

## Металеві мости: три тисячі років еволюції

Міст «Аркадіко» в Греції – один з найдавніших мостів світу, який зберігся й використовується досі. Побудований ще за часів бронзового століття, він має приблизний вік у 3300 років.



Чи думали будівельники, складаючи «Аркадіко» з вапнякових валунів модною мікенською кладкою «Циклоп», ще й без застосування цементу, що по ньому будуть бадьоро крокувати не тільки місцеві жителі, але і натовпи туристів по тисячоліттях? Як далеко вперед дивляться сучасні мостобудівники, зводячи свої мости? З чого складаються

[металеві мости](#)

та які будівельні мостові матеріали використовуються?

### Балкові мости

Перед тим, як заглибитися в цю тему, зауважимо, що, великою мірою, будь-який міст складається з прогонових будов (крім інших функцій, на них розташовується дорога для автомобільного транспорту, залізничні шляхи для поїздів, там може бути пішохідний перехід або взагалі трубопровід) та опор.

Конструкцію мосту визначають саме прогони – починаючи від найпростіших балкових, аркових, ферменних, підвісних та рамних, закінчуючи більш складними вантовими (є й інші, менш поширені типи сталевих мостів). Прогонові будови спираються на опори, а вже ті – на фундамент моста.

Крім того, якщо ви збираєтесь побудувати сталевий міст, вам знадобляться базові конструктивні елементи: балки, арки, ферми та підвіси. Різні комбінації цих чотирьох складових дозволяють архітекторам та мостобудівникам втілювати в життя навіть найвигадливіші дизайнерські рішення.



Отже, повторимося – балкові мости є найбільш простим видом таких споруд. Роль прогонових будов для таких мостів виконують балки, що перекривають відстань між опорами.

З точки зору законів фізики, балкова система характеризується відсутністю горизонтального навантаження з прогонів на опори – навантаження йде тільки по вертикалі.

Елементарний, всім знайомий балковий міст – це дерев'яна дошка, перекинута через калюжу, колода або кам'яна плита, що з'єднує береги струмка. В «серйозних» мостах балку виготовляють з

[бетону або сталі](#)

. Як правило, бетон використовується для коротких мостів в сільській місцевості. Взагалі ж, під терміном «балка» зараз зазвичай мають на увазі саме сталеву мостову балку, тобто частіше за все мова йде про металеві мости балкових систем.

Балкові мости – найстаріші в світі, їх історія налічує тисячоліття, і, тим не менш, такі мости використовуються і понині. Звичайно, віки тому їх дизайн був набагато простішим, ніж зараз. По мірі розвитку технологій матеріали і методи удосконалювалися, слідуючи від обробки каменю, через винахід бетону до кованого заліза й, нарешті, до сталі, яка є міцнішою та служить довше.

Протяжність балкового мосту мало коли перевищує 76 м (річ у фізиці та обмеженнях, які диктує сама конструкція). Проте, є й винятки.

Так, найдовший в світі основний прогін знаменитого автодорожнього балкового мосту Ріо-Нігерой становить рекордні 300 м. Цю споруду ще називають мостом ім. Президента Коста-і-Сілви. Він побудований через затоку Гуанабара і з'єднує два бразильських муніципалітети – Ріо-де-Жанейро та Нігерой. У будівництві моста брали участь компанії з різних країн світу. Так, наприклад, металеві елементи конструкцій прогонів (в т.ч. й сталеві мостові балки) вироблялись у Великобританії, і вже звідти доставлялися морем на один з бразильських островів неподалік від будівництва, де вони збиралися в кілька етапів. Міст будували 6 років, і в 1974р. Ріо-Нігерой був відкритий. Його називали на честь покійного президента країни, який ініціював проєкт, але, на жаль, не дожив до його реалізації.



Ще один приклад балкового мосту – пішохідно-велосипедний міст через Володимирський узвіз у Києві, який прокладено від пам'ятника Володимирі Великому до Арки дружби народів. Ідея спорудження існувала десятиліття, але тільки в кінці 2018 року почалась реалізація амбіційного проекту, який був відкритий для широкої публіки вже в травні 2019 року до Дня Києва. Близько 90% матеріалів цього переважно металевого моста вироблено в Україні. Зокрема, 700 тонн сталевих листів різної товщини (від 8 до 55 мм) випустив український промисловий гігант «Азовсталь».



### **Коробчаті балкові мости**

У коробчатому балковому мості балки являють собою коробки, виконані з бетону, сталі та залізобетону (в різних поєднаннях). Такий тип, як правило, використовується при будівництві сучасних надземних конструкцій для міського рейкового транспорту та естакад.

Створення коробчатого балкового мосту тісно пов'язане з ім'ям французького генерал-лейтенанта «Q» або Жиффар Мартеля (Giffard Le Quesne Martel), який служив під час Першої та Другої світових війн, піонера військової інженерії та стратегії ведення танкової війни. У 1919 році офіцер був призначений керівником експериментального мостового комплексу в Крайстчерчі, Хемпшир, який досліджував можливості використання танків для інженерних цілей. Мартель придумав з'єднати міст з танком, щоб використовувати енергію двигуна бронетехніки для маневрування під час установки об'єкта на місцевості.

Також офіцер розробив нову для свого часу концепцію коробчатого балкового мосту, що складається з модулів. Такий модульний міст порівняно легко зводився по ходу просування військ під час військових кампаній. Концепцію було офіційно прийнято французькою армією в 30-х роках минулого століття.

Що стосується немодульних коробчатих балкових мостів, то вони були більш ніж популярні під час екстенсивного зростання дорожнього будівництва в 1960 р.р., коли одночасно зводилося безліч мостових

проектів. Небувалий поспіх породив помилки. Серйозним ударом по популярності цього типу конструкції стали три найбільші аварії – в Австралії, Німеччині та Великобританії – причиною яких було обвалення таких мостів. В Англії був створений т.зв. Комітет Меррісона, який займався дослідженням конструкції та способів зведення сталевих коробчатих балкових мостів. Як виявилось, проблема в дизайнерських рішеннях і порушеннях під час спорудження мостів. Пізніше деякі балкові коробчаті мости були перебудовані – суттєво та не дуже – та додатково укріплені.

## Ферменні мости

Потрібно сказати, що прогонові будови виготовляються або з суцільних балок з різним перетином, або з гратчастих конструкцій, які ще називають фермами. Ферменні системи – це, як правило, металеві залізничні мости. Ферми роблять із сталевого прокату. Їх легка конструкція дозволяє перекидати порівняно великі прогони – від 40 до 150 м.

Залізобетонна мостова ферма працює на під'їзних залізничних шляхах одного з підприємств Кемеровської області РФ і є єдиною в світі.

Вельми показовою є історія розвитку ферменних мостів в США. Нестачі в деревині не було, тому в ранніх американських мостових фермах зазвичай використовувалися ретельно підігнані пиломатеріали та залізні прутки. У 1820 році була запатентована найпростіша форма – решітчаста «ферма Тауна». Її виробництво не вимагало ні особливих навичок, ні великої кількості металу. До середини XIX століття повністю сталеві мости на просторах США були рідкістю. Поступово метал почав замінювати деревину, а мости ставали кованими. Будівельні фірми розробляли безліч проектів ферм різної форми, які успішно продавалися по всій країні. Спочатку була мода на ферму «тятива», потім її місце зайняла «ферма Пратта». До кінця століття на зміну кованому залізу прийшла мостова сталь. В цей час використовувалися інші конструкції ферми, в тому числі «верблюд». До 1910-х років більшість розвинених країн розробило й стандартизувало безліч дизайнів ферм. Зараз налічується кілька десятків фермерських систем, використовуваних в мостобудуванні.

Найдовшим в світі ферменним мостом вважається Pont de Québec, інакше Квебекський міст. Він прокладений між канадським Квебеком і Леві, й довжина його прогону становить майже 550 м. При будівництві системи відбулося її обвалення (що, втім, не таке й рідкісне явище). Через помилки в розрахунках, допущених на етапі планування моста, фактична вага моста значно перевищувала його несучу здатність. Коли міст було майже завершено, місцева команда інженерів помітила деякі структурні проблеми, але ніхто не взяв до уваги серйозність ситуації. Роботи тривали, незважаючи на вимогу головного інженера повністю припинити будівництво. Внаслідок у 1907р. недобудована споруда завалилася за 15 секунд.

У 2000-х рр. відлив все ще виносить на берег покорчені частини Pont de Québec. З цього металу місцеве історичне товариство навіть спорудило пам'ятник катастрофі, що відбулася. Проте, у 1919р. Pont de Québec був введений в експлуатацію. Зараз він носить почесне звання історичного пам'ятника цивільного будівництва. А у Квебеку існує легенда про те, що шматки зруйнованого моста на протязі багатьох років використовуються для кування сталевих каблучок, які урочисто вручаються майбутнім канадським студентам-інженерам. Ці каблучки, надіті на мизинець, покликані нагадувати студентам про соціальні обов'язки та етику їх професії. Сталева каблучка спочатку шорсткувата, але з часом воно полірується роботою, що символізує досвід, який приходить з віком.



## Аркові мости

Аркові мости відносяться до так званих розпірних систем. Вони відрізняються від балкових тим, що їх прогонові будови передають опорам як вертикальне, так і горизонтальне навантаження. Основними несучими конструкціями такої споруди є арки.

Арковий міст – кам'яна класика, і від неї перший арковий металевий міст відстає на 33 століття! Аркові конструкції в мостобудуванні використовувалися не тільки стародавніми греками, але й етрусками. А стародавні римляни виявилися саме тими, хто повністю усвідомив весь потенціал таких систем.

Сучасні історики та архітектори налічують три з чимсь сотні кам'яних римських мостів, три десятки дерев'яних споруд та півсотні акведуків, значна частина яких не тільки повністю збереглася до наших днів, але й досі використовується як пішоходами, так і автомобілістами!

Римські аркові мости були в своїй більшості просто напівкруглими, деякі представляли собою ряд аркових сегментів. Також слід зазначити, що мостобудівники Риму були першими, хто почав використовувати при зведенні мостів бетон. В значній мірі римські напрацювання лягли в основу успіхів європейських архітекторів середньовіччя. Опори ставали все більш вузькими, аркові бочки – більш тонкими, а прогони – високими. До XIV століття довжина аркових мостів вже досягла 40 м в Іспанії, Італії та Франції.

У свою чергу Піднебесна пишається мостом Аньцзи – найдавнішим мостом, що зберігся в країні. Об'єкт побудований ще в V столітті й дійшов до наших днів практично в незмінному вигляді (незважаючи на 8 пережитих війн, 10 руйнівних повеней та цілий ряд сильних землетрусів). Довжина моста – 50 м при прогоні в 37 м, ширина становить 9 м. Сучасники Аньцзи називали його дивом інженерної думки. До конструкції мосту давній інженер Лі Чунь включив бічні арки, які зробили споруду більш стійкою. Цікаво, що аналогічна думка спала європейським мостобудівникам не раніше XIV століття.



В подальшому кам'яні та цегляні мости продовжують надихати все нові покоління інженерів та будівельників. Батьком-засновником сучасних принципів проектування кам'яних аркових систем вважається француз Жан-Родольфо Перроне. Найбільш відома робота архітектора – пятипрогоновий арковий міст Згоди через р. Сену. Зараз через цю споруду часів французької революції йде один із найнапруженіших транспортних трафіків Парижу.

І, нарешті, не меншої уваги заслуговують українські металеві аркові мости. Найдовший з них – металевий міст через річку Дніпро, що з'єднує правий берег м. Запоріжжя з о. Хортиця. Не вдаючись в деталі, він складається з металевої арки, сталеві мостові балки жорсткості, що спирається на арку, та залізобетонної плити. Подібна конструкція дозволила мостобудівникам добитися рекордної для нашої країни довжини споруди в 320 м. А взагалі гігант з'явився завдяки розмаху соціалістичного будівництва. З 1970 р. зводилася ДніпроГЕС-2, й на черговому етапі будівництва виникла необхідність перекрити проїзд через греблю ДніпроГЕС-1.

Щоб задовольнити логістичні потреби міста, діючих харківських мостів виявилось замало. Вирішили побудувати ще один. Металоконструкції моста виготовлялись на заводі ім. Бабушкіна в Дніпрі, монтували споруду теж дніпропетровські мостобудівники. Слідом за монтажем почалися випробування несучих конструкцій, для чого пригнали півсотні вантажівок по 25 т кожна. Міст знадобилося підсилити, й результат перевершив всі очікування. Тоді він став єдиним у своєму роді в СРСР, а можливо і в світі, за визнанням архітекторів – поєднання настільки великого прогону з гнучкою й жорсткою сталевією аркою було унікальним. Рух відкрили в 1974р., а в 2000-них пройшла реконструкція об'єкта, який успішно експлуатується дотепер.

## Переваги сталі в будівництві мостів