

УДК 658.286:001

## Становлення та розвиток школи мостобудування

The formation and development of the bridge engineering school

Тетяна Демченко <sup>1</sup>

Tetyana Demchenko

<sup>1</sup> Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, Україна

### Ключові слова:

вітчизняна школа мостобудування, наукове проектування, Дмитро Журавський, Микола Белелюбський

**Анотація:** В даній статті відображені історичний розвиток та становлення школи мостобудування. Висвітлений вагомий внесок видатних вчених у розвиток вітчизняної мостобудівної школи. Актуальним завданням сучасної науки залишається усебічне вивчення історії мостобудування. У спорудах виникає чимало ушкоджень; багато споруд у міру зміни умов експлуатації залізниць мають потребу в реконструкції і посиленні. Для забезпечення нормальної роботи мостових споруд і тривалого строку їхньої служби виконується комплекс робіт, пов'язаних з обстеженням, випробуваннями, оцінкою вантажопідйомності і надійності, ремонтом, посиленням і реконструкцією. Обстеження, випробування виконуються з використанням сучасних методів дослідження з застосуванням новітніх приладів. Оцінка вантажопідйомності і надійності в комплексі робіт з утримання споруд має особливе значення. При вирішенні цих задач необхідно широко використати сучасні методи розрахунку, випробувань і експериментальних досліджень. Роботи з ремонту і реконструкції повинні бути максимально механізовані, з застосуванням нових матеріалів і новітніх методів технологій, що забезпечують високу якість робіт з мінімальним стисненням руху поїздів і максимальним забезпеченням безпеки їхнього руху. І все це досягається завдяки клопіткій праці видатних вчених-інженерів, які сприяли розвитку мостобудування.

### Key words:

national school of bridge engineering, scientific design, Dmitry Zhuravskiy, Nicholas Belelyubskyy

**Abstract—** This article reflects the historical development and establishment of the bridge construction school. Highlighted is a significant contribution of eminent scientists to the development of bridge-building school. The urgent task of modern science is conducting an extensive study into the history of bridge construction. There appear many defects in constructions. Many of the constructions need strengthening and reconstruction during its use. To ensure the normal operation of bridges and long term of their service the complex of works is provided: examination, testing, assessment of capacity and reliability, maintenance, enhancement and reconstruction. Examinations and tests are conducted using modern research methods with the newest devices. Assessment of capacity and reliability in a complex of works on maintenance of buildings is particularly important. In addressing these challenges, it is necessary to extensively use modern methods of calculation, testing and experimental studies. Repairs and reconstruction should be mechanized with the use of new materials and methods of technology, providing high quality work with minimal compression of trains schedule and maximum safety of their movement. All this is achieved through the hard work of prominent scientists and engineers who contributed to the development of the bridge construction.

Перш ніж зробити короткий огляд вітчизняної школи мостобудування, нагадаємо про стан мостобудівної справи в Росії першої половини XIX століття.

У різні роки нашої історії було збудовано величезну кількість мостів, більших і менших, але спочатку ніхто не міг завчасно визначити навантаження, яке здатен витримати той чи інший міст. Масове будівництво залізниць в першій половині XIX століття поставило на порядок денний розробку та вирішення проблем наукового мостобудування. Дуже часто мости не витримували навантаження і разом з потягами обрушувалися у воду. Рух залізницями ставав небезпечним, пасажири відчували страх, поки потяги повільно повзли мостами.

Метою створення Інституту корпусу інженерів шляхів сполучення (надалі Петербурзький інститут інженерів шляхів сполучення) була підготовка вітчизняних фахівців в області будівництва й експлуатації шляхів сполучення.

Потреба держави в таких фахівцях була викликана інтенсивним будівництвом шляхів сполучення в період, в якому, зароджувався та розвивався капіталізм і появою нового виду транспорту – залізничного.

Велике майбутнє для молодих інженерів відкривав диплом інституту інженерів шляхів сполучення. Можливість самореалізації залучала в стіни інституту талановитих молодих людей, багато хто з них згодом склав еліту технічної інтелігенції. Особливістю концепції навчання в інституті було поєднання загальної наукової освіти зі спеціальною, поєднання теоретичної освіти з науковими досягненнями й практикою [1].

Спочатку вивчення мостобудування не було оформлено в окремий курс і носило прикладний теоретичний характер, тому навчання будівництву мостів проходило за стінами школи в процесі практичної діяльності. Сама ж техніка будівництва мостів довгий час базувалась на

досвіді попередніх поколінь, навчальний матеріал для вивчення теорії мостобудування тільки накопичувався, практично не маючи під собою наукової основи. Поява нової конструкції моста, або незначні видозміни відбувалися на підставі здорового глузду й практичної діяльності практика-будівельника. Висновки про нову конструкції моста, його вантажопідйомність проводилися на основі дослідів, які виконували на моделі, що відтворює міст в певному масштабі. Вдале випробування моделі під навантаженням було підтвердженням можливості застосування конструкції за умови дотримання точної геометричної копії. При зміні якої-небудь деталі в конструкції моста інженер був змушений знову проводити випробування всієї системи на новоспорудженій моделі. Власне кажучи, справа зводилась до копіювання готових мостів. Цей період у мостобудуванні можна визначити як період безпосереднього емпіризму.

Інженери при спорудженні мостів керувалися тільки своїм досвідом, своєю інтуїцією, а не чіткими розрахунками. У той же час мостобудування як науки зовсім не існувало. Зрозуміло, що однієї інтуїції для інженера недостатньо. Тим паче, коли мова йде про велику споруду. Адже на міст мають впливи різні сили і їх слід враховувати. Як підбирати ферми мосту? Як вестиме себе той чи інший матеріал, з якого вирішили побудувати міст? Якої максимальної ваги потяг витримає ця споруда? На ці та інші питання інженерна наука першої чверті XIX століття не могла дати чіткої відповіді. Навіть ферми мостів ніхто не вмів розраховувати і тому будували ферми з однакових елементів. Були, звичайно, випадки, коли деякі інженери (зокрема Кулібін) будували зменшені моделі мостів і випробовували їх. Таким чином вони визначали необхідні розміри. Але цей метод був далеким від досконалості, важким і недоступним для всіх будівельників. Ось чому над питаннями мостобудування працювали видатні інженери і механіки світу. І тільки молодий вітчизняний інженер Дмитро Іванович Журавський вперше створив теорію мостобудування, підвів під нього міцну наукову базу, озброїв інженерів чіткою системою і методами розрахунків[2].

Д.І. Журавський дуже швидко зрозумів, що наосліп будувати мости не можна. Він вирішив шукати свої власні, хоча і тернисті шляхи. До честі молодого інженера слід сказати, що він ніколи не схилився перед іноземною технікою, завжди критично до неї ставився. Згодом, після відвідин Сполучених Штатів Америки, Д.І. Журавський дав дуже влучну характеристику американським інженерам і також окреслив основний принцип американської техніки. Ось що він писав у своєму звіті: «Інженер в Америці не шукає слави, щоб збудувати величезну споруду, не хизується удосконаленнями виконання або красою побудови. Його ідеал – дешевизна»[3]. Однак Д.І. Журавський тут же пояснює, що ця дешевизна не завжди поєднується з безпекою.

Спостерігаючи за плідною працею видатного інженера, можна було переконалися, що він не обмежувався звичайним описом того, що бачив, не захоплювався закордонним тільки тому, що воно закордонне, але детально розбирав кожне питання, відзначав те, що заслуговує наслідування, і указував одночасно на слабкі

сторони. Кінцеві висновки, які робив Д.І. Журавський, завжди стислі і ясні, і багато з них і в даний час не втрачали своєї цінності” [4].

Фактично Д.І. Журавський заклав міцну основу наукового мостобудування, заснував вітчизняну школу, якій належала провідна роль у світі. Сучасники і нащадки Д.І. Журавського продовжили його праці, збагатили їх, створили низку нових теорій і конструкцій мостів. Так, академік С.В.Кербедз побудував перший науково обґрунтований металевий міст з багаторозпіркових ферм. Професор М.А.Белелюбський – автор так званого російського типу мостів – застосував балкові ферми. В.О. Семиколінов запропонував перші взірці консольних ферм, академік Г.П. Передерій першим почав застосовувати трубчасту арматуру для залізобетонних мостів, архітектор А.Л. Вітберг висловив ідею ланцюгових мостів і т.д. Список цей можна продовжити.

Відмінний випускник 1867 року Інституту інженерів шляхів сполучення М.А. Белелюбський розпочинає свою викладацьку та інженерну діяльність. Саме в цей час бурхливо розвивалось будівництво великих мостів з металевими прогоновими спорудами, яке звичайно було пов'язане з теоретичним вивченням та дослідженням властивостей будівельних матеріалів, які використовувалися в будівництві. Цим питанням цікавився молодий вчений, який, присвятив справі мостобудування все своє подальше життя. Основною сферою його діяльності було мостобудування. Практична діяльність М.А. Белелюбського збіглася із черговим піднесенням у будівництві залізниць. На той час щорічно будувалося понад дві тисячі кілометрів нових залізниць, будівництво яких супроводжувалося зведенням мостів, у тому числі через великі ріки Волгу, Дніпро, Дон, Єнісей, Іртиш.

Наприкінці XIX століття на зміну дереву в мостобудуванні приходив метал. Особливо в області будівництва металевих мостів виявився талант М.А. Белелюбського як інженера новатора. За його проектами було побудовано більше 100 мостів загальної, довжиною більше 17 км [5].

Вітчизняна школа мостобудування, яку 20 років очолював професор Петербургського інституту інженерів шляхів сполучення М.А. Белелюбський, займала одне із провідних місць у світі.

Засновник школи мостобудування, великий вчений проектував мости. Ескізний проект моста – розбивку на прогони й обґрунтований вибір принципової схеми прогонових споруд він виконував самостійно, часто в декількох варіантах. Якщо схема була новою, він сам робив основні розрахунки. Розрахунки окремих деталей виконував інженер – один, але не більше трьох, кого він залучав. Вибирив собі помічників знов-таки сам: своїм враженням він довіряв більше, ніж рекомендаціям, тим більше, що помічниками ставали звичайно колишні студенти, здатності яких можна було оцінити по багатьом зустрічам у лабораторії, на іспитах, на практиці. Робочі креслення, окремі деталі, а іноді і частину розрахунків виконували студенти старших курсів – 5, не більше 7 чоловік. Остаточний проект перевірявся інженером-помічником-співавтором, а після нього обов'язково Миколою Аполлоновичем, який ставив свій підпис «інженер М. Бе-

лелюбський» де-небудь на вільному місці (не професор – інженер!). Така група в 7–11 чоловік випускала проект у півроку – рік, залежно від складності проекту.

Зокрема, вчений показав, що під час проектування розміри мосту та його окремих частин завжди залежали від відстані між пунктами, що поєднуються, та від типу вантажу, що пересувається мостом. Зі збільшенням відстані збільшувалась і вага мосту. Але крім того існували ще й інші зовнішні сили, які діяли на конструкцію. Ці сили вчений поділив на два типи: вертикальні та горизонтальні. Вертикальні сили є результатом сили ваги і мали найбільші величини. До них відносились: найбільший тимчасовий вантаж, власна вага мосту, вертикальні удари, які відбувалися під час руху тимчасового вантажу, опір опор, відцентрова сила. До горизонтальних сил відносились: тиск вітру, горизонтальні удари під час руху вантажу та горизонтально діюча з випуклої сторони колії відцентрова сила, яка з'являлася в мостах, що лежали по кривій лінії.

Деякі з цих сил М.А. Белелюбський розглянув окремо і детально. Розглянемо вертикальні сили. Стосовно визначення найбільшого тимчасового вантажу вчений вважав, що його величина залежить від призначення мостової споруди. Звичайно, для залізничного мосту він найбільший, далі йдуть кінні залізниці та шосейні мости, а останніми є пішохідні мостики. Для залізничних мостів найголовніше значення мала вага локомотивів, тому що вони несли найбільшу вагу, потрібну для появи опору тертю по гладких рейках для того, щоб призвести у рух весь потяг. Також велике значення мала вага навантажених вагонів, яка теж була неоднаковою. Для мостів під шосе та кінні залізниці в першу чергу звертали увагу на кількість людей, тому що навантаження від вершників з кінями, зарядженими гарматами, вантажними возами все одно була менша за вагу гурту людей. Приблизно так само проектувались пішохідні мости – в залежності від загальної ваги гурту людей [6].

Власна вага мосту, як стверджував видатний мостобудівник, залежала від трьох основних причин: 1) від вантажу, який мав витримати міст; 2) від величини допущеного навантаження для матеріалу мосту; 3) від раціонального вибору розмірів частин мосту. Перша причина була описана вище, а от стосовно другої не існувало на той час однозначної думки. Справа полягала в тому, що перше і головне правило при проектуванні мосту полягало в тому, щоб діючі на будівельні матеріали сили (стискаючі, витягуючі та сколюючі напруження) не могли подолати в них межу пружності. Але, як показував досвід, під час довготривалого навантаження на матеріал до границі пружності, останній змінювався і сила пружності його зменшувалась. Тоді й виникло поняття «втомленості матеріалу». Тому прийшли до висновку, що при проектуванні мосту потрібно допускати напруження матеріалу не до границі пружності, а тільки на деяку його частину. Але от розміри цієї частини (коефіцієнту) на той час ще не були остаточно визначеними через недосконале вивчення такого фактору як поєднання властивостей матеріалів з зовнішніми силами та шкідливими впливами (атмосфера, температура).

Щодо міцності матеріалів, вчений зазначав, що

вже до нього були проведені детальні дослідження і зроблені важливі висновки. Зокрема, це стосувалось таких властивостей, як міцність проти витягування, стискання, згинання та кручення. Менш точними на той час були результати досліджень на міцність проти відламування (поздовжнього вигину) та перерізування. Але цих результатів було замало для остаточного проектування і впевненості в тому, що межа пружності не буде подолана. Тому, при таких умовах, інженери використовували значення руйнівного напруження при тимчасовому опорі, але М.А. Белелюбський вважав, що це невірно, адже значення цих навантажень були діючими тільки до того часу, поки матеріал не починав стомлюватись. Тому розміри допустимих навантажень значущо розрізняли у мостових спорудах досліджуваного періоду.

Деякі виведення Д.І. Журавського щодо дерев'яних з'єднань, як вказував М.А. Белелюбський, знаходили застосування і для металевих з'єднань [7].

Стосовно того питання, який матеріал був кращим при будівництві мостів на той час, вчений зазначав, що за результатами досвіду та досліджень чавун, який активно використовувався протягом 60-х років XIX століття годився тільки там, де на конструкцію діяла виключно стискаюча сила. На початку 70-х років XIX століття в мостових проектах стали використовувати залізо та сталь через те, що вони могли опиратися різного роду силам. Довговічність мостів із металу і сталі на той час ще не була визначена. Але виходячи із відомостей машинобудування інженери того часу вважали, що сталь (особливо бесемерівська) була довговічнішою за прокатний та кований метал. Стосовно дерева було зазначено, що допустиме навантаження взагалі не можна брати близько до межі пружності, адже дуже підвладне гноїнню, дії атмосферних впливів та тваринних організмів, тому сила зчеплення дерева швидко зменшувалась. Також видатний мостобудівник підкреслював, що при будівництві мостів однакової системи та конструкції їх власна вага може змінюватись в залежності від тих природних, зокрема географічних, умов, в яких вони будувалися.

Вчений наголошував, що однією з найголовніших питань експлуатації дороги з боку безпеки руху повинен бути постійний нагляд і контроль за станом мостових споруд. Адже з часом через швидкий рух і важкий рухомий склад стан мосту погіршувався, а проявлялося це у збільшенні прогину ферм. Метал від потрясінь поступово втрачав первісну ступінь волокнистості, тобто ступінь опору. З'являлась суттєва різниця у місці прогину, що вимагало ремонту або заміни ферм на нові [8].

Професор М.А. Белелюбський виховав цілу плеяду блискучих інженерів-мостобудівників. Варто назвати найбільш талановитих співавторів проектів мостів, розроблених під керівництвом і при особистій участі М.А. Белелюбського: Н.Б. Богуславський – мости через ріки Волгу у Твері, Білу, Уфу, Дніпро біля Смоленська, Об та інші; Г.Г. Кривошеїн – через Русановський протоку Дніпра, В. Персон – через ріку Бузан в Астрахані; А.А. Петроконський – через Віслу у Варшаві; А.П. Пшеницький – в Боровичах; П.П. Філін – проектування моста через Оку.

Для прогонових споруд, які розроблялися під керівництвом видатного вченого, характерні раціональ-

ність схеми прогонової споруди, прорахунок всіх деталей, максимальна дешевизна робіт. Такий підхід до проектування мостів дозволяв максимально скоротити час будівництва мостів. Типові прогонові споруди талановитого інженера М.А. Белелюбського застосовувалися більше 50 років. Таким чином, М.А. Белелюбського можна вважати основоположником типового проектування у вітчизняному мостобудуванні.

Молодим інженерам випадала особлива честь бути обраними їхнім професором для роботи в галузі мостобудування. Досвід і знання, які вони там одержували, були безцінними. Основоположник мостобудівної справи, видатний вчений мав почуття нового й завжди намагався втілити в життя самі прогресивні та нові ідеї.

Завдяки школі вітчизняного мостобудування, у будівництві мостів, зародилися ті напрямки, яких дотримувалися і якими слідували декілька поколінь визначних мостобудівників. Російському мостобудуванню цього періоду властиве прагнення до максимальної раціональності технічних рішень. Засновник школи вітчизняного мостобудування інженер М.А. Белелюбський, чітко розумів, що при такому великому об'ємі будівництва мостів необхідно створювати конструкції прогонових споруд, які можливо застосовувати для спорудження мостів цілими серіями. Якщо розглядати мости, які збудовані за проектами М.А. Белелюбського, очевидний порівняно вузький діапазон конструкцій прогонових споруд, а саме перевага віддавалась балковим наскрізним фермам, але при цьому постійно удосконалювалася їхня конструкція.

Таким чином, в Російській імперії залізничне мостобудування сформувалося в результаті розвитку вітчизняної мостобудівної школи, яка мала свої особливості: раціоналізм у виборі та оцінюванні конструкцій, відмова від правильних рішень в ім'я зовнішнього ефекту, бажання повного пізнання умов функціонування конструкцій. Безперечно, історія створення мостових конструкцій сягає сивої давнини. І тому ще до початку будівництва перших мостових переходів на залізницях Російської імперії було накопичено великий досвід спорудження мостів на звичайних дорогах, що дозволило перевірити на практиці типи конструкцій. Однак, залізничні мости багато в чому відрізняються від звичайних камінних і дерев'яних мостів. Залізничні мости, як правило, вужчі, на них не вимагається облаштовувати суцільну проїзну частину. Однак вони значно важчі, а це позначається на їх конструкції. Все це спричинило те, що відсутність наукових методів розрахунків на перших порах, недостатня вивченість властивостей будівельних матеріалів: каменю, дерева, заліза, піску тощо суттєво ускладнювало проектування і будівництво перших залізничних мостів [9].

Вітчизняним мостобудівникам Д.І. Журавському, С.В. Кербедзу, П.П. Мельникову та іншим належить провідна роль в практиці і теорії будівництва залізничних мостів.

Навіть поверховий огляд становлення залізничного мостобудування під керівництвом М.А. Белелюбського, засвідчує вагомий внесок видатних вчених у розвиток вітчизняної мостобудівної школи.

Отже, виходячи з вище сказаного, залишається тільки процитувати слова великого вченого, патріота віт-

чизняної науки. Пріоритету російської науки й інженерного мистецтва присвячені роботи основоположника вітчизняної школи мостобудування. Особливий інтерес серед них представляє його робота опублікована в 1917 році. Показавши самостійність і незалежність школи мостобудування, вчений-патріот говорить: «Інженер виявив себе і сміливістю погляду, і розпорядливістю, і швидкістю виконання робіт. Техніки, які формувалися як інженери при школі вітчизняного мостобудування та працювали на благо Вітчизни, представляли упевнені кадри працівників для того величезного будівництва, яке розгорнулось із закінченням руйнівної війни.» [10].

#### Джерела та література:

1. Ларионов А.М. История Института инженеров путей сообщения им-ра Олександра I-го за первое столетие его существования: 1810-1910/ А.М. Ларионов. – Санкт-Петербург, 1910. – 409 с.
2. Салов В.В. Начало железнодорожного дела в России: 1836-1855 гг. // Вестник Европы. – 1899. - № 5. – С.119-120.
3. Журавский Д.И. О мостах раскосной системы Гау / Д.И. Журавский. – Санкт-Петербург, 1855.
4. Речь профессора Л.Ф. Николаи // Известия Собрания инженеров путей сообщения. – 1897. – Т.17, №5. – С.75.
5. Ясинский Ф.С. По поводу двадцатипятилетия инженерной и педагогической деятельности Николая Аполлоновича Белелюбского / Ф.С. Ясинский // Известия собрания инженеров путей сообщения. – 1892. – № 5. – С. 95-96.
6. Белелюбский Н. Внешние силы, действующие на мостовые сооружения / Н. Белелюбский // Журнал министерства путей сообщений. – 1870. – Кн.2. – С.165-250.
7. Речь профессора Н.А.Белелюбского: Чествование памяти инженера Дмитрия Ивановича Журавского // Изв. Собр. инженеров путей сообщения. – 1897. – Т.17. – С.68-71.
8. Белелюбский Н. Заметки по поводу построенных и строящихся мостов / Н. Белелюбский // Журнал Министерства путей сообщений. – 1871. – Кн.6. – С.200-218.
9. Зензинов Н.А. Гордость русского мостостроения / Н.А. Зензинов, С.А. Рыжак // Выдающиеся инженеры и ученые железнодорожного транспорта – Москва: Транспорт, 1990. – С. 78 – 92.
10. Белелюбский Н.А. За русских инженеров / Белелюбский Н.А. // Известия собрания инженеров путей сообщения. – 1917. – №10. – С. 225 – 231.



**Демченко Тетяна Федорівна** – кандидат історичних наук, старший викладач Кафедри екології та безпеки життєдіяльності Державного економіко-технологічного університету транспорту, Київ.