наукового значення.

Аналіз діючих норм і рекомендацій, показав, що в них відсутні вимоги до встановлення розрахункової амплітуди коливання рівнів води і не регламентовані методи визначення розрахункових рівнів води. Тому введемо нове поняття – розрахункова амплітуда коливання рівнів води (Д). За A прийматимемо різницю між розрахунковим (максимальним) рівнем високих вод (РРВВ) і розрахунковим (мінімальним) рівнем низьких вод (рис. 3). При піднятті рівня води вище за розрахунковий рівень високої води (РРВВ) або опусканні нижче за розрахунковий рівень низької води (РРНВ) нормальна робота наплавного моста припиняється. Таким чином, встановлюються граничні умови функціонування моста.

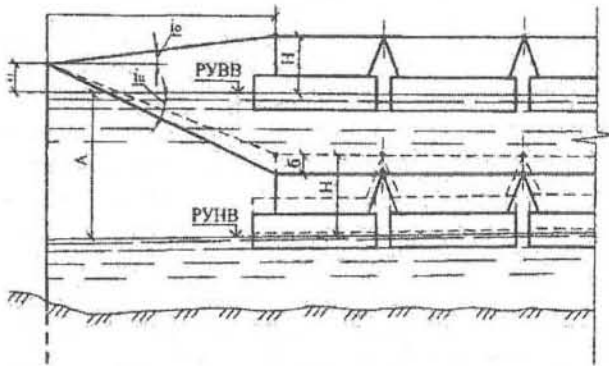


Рис. 3. Схема для визначення розрахункової амплітуди коливання рівнів води: A – розрахункова амплітуда коливання рівня води в річці; b – найбільше осідання точки того, що спирається містка на береговій ланці від тимчасового навантаження; h – висота настилу в'їздів над РРВВ (або над щонайвищим рівнем прийнятої розрахункової амплітуди); H – висота настилу плавучої частини над рівнем води при постійному навантаженні; i – нахил з'єднувальної частини при РРВВ і відсутності тимчасового навантаження; L – нахил при РРНВ за наявності тимчасового навантаження на мосту; L – довжина з'єднувальної частини

Тривалість надійної роботи наплавного мосту безпосередньо пов'язана з вибраними РРВВ і РРНВ і залежить від тривалості перерв. Перерви носять стихійний характер і можуть привести до припинення роботи наплавного моста і відповідно транспортної мережі, на якій він розташований. Розглянемо поняття перерви в роботі наплавного моста детальніше.

Перерви можуть бути очікуваними і незапланованими. Очікувані перерви співвіднесені з періодом проходження весняного і осіннього льодоходів, для цього передбачається розведення мосту, а в окремих випадках його демонтаж. Ці перерви піддаються прогнозу, оскільки наступають щорічно в певний час, і їх можна планувати наперед.

Незаплановані перерви наступають раптово унаслідок значного підйому або спаду рівнів води, які не враховувалися при виборі і обґрунтуванні РРВВ і РРНВ. Такі перерви можуть завдати значного матеріального збитку через простий транспортних засобів.

З практики проектування відомо, що розрахункові рівні води для обґрунтування функціонування наплавного мосту визначали аналогічно методу визначення розрахункового судноплавного рівня води для мостів. Проте знайдені таким методом розрахункові рівні води є тільки першим наближенням. Основу розрахунків складають графіки річного ходу рівнів води за багаторічний період. Цей метод не вимагає встановлення ВП і орієнтований тільки на допустиму величину можливої перерви функціонування. Тоді як сучасні нормативні вимоги встановлюють необхідність дотримуватися заданої вірогідності перевищення, співвіднесеної із ступенем відповідальності споруди.

Дослідженнями характеру емпіричних кривих розподілу вірогідності перевищення рівнів по ряду річок з різними умовами формування і прояву їх середньорічного річкового стоку встановлена необхідність індивідуального підходу до апроксимації цих кривих у вигляді графоаналітичних або графічних залежностей. Також рядом досліджень встановлена можливість застосування параболічних кривих і кривих нормального розподілу ВП для встановлення величин гідрологічних характеристик рідкісної повторюваності. Ці криві достатньо повно відповідають емпіричним точкам річних максимумів і характеру асиметричності емпіричних розподілів.

Встановлення характеристик річних мінімумів (РРНВ) стосовно наплавних мостів є основним завданням. Дослідження цієї спрямованості не проводилися. Тому тут сформулюємо основні відправні моменти.

При будівельному проектуванні використовуються низькі гідрологічні характеристики в інтервалі забезпеченості від 75 до 99%. Звичайно для різних цілей водогосподарського проектування в цьому діапазоні визначаються розрахункові рівні меженних вод. Заздалегідь можна рекомендувати для визначення найбільшої різниці рівнів води, очікуваної за період експлуатації наплавного мосту, наприклад, віднесеного до 2 класу відповідальності, приймати щорічну ВП рівнів води для основного розрахункового випадку 0,5 і 99,5 %.

Швидкість течії води вимагає рішення двох важливих проблем. Перша проблема – надійність закріплення мосту, яка визначається гідродинамічним опором потоку. Друга – стійкість моста в набігаючому потоці, тобто збереження плавучос-

ті при взаємодії моста з водним потоком.

Питання обліку гідродинамічної дії водного потоку стосовно мостів-стрічок типу ПМПІ, графічна залежність гідродинамічного опору від ширини стрічки і вантажопідйомності мосту, а також відстані між вантажами для різних значень швидкості течії і глибини води достатньо добре досліджені. Причому залежності відносяться до наплавних мостів, як обладнаним гидропшитами, так і без них.

Надійність закріплення наплавного мосту на течії визначається розрахунком міцності моста на дію вертикального навантаження і горизонтального навантаження від вітрової дії та швидкісного натиску потоку. Графічні залежності дозволяють також визначити допустиму довжину мостів-стрічок з кріпленням берегових кінців відтяжками залежно від гідродинамічного і вертикального навантаження. Крім того, дані рекомендації по вибору схем закріплення мостів відтяжками при рівномірній і нерівномірній течії річки, а також при значній несиметрії положення стрижня потоку відносно берегів.

Вітрові і хвильові дії визначають вибір основних параметрів конструкції наплавного моста. Хвильове навантаження функціонально залежить від швидкості вітру, його напрямку і тривалості, довжини розгону, конфігурації берегової лінії водної перешкоди і глибини води. У світлі сучасних уявлень про безпеку інженерних споруд при проектуванні необхідно розглядати звичні і екстремальні умови експлуатації. Відповідно до Рекомендацій екстремальні штормові умови рекомендовано для вітрових і хвильових дій приймати із забезпеченістю 1 %. Тут же звернемо увагу, що питання поєднання навантажень в умовах їх екстремального прояву мало досліджені, не мають однозначного рішення і єдиного методологічного підходу. Проте, слід визнати за обґрунтовані рекомендації те, що в поєднаннях з екстремальними хвильовими навантаженнями тимчасове навантаження (навантаження від транспортних засобів) не враховується.

На відміну від мостів на капітальних опорах наплавні мости схильні до явища розгойдування більшою мірою. Наплавний міст після проїзду вантажного автомобіля тривалий час скоює повільні коливання. При проході подальших автомобілів під час опускання ланки відбувається збільшення розгойдування. Враховуючи, що власні періоди коливань наплавних мостів можуть бути співставлені з періодами проходження навантажень, динамічний розрахунок набуває визначального значення.

Комплекс інженерних розрахунків при проектуванні наплавних мостів встановлює необхідність обов'язкового виконання динамічних розрахунків з можливим використанням методу скінчених елементів.

При проектуванні також слід встановлювати граничні рівні гідрометеорологічних дій, при перевищенні яких експлуатація моста може бути припинена. Наприклад, для типових конструкцій наплавних мостів такими межами можуть служити висота хвилі більше 1,2 м і швидкість вітру понад 15 м/с.

Проте, на думку авторів статті, при розробці проектної документації необхідно не просто встановлювати обмеження, а передбачати спеціальні заходи на випадок можливого прояву екстремальної дії з оцінкою ступеня ризику перевищення прийнятої межі. Крім того, пропонується доцільним виконувати прогноз можливого прояву гідрометеорологічних чинників в період виробництва будівельних робіт і передбачуваного терміну служби мостової споруди.

Однією з найважливіших експлуатаційних якостей наплавного моста є можливість не тільки вивести зі складу моста ланку або розвести весь міст, але і прибрати при необхідності окремих понтонів, причому без попереднього підведення запасного. При цьому пропуск транспортних засобів по мосту не припиняється. Цим вищезазначеним зручностям експлуатації відповідає шарнірна або нерозрізна системи, тоді як за економічними показниками перевага залишається на боці простої балочно-розрізної системи.

В той час, при споруді наплавних мостів балочно-розрізних систем можуть з'явитися ускладнення, особливо при великій глибині води. У разі втрати плавучості хоч би одного понтона руйнування розповсюджується на два суміжні прольоти. А при виведенні одного понтона необхідна одночасна заміна його запасним, що зв'язано з додатковими труднощами.

Іншою важливою експлуатаційною перевагою є застосування великих прольотів, що забезпечує вільний пропуск весняного льодоходу, зниження експлуатаційних витрат за рахунок меншої кількості плавучих опор, а також підвищену стійкість моста при хвилювих діях.

Підводячи підсумки обговорення обґрунтування найбільш доцільної системи наплавного моста, відзначимо, що при виборі варіанту економічні показники можуть йти в розрізі із перевагами експлуатації. Тому стосовно наплавних мостів оптимізацію схеми доцільно виробляти виходячи з експлуатаційних міркувань.

Наплавні мости є одними з різновидів комплексу водопропускних споруд на діючій транспортній мережі.

Конструктивно-технологічні рішення, транспортно-експлуатаційні якості і гідротехнічні властивості цих споруд багатифункціональні. Вони здатні забезпечити безпечне функціонування в умовах дії паводків і в міжпаводочний (меженний) період.

Не можна не відзначити, що проектування на-

плавних мостів зумовлює необхідність рішення комплексу проблемних питань, що не мають нормативного забезпечення. За складом, цей комплекс навіть ширший за комплекс проектних обґрунтувань будівництва висоководних мостів і має свої специфічні особливості. Так, найбільш важливою характеристикою, що визначає основні конструктивні параметри наплавних мостів, є амплітуда коливання рівнів води. Питання встановлення нормативних критеріїв ВП гідрологічних характеристик вимагають проведення подальших наукових досліджень. Необхідне доповнення і переробка будівельних норм, в яких була б відображена специфіка наплавних мостів, а також розробка методичних і рекомендаційних документів.

Все ж таки практика показує, що, не дивлячись на пропуски в нормативній базі, при серйозному проектному опрацюванні, належної експлуатації наплавні мости є безпечними, ефективними, довговічними, комфортними для руху транспортних засобів мостовими спорудами. Не дивлячись на багато проблемних питань проектування і споруди, цей тип мостів, будучи найдавнішим, що використовувався для перетину водних перешкод, знайде ширше застосування в майбутньому.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Методические указания по проектированию плавучих средств / Министерство обороны СССР. – М.: Воениздат, 1979. – 184 с.
2. Инструкции по проектированию железнодорожных наплавных мостов и паромных переправ (ПНМ-79) / Минтрансстрой СССР, ВПТИТрансстрой.: – М., 1980. – 165 с.
3. Телов В. И. Наплавные мосты, паромные и ледяные переправы / В. И. Телов, И. М. Кануком; Под редакцией В. И. Телова. – М.: Транспорт, 1978. – 384 с.
4. ДБНВ.2.3-14.2006. Мости та труби. Правила проектування.
5. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / ГГИ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 448 с.
6. Селиверстов В. А. Нормативные требования и рекомендации по определению факторов гидрометеорологических воздействий и нагрузок для проектирования временных и вспомогательных сооружений / Автомоб. дороги : информ. сб. / Информавтодор. – 1997. – с. 8-31.
7. Наплавной железнодорожный мост НЖИ-56 / Министерство обороны СССР. – Воениздат, 1977. – 341 с.

Поступила в редколлегию 17.03.07.