

УДК 624.971.2:62(09)

Украинская школа проектирования стальных мостов

¹Перельмутер А. В., д-р техн. наук, ²Корнеев М. М., канд. техн. наук

¹НПО SCAD Soft, Украина,

²ООО «Киевстройпроект», Украина

Аннотация. Рассматривается история развития Украинской школы проектирования стальных мостов, которая начала свое существование еще в середине XIX века и уже тогда отличилась рядом замечательных результатов, в частности, конструкцией многорешетчатых железнодорожных мостов системы А. Е. Струве. Серьезная теоретическая основа этой школы была заложена Е. О. Патеном. Его фундаментальный анализ конструктивной формы мостов, классификация и сопоставление, выявление достоинства и недостатков тех или иных схемных и конструктивных решений пролетных строений во многом предопределили пути развития и стиль работы его учеников. Описываются созданные ими новые сооружения и методы восстановления разрушенных мостов. Указывается на инициированный именно Украинской школой принципиально важный переход к сварным конструкциям мостов и на реальные достижения, которые при этом последовали, – таких, например, как мост Патона, в свое время крупнейший в мире сварной мост. К числу безусловных достижений принадлежит серия выдающихся вантовых мостов, запроектированных и построенных Г. Б. Фуксом. Важные достижения имеет Украинская школа в проектировании висячих трубопроводных переходов, в использовании высокопрочных сталей. Ряд пионерных теоретических работ был посвящен расчету наплавных мостов, преднапряженным мостовым конструкциям, динамике мостов, другим исследованиям в науке о мостах.

Ключевые слова: конструктивная форма, методы восстановления, мосты, проектирование, стальные конструкции.

Предыстория

Первый стальной мост в Украине перешагнул Днепр в 1848–1853 годах неподалеку Киево-Печерской лавры. Под руководством британских инженеров был построен один из лучших мостов того времени – Николаевский цепной, на мощных каменных опорах (рис. 1). Отметим, кстати, что и первый в мире стальной мост «Британия» опередил Николаевский мост всего на четыре года.

Мосты, запроектированные за рубежом, строились у нас и позже, но мы будем рассматривать только работы украинских проектировщиков.

В 1867 году на службу в Киев был переведен инженер-капитан А. Е. Струве. В эти годы в Киеве была проложена железная дорога, и под руководством Аманда Егоровича Струве в кратчайшие сроки был возведен капитальный железнодорожный мост через р. Днепр (рис. 2), что стало мировой сенсацией. Отмечая это, император Александр II повысил инженер-капитана А. Е. Струве до чина полковника.



Рис. 1. Николаевский цепной мост

Это один из первых много решетчатых мостов был железнодорожный мост с ездой понизу, он закончен строительством в 1870 г. Мост имел 12 пролетов по 87 м с высотой ферм 8 м. Пояса главных ферм имели П-образное сечение и были выполнены из двух вертикальных и горизонтального листов, соединенных уголковыми профилями. Сжатые (жесткие) раскосы были изготовлены составными из двух пар уголков, расположенных тавром и соединенных между собой решеткой из полосового железа, растянутые – из двух полос, между которыми были пропущены сжатые раскосы. Этот мост в то время являлся наиболее длинным в Европе.

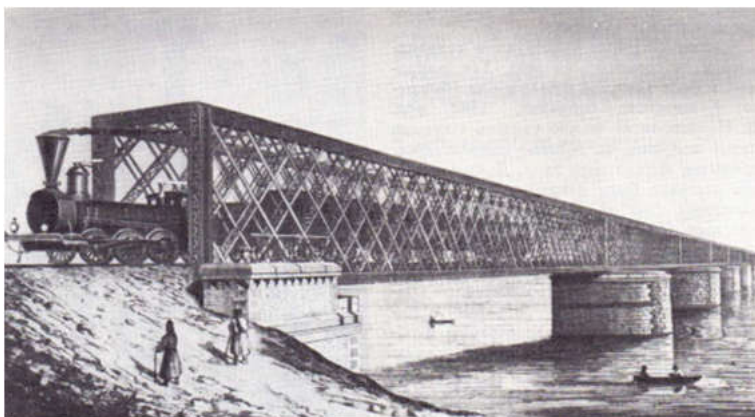


Рис. 2. Киевский мост А. Е. Струве

Вслед за киевским был создан совмещенный железнодорожный и шоссейный мост через р. Днепр в Кременчуге, построенный А. Е. Струве. Мост имел 11 пролетов, и его общая длина составляла 950 м. Мост состоял из двух ярусов: два железнодорожных пути проходили в верхнем ярусе, а шоссейная дорога – в нижнем. С внешней стороны главных ферм многорешетчатой системы на кронштейнах располагались пешеходные тротуары. Движение по этому мосту было открыто в июне 1873 г.

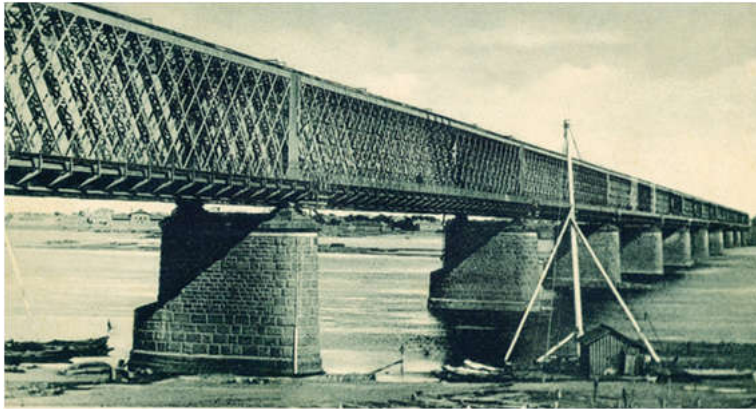


Рис. 3. Мост А. Е. Струве в Кременчуге

В Крыму в 1877 году были построены еще два моста (виадуки) такой же многорешетчатой системы – Графский и Камышловский, установленные на высоких металлических опорах.

В начале XX века крупнейшим по пролету был мост через р. Днепр у Кичкаса (рис. 4). В конкурсе эскизных проектов моста участвовало 12 работ, из которых выбрали как наиболее подходящий к местным условиям проект местного инженера В. Д. Латы. Пролёт над Днепром имел рекордную для Российской империи длину – 190 м. Как и кременчугский мост, он был двухъярусным. Главные фермы моста были наклонены для обеспечения лучшей устойчивости.

Мост был построен в 1909 году и просуществовал до 1931 года. Он попал в зону затопления в верхнем бьефе плотины ДнепроГЭС и был демонтирован.

Система моста у Кичкаса знаменовала новую тенденцию: в конце XIX и в начале XX века начали строить мосты не с многораскосной, а с треугольной или раскосной решеткой. Одним из активных инициаторов этого перехода был Е. О. Патон, который в своих работах, а особенно в своей диссертации «Расчет сквозных ферм с жесткими узлами» (1901), доказывал необходимость перехода на системы с редкой решеткой.



Рис. 4. Мост через р. Днепр у Кичкаса

Начало школы мостов Е. О. Патона

Евгений Оскарович Патон, приглашенный в 1904 году на работу в недавно созданный Киевский политехнический институт, стал создателем украинской школы проектирования и исследования стальных мостов. Ко времени переезда в Киев он уже опубликовал в Москве первый том из своего четырехтомного курса «Железные мосты». Также была опубликована его диссертационная работа, сыгравшая важную роль в теории мостостроения, где было выполнено исследование условий, при которых можно было использовать шарнирную расчетную схему фермы, узлы которой не были идеальными шарнирами.

В дальнейшем Евгений Оскарович в течение 25 лет руководил кафедрой мостостроения КПИ, многие его ученики стали известными учеными. Среди них можно назвать автора проекта ДнепроГЭС академика И. Г. Александра, вице-президента АН УССР академика АН УССР К. К. Симинского, академиков АН УССР Ф. П. Белянкина, Н. В. Корноухова и С. В. Серенсена, члена-корреспондента АН УССР Б. Н. Горбунова, доктора технических наук А. А. Уманского и других.

Параллельно с педагогической и научной деятельностью Е. О. Патон проводил большую проектную работу. Он был автором 36 проектов мостов, из которых большинство были осуществлены. В Харькове был построен запроектированный им Петинский путепровод над железнодорожными путями. Он состоял из двух независимых половин, каждая из которых представляет собой двухконсольную ферму со средним пролетом 8,1 м и консольными вылетами по 10 м.

Первой заметной работой Евгения Оскаровича в г. Киеве стал Парковый мостик между Царским и Купеческим садами. Это была дипломная работа группы его студентов, реализовавших в 1909 году замысел руководителя. Была предложена совершенно новая идея конструкции: две решетчатые фермы, имевшие форму параболических арок, пролетом 36 метров, наклонялись друг к другу под углом

20 градусів, а надферменная часть в виде многопролетной эстакады опиралась на гибкие опоры. Построен мост был в 1912 году.



Рис. 5. Парковый мост Е. О. Патона

До начала Первой мировой войны Е. О. Патон проектирует многие мосты для Украины, в том числе через реки Рось в Корсуне и Тясмин в Звенигороде, а также мост через Куру в Тбилиси. В годы войны Патон также нашел применение своим знаниям. В воспоминаниях Патон пишет, что в России никто всерьез не занимался проектированием стальных разборных мостов, которые обычно применяются вместо взорванных. Он решает сам взяться за проектирование и привлечь студентов-выпускников. В 1916 году с дипломантом Сейделем они выполнили проект 20-саженного ширококолейного железнодорожного разборного пролетного строения с ездой понизу, с фермами с пролетом в 44,5 метра. Управление Юго-Западных железных дорог заказало семь таких пролетных строений и вскоре установило их при восстановлении мостов на нескольких железных дорогах.

В годы Первой мировой войны в окрестностях Киева было проложено Северное железнодорожное кольцо в гавань. При этом через Вышгородскую улицу был возведен железнодорожный виадук, а через Днепр в 1916–1917 годах был сооружен железнодорожный мост, названный именем императрицы Марии Федоровны (ныне Петровский железнодорожный мост). В создании левобережной эстакады моста принимал участие профессор КПИ Е. О. Патон. Во время гражданской войны мост был разрушен и восстановлен в 1929 году, во время Великой Отечественной войны был дважды разрушен (в 1941 и 1943 годах). Восстановлен в 1945 году (рис. 6).



Рис. 6. Петровский мост (современный вид)

Распад Российской империи и Гражданская война вызвали тяжелые потрясения и разрушения. Каждая отступающая армия уничтожала за собой мосты. Именно так поступили поляки, оставляя Киев в начале лета 1920 года. А после окончания Первой мировой и гражданской войны одной из первых и наиболее актуальных задач стало восстановление поврежденных и разрушенных войной металлических мостов и строительство новых. Самое активное участие в этих работах принимали такие выдающиеся инженеры и ученые, как Н. С. Стрелецкий (г. Москва) и Е. О. Патон (г. Киев).

Способы восстановления мостов и необходимые для этого материалы конструкций и оборудование зависели прежде всего от вида разрушения моста. Кроме того, основное влияние на характер восстановительных работ имели срок, в течение которого они должны были проводиться, и эксплуатационные требования, которым восстановленные мосты должны удовлетворять. В соответствии с этими условиями восстановление металлических мостов разделялось на краткосрочное, временное и капитальное.

Краткосрочное восстановление мостов предусматривало их эксплуатацию в течение небольшого периода времени и не удовлетворяло условиям пропуска льда и высоких вод. Зачастую при этом использовались упавшие фермы в качестве основания для шпальных клеток или деревянных эстакад, по которым укладывалась проезжая часть. Широко применялось устройство шпальных клеток, размещенных на небольших расстояниях друг от друга, которые перекрывались металлическими балочными конструкциями, и по ним укладывалось проезжее полотно. Использовались также приемы постройки кратковременных мостов, в большинстве случаев низководных, на обходе, то есть рядом с разрушенным. Такой способ в дальнейшем не затруднял производство работ по восстановлению мостов.

Временное восстановление предусматривало обеспечение движения транспорта без особых ограничений, а применяемые материалы и конструкции рассчитывались на эксплуатацию сроком до 10 лет без переустройства. Примерами временно восстановленных могут служить описанные ниже мосты.

У построенного Струве железнодорожного моста через р. Днепр в г. Киеве неразрезные двухпролетные фермы были взорваны во втором пролете около их средней опоры и одним концом упали в воду, а фермы первого пролета остались на опорах и превратились в разрезные фермы. При временном восстановлении моста упавшие фермы были подняты с помощью двух шпальных клеток и домкратов и установлены на возведенные рамно-ряжевые деревянные опоры. После открытия движения поездов начались работы по капитальному восстановлению, которое заключалось в доклейке поврежденных металлических частей и превращении ферм опять в неразрезную систему.

В железнодорожном мосте через р. Южный Буг у с. Губник взрывом были повреждены фермы в пролете. Мост имел два пролета по 87,6 м, перекрытых фермами с полигональным очертанием нижнего пояса, двухраскосной системой решетки и с ездой поверху. Взрывом повреждены пять промежуточных панелей пролетного строения. При временном восстановлении (рис. 7) после удаления поврежденных панелей оба конца ферм были подняты и под них подведены две ряжевые опоры. Пролет между поднятыми частями ферм перекрыли сплошными балками, которые расположили так, чтобы в дальнейшем можно было производить доклейку ферм для капитального восстановления моста.

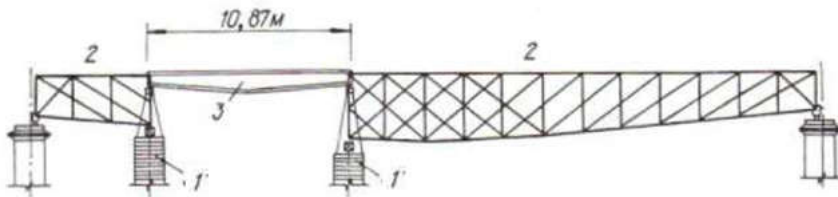


Рис. 7. Способ временного восстановления железнодорожного моста через р. Южный Буг у с. Губник; 1 – ряжевые опоры; 2 – поврежденная ферма; 3 – временная металлическая балка

В тех случаях, когда пролетными строениями моста после взрыва нельзя было воспользоваться, их заменяли новыми, в качестве которых применяли существовавшие в то время сборно-разборные металлические пролетные строения системы Патона с ездой понизу пролетом 44,8 м и 54 м (рис. 8). Фермы пролетом 54 м имели треугольную систему решетки с дополнительными треугольниками и состояли из 18 треугольников и 5 прямых элементов. Главным требованием к указанным сборным мостам были скорость и простота

сборки и разборки. В 1926 году на объявленном НКПС Международном конкурсе Е. О. Патон был удостоен премии за проект разборного железнодорожного моста пролетом от 30 м до 85 м.

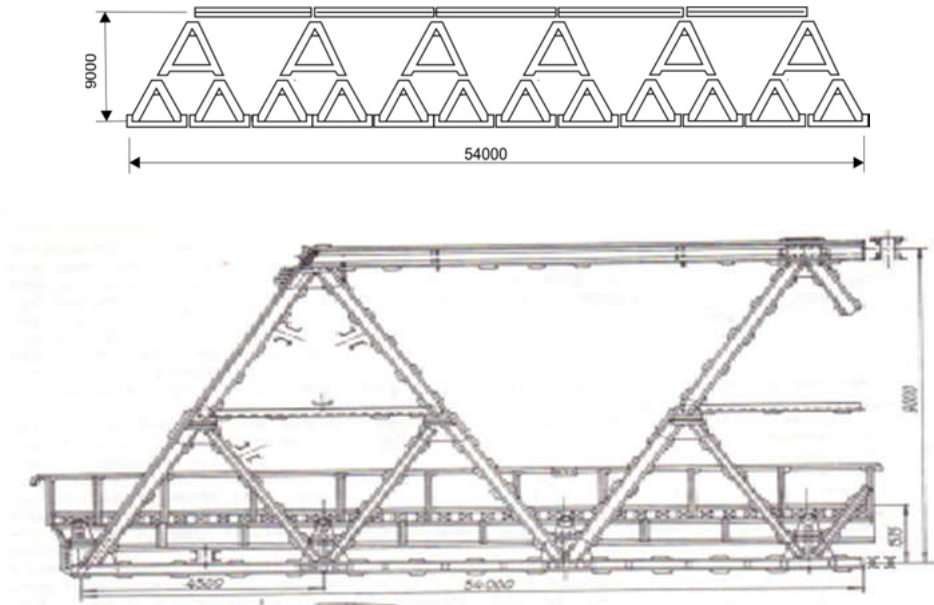


Рис. 8. Сборно-разборное пролетное строение

При решении задач восстановления или нового строительства реализовывались смелые инженерные идеи. Так, например, при восстановлении моста через р. Южный Буг под руководством Е. О. Патона было произведено регулирование опорных реакций неразрезных ферм, а при восстановлении моста через р. Ингулец инженером А. Д. Головым создан искусственный распор с помощью домкратов.

Восстановление мостов требовало организации их экспериментального изучения, что в значительной мере диктовалось необходимостью эксплуатации слабых мостов, пострадавших во время гражданской войны и восстановленных в первые годы после ее окончания. В связи с этим в отделе инженерных исследований технического комитета НКПС были организованы мосто-испытательные станции, в том числе, Киевская, руководимая Е. О. Патоном, в задачу которых входило экспериментальное изучение многих сотен мостов.

Исследовались две основные проблемы:

- динамическая работа мостов, в том числе, зависимость между законами свободных колебаний пролетных строений и состоянием их клепаных соединений;

— статическая работа пролетных строений как пространственных мостовых брусьев.

Киевская испытательная станция проводила большую работу по обобщению результатов испытаний выполненных этой станцией на эксплуатируемых и восстанавливаемых железнодорожных мостах. В частности, была выполнена оценка ошибок, возникающих при расчетах мостовых ферм за счет пренебрежения жесткостью узлов путем сопоставления данных о замеренных напряжениях с их расчетными значениями [46]. Интересные данные были также получены при испытаниях моста, специально сконструированного и построенного киевской испытательной станцией для экспериментов [56].

Ценным практическим руководством по восстановлению мостов была работа Е. О. Патона «Восстановление разрушенных мостов», изданная в 1918 году, а затем в переработанном и дополненном виде – в 1924 году.

Параллельно с восстановлением разрушенных мостов в начале 20-х годов в Украине начались работы по строительству новых мостов.

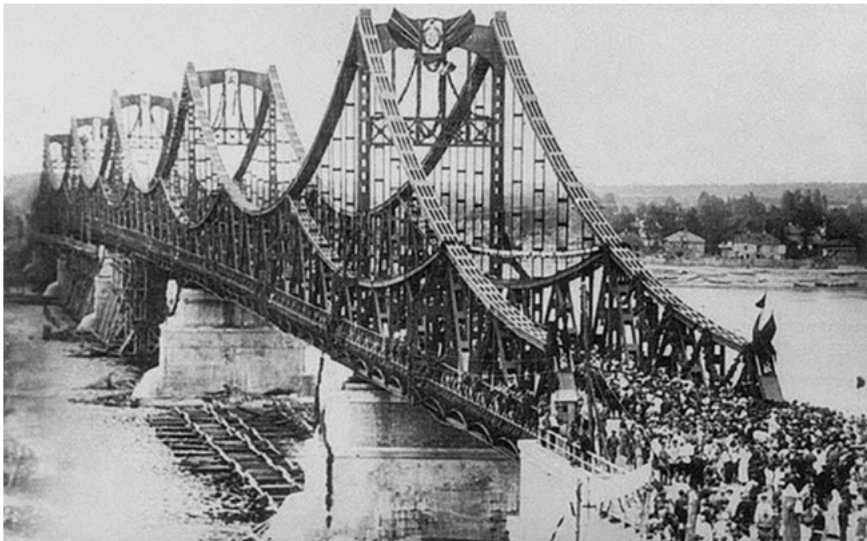


Рис. 9. Торжественное открытие моста им. Евгении Бош 10 мая 1925 г.

В 1920 году Е. О. Патон со своими учениками приступил к проектированию одного из своих крупнейших шоссе мостов через р. Днепр в Киеве, построенного на месте разрушенного Цепного моста. Строительство моста осуществлялось в течение 1923–1925 годов. Е. О. Патон, будучи в это время профессором КПИ, являлся не только автором проекта, но и главным техническим консультантом строительства.

Конструкція моста, котрому дали імя революціонерки Євгенії Бош, представляла собою неразрезне пролетне строєння с параболічеськими верхніми поясами і пролетами по 134 м, підвешене к рамним пілонам, установленним над опорами моста.

Ширина моста 11,1 м, загальна довжина 675 м, затрати металу околo 5300 т. Пояса і цепи виконані з чотирьох двутавров, раскоси – з двох, сопряженіє всіх елементів в узлах – шарнірне і здійснювалось з допомогою одного болта діаметром 130 мм. Перевірка надійності таких сопряженіє здійснювалась на спеціальних моделях академіком К. К. Симінським, котрий багато уваги уделял експериментальним дослідженням мостових конструкцій, розробці методики іспитаніє і изученію іспитальної техніки.

Новое время

Переход к сварным конструкциям стальных мостов резко изменил практику мостостроения. Сварка в мостостроении начала применяться еще в 30-е годы. Ее внедрение происходило очень осторожно, и на первом этапе предполагалось сварными делать только заводские отправочные марки, а сборку выполнять на заклепках. Так появились комбинированные конструкции мостов – сварные с клепаными монтажными соединениями. Конструкция такого железнодорожного моста (рис. 10) с пролетом до 82,5 м (однопутным с ездой понизу) разработана под руководством Б. Н. Горбунова на кафедре металлических конструкций КИСИ.

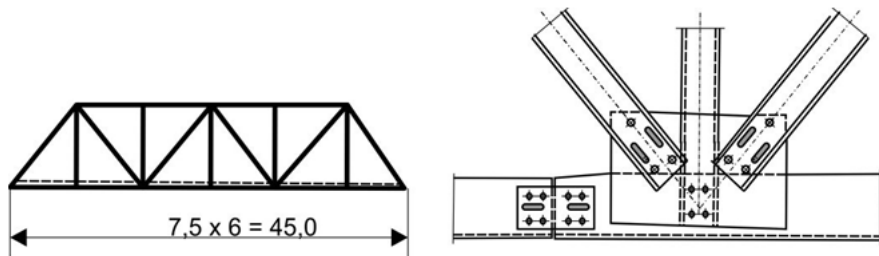


Рис. 10. Клепано-сварное пролетное строение

В связи с этим исследователи уделяли большое внимание изучению работы комбинированных клепано-сварных соединений применительно к узлам мостовых ферм, продольным и поперечным балкам проезжей части с креплениями связей. В Институте электросварки АН УССР Е. О. Патонем, В. В. Шеверницьким [51, 57] и ЦИС НКПС были установлены местоположения разрушающих усилий в комбинированном соединении, в соединении с заклепками, а также в соединении со сварными швами. Применительно к этой задаче изучались свойства «сварочной стали», выплавленной в пудлинговых печах и применявшейся в старых мостах. Из-за недостаточной пластичности этой стали и расслаивания нередко имели место хрупкие разрушения [58].

Большие экспериментальные работы по сопоставлению работоспособности сварных и клепаных ферм выполнены Е. О. Патонем и Б. Н. Горбуновым. При испытаниях клепаных и сварных ферм пролетом 12 м расшатывание заклепок проявилось после 30 тыс. нагружений, разрушение сварных и клепаных ферм – после 230...250 тыс.

Еще в 30-х годах работами Е. О. Патона и Б. Н. Горбунова в ИЭС АН УССР было доказано, что для конструкций, эксплуатируемых в условиях статической и вибрационной нагрузок, наиболее рационально применять стыковые сварные соединения, так как они обеспечивают минимальную концентрацию напряжений. Однако эти выводы ученых длительное время не использовались проектировщиками в силу укоренившихся методов проектирования клепаных конструкций.

При этом качество изготовления сварных пролетных строений мостов было низким, а сама сталь имела высокий порог хладоломкости. В конструкции ферм было много недостатков, главный из них – стыки с накладками или внахлестку. В результате получалось большое скопление фланговых и лобовых швов в отдельных местах ферм, что вызывало высокие остаточные напряжения от сварки, способствующие, в сочетании с низким качеством сварки и выбранной стали, образованию трещин в элементах ферм во время монтажа и эксплуатации. Это привело к тому, что ряд специалистов и в целом проектных организаций решительно выступили против применения сварки в железнодорожных и автодорожных мостах. В результате этого накануне Великой Отечественной войны темпы сварного мостостроения резко снизились. За 10 лет (1931–1942 гг.) в нашей стране построено всего 28 сварных пролетных строений массой около 1500 т. Подавляющее большинство вскоре было снято с эксплуатации из-за их аварийного состояния.

Однако сварное мостостроение имело и горячих сторонников. К ним в первую очередь относится Е. О. Патон. Предвидя большое будущее за сварными мостами, он с неослабевающей энергией продолжал работы по изучению проблем сварного мостостроения.

В 1940 году при рассмотрении проекта строительства нового автодорожного моста через р. Днепр в г. Киеве Е. О. Патон предложил применить способ автоматической сварки под флюсом для изготовления его элементов. Киевский Наводницкий автодорожный мост должен был стать первым в мире мостом, сваренным автоматами. Поскольку на строительной площадке в этот период было очень трудно обеспечить надлежащее качество швов, было решено все сварочные работы производить на Днепропетровском мостостроительном заводе, а монтажные соединения выполнить клепаными. В месячный срок проектное бюро ИЭС АН УССР разработало проект и рабочие чертежи сварочного стенда и цепного кантователя к нему.

К началу войны значительная часть конструкций была изготовлена Днепропетровским заводом, два пролета были доставлены в Киев и один из них смонтирован, семь пролетов оставались на заводе. Этот металл был использован в 1944 году при восстановлении Днепропетровского моста через р. Днепр.

Мост Патона

В это время приобрела остроту проблема восстановления в г. Киеве Наводницкого моста через р. Днепр. Он был подорван отступающими немецкими войсками.

На стадии технического проекта, были разработаны различные варианты восстановления пролетных строений моста, в основном по традиционным схемам. По инициативе выдающегося мостовика и крупнейшего специалиста по сварке металлов Евгения Оскаровича Патона был представлен вариант сварных пролетных строений. Руководство проектированием нового Наводницкого моста взял на себя О. И. Шумицкий, назначенный в октябре 1948 года начальником проектного бюро.

Следует подчеркнуть, что к тому периоду, несмотря на большие технико-экономические преимущества, сварное мостостроение не развивалось из-за опасности возникновения трещин в сварных соединениях. Поэтому было необходимо проведение комплекса поисковых работ для создания новой конструктивной формы сооружения и его узлов, новой стали и технологии ее сварки, предотвращающих возникновение хрупких и усталостных трещин. Эти работы взялся провести Институт электросварки Академии наук Украинской ССР под личным руководством его директора Е. О. Патона.

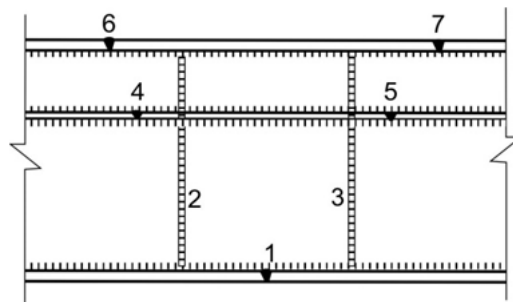


Рис. 11. Монтажный стык (цифрами указана последовательность операций)

В соответствии с идеей Е. О. Патона, вместо решетчатых разрезных ферм большой высоты, для Наводницкого моста были запроектированы сплошностенчатые неразрезные балки, с высотой сечения в пределах железнодорожного габарита. Вместо восьми ферм, металл был сосредоточен в четырех главных балках. Система горизонтальных ребер жесткости, технологичных в изготовлении и сварке, позволила достичь рекордной тонкостенности главных балок с концентрацией стали в поясах. Они были

раціонально усилені вторими листами над опорами і в пролеті. Предложений Інститутом електросварки монтажний стык головних балок (рис. 11) дозволило його виконати напівавтоматичною зваркою.

Наводницький – перший в світі великої ціліснозварної мост, тепер по праву носієм імені Е. О. Патона, був введений в експлуатацію в листопаді 1953 року і успішно експлуатується до сих пір.



Рис. 12. Мост Патона

Коллектив проєктувальників проєктної контори «Проєктстальконструкція», як тоді називався інститут «Укрніипроєктстальконструкція» (О. І. Шумицький, В. І. Киреєнко, Л. І. Гомин і др.), сложившийся при проєктуванні моста Патона, продовжив свою роботу і розробив проєкт висячого пішохідного моста через р. Дніпр в Києві (рис. 13).



Рис. 13. Пішохідний мост в г. Києві

Мост имел схему 60+180+60 м со сварной балкой жесткости, с двумя спаренными пилонами и Н-образными криволинейными сварными поясами, образующими цепь, на которой висит мост, и передающими распор на главные балки. К сожалению, растянутую цепь перерезать сварными швами не рискнули: ее стыки и присоединение к ней подвесок выполнены на заклепках. Основной пролет (180 метров) освободил русло Днепра от стесняющих его промежуточных опор. Распор от несущей цепи передан на балку.

Открытие моста в 1957 году разрешило проблему переправы отдыхающих на Труханов остров в пляжную зону. Пешеходный мост удачно вписался в днепровские склоны и стал визитной карточкой города.

Вантовые мосты

После Второй мировой войны в мостостроении началась эпоха вантовых мостов. Первым современным вантовым мостом является мост Стромсунд в Швеции, открытый в 1956 году. А первыми крупными вантовыми мостами, построенными в СССР, были мост через реку Нарын, мост через гавань Днепра в г. Киеве (1963 год), Московский мост через Днепр в г. Киеве (1976 год), вантовый мост в Риге (1981 год). Это направление проектирования развивалось в Укрпроектстальконструкции (В.И. Киреенко) и Киевском филиале ГПИ «Союздорпроект» (Г. Б. Фукс).



Рис. 14. Мост через гавань

Вантовый мост через гавань р. Днепр на Рыбальский остров был построен по проекту Укрпроектстальконструкции, выполненному под руководством Владимира Ивановича Киреенко, автора ряда известных мостовых сооружений. Это сооружение с главным пролетом 148 метров (рис. 14), у которого вместо стальной балки жесткости был применен железобетон из-за господствовавшей в

то время тенденции экономии металла. Таков был исторический контекст: металла не хватало, ибо он шел на ложно понимаемые военные цели – танки, танки, танки... Но здесь важно отметить, что полученный опыт открыл путь вантовым мостам, спроектированным институтом в других городах страны.

В Укрпроектстальконструкции запроектирован изящный вантовый мост через реку Уж в г. Коростене, построенный в городском парке и предназначенный для пропуска пешеходов к пляжу (рис. 15). Для этого перехода была применена новая эффективная система пролетного строения в виде вантовой двухпролетной фермы с односторонним пилоном. Общая длина моста 102 м, ширина 3 м.



Рис. 15. Мост в г. Коростене

Балка жесткости – неразрезная сталежелезобетонная, составленная из двух ниток сварных балок двутаврового сечения и сборных железобетонных плит проезжей части, объединенных с балками для совместной работы. Пилон выполнен в виде отдельно стоящей А-образной рамы с жестким креплением к массивному фундаменту. Расчетная высота его над осью балки жесткости 23 м, нижняя часть до фундамента имеет высоту 8,8 м.

Ванты натягивали и регулировали только по окончании монтажа всех элементов пролетного строения и загрузки его полной постоянной нагрузкой. Мост соорудили по технологии, совмещающей регулировку натяжения вант с раскружавливанием, успешно опробованной при строительстве через гавань.

Первым значительным вантовым мостом в СССР был Московский мост в г. Киеве с главным пролетом 300 м, построенный в 1976 году (рис. 16). Мост был построен по проекту Киевского филиала ГПИ «Союздорпроект». Главным инженером проекта был выдающийся мостовик Георгий Борисович Фукс, который к этому моменту уже являлся автором проекта моста-метро через р. Днепр в г. Киеве. Главным архитектором проекта Московского моста был А. В. Добровольский. Московский мост был этапным мостом в советском

мостостроении. На этом мосту были отработаны технологии, которые прежде не использовались в СССР.



Рис. 16. Московский мост в г. Киеве

Балка жесткости шириной 31,4 м, неразрезная трехпролетная по схеме 84+300+63 м, защемлена в левобережном устое-противовесе, к которому направлены все ванты, и подвижно закреплена на пилоне и правобережной опоре. Она выполнена в форме двух коробчатых сечений 3,6×5,0 м, объединенных сверху ортотропной плитой проезжей части. А-образный железобетонный пилон имеет высоту 125 м. Канаты вант состоят из параллельно уложенных проволок, была использована оригинальная конструкция анкеровки вант. Впервые в отечественной мостостроительной практике на монтаже сочетались сварные соединения и соединения на высокопрочных болтах.

В 1981 году был открыт мост в г. Риге (Латвия) через р. Даугаву, пролетом 312 метров, под четыре полосы автодвижения. В 1990 году был введен в эксплуатацию Южный мост через р. Днепр в г. Киеве, предназначенный для движения двух путей метро и шести полос движения. Пролет этого моста составил 268 м. Проектом обоих мостов руководили Г. Б. Фукс и М. М. Корнеев, архитектором был Гаврилов А. Е.

Вантовый мост в Риге (рис. 17) по схеме 90+312+87+65 м имеет асимметричную однопилонную схему, ванты идут в одной плоскости по оси моста и, в отличие от Московского моста, не сконцентрированы, а рассредоточены по пролетному строению. Балка жесткости шириной 28,6 м набрана из трех коробчатых сечений шириной 5,3 м каждое и консолей по 6,3 м, с усиленными подкосами. Отличие от Московского моста, где регулирование усилий имело ограниченный характер, на мосту в г. Риге за счет корректировки длин канатов было выполнено регулирование моментов в балке жесткости и в корне пилона.



Рис. 17. Мост через р. Даугаву в г. Риге

Главной частью Южного мостового перехода в Киеве является переход через р. Днепр (рис. 18). Он состоит из двух конструктивно различных частей: железобетонной многопролетной балочной эстакады с пролетами 79,0 м и длиной 663 м и вантового моста длиной 565 м с главным пролетом 271 м.



Рис. 18. Южный мост в г. Киеве

Уникальность Южного моста в г. Киеве состоит в том, что он на одном уровне совмещает линию метрополитена и автомобильное движение. При строительстве Южного моста за основу был взят проект Московского моста, но помимо многих общих черт, Московский и Южный мосты во многом отличаются. Южный в полтора раза длиннее, чем Московский, его длина составляет 1250 м, а ширина 41 м. Кроме того, Южный мост разделен на шесть

полос для автомобилей шириной по 3,75 м, предусматривает линию метро, состоящую из двух путей, распложенных по оси моста и окруженных 10-метровым ограждением, а также имеет полутораметровые тротуары.

Балка жесткости вантовой части моста состоит из правобережной стальной трехпролетной части (268+90+85 м) и левобережной железобетонной двухпролетной части (63+60 м), играющей роль противовеса для главного вантового пролета.

Двухстоечный пилон высотой 132,5 м в поперечном направлении является рамной конструкцией, что уменьшает его гибкость в этой плоскости, в продольном направлении его гибкость ограничена рассредоточенными вантами. Сами ванты выполнены из витых кантов закрытого типа, с их помощью, за счет изменения длины, реализовалось регулирование усилий в балке жесткости и в пилоне.

Проект автодорожного моста через р. Днепр в г. Днепропетровске разработан в Укрпроектстальконструкции (В. И. Киреенко), его строительство было начато в 1980 году. Предполагалось судоходную часть реки перекрыть тремя пролетами (140+320+140 м), остальные прибрежные пролеты по 100 м и менее.

Общая длина моста 1248 м. Пролетное строение принято в виде одной цельносварной, не разрезной по всей длине моста главной балки коробчатого трапециевидного сечения высотой 3,5 м. Вантовая многониточная система с двумя пилонами принята с одной несущей плоскостью, расположенной по оси моста в пределах разделительной полосы. Однако в середине 80-х годов во время строительства проект был пересмотрен, и для некоторого упрощения изготовления, взамен современного вантового, принято тривиальное балочное решение с судоходными пролетами по 147 м (Ленгипротрансмост), что ухудшило эксплуатационные показатели и привело к бросовым затратам.



Рис. 19. Мост в морском порту г. Одессы

К числу современных вантовых мостовых сооружений следует также отнести переход через железнодорожные пути в Одесском порту (рис. 19), запроектированный М. М. Корнеевым. Балка жесткости вантового пролетного строения по схеме 35+114,7 м общей длиной 150.5 м заземлена в устое-противовесе и подвижно опирается на пилоне и промежуточной опоре. В поперечном сечении балка жесткости вантового пролетного строения представляет собой ортотропную плиту, опертую по краям на открытые главные балки.

Для вант были использованы витые закрытые канаты, которые имели мерную длину с установленными анкерами и стабильный известный модуль деформации. Контроль напряженного состояния вантовой системы, выполненный по стрелке провисания каната, показал хорошее совпадение результатов фактических данных с расчетными значениями.

Строящийся мостовой переход в г. Запорожье пересекает р. Днепр вантовым мостом с пролетом 260 м. Схема моста вантовая, однопилонная с системой вант «арфа» (рис. 20). Неразрезная стальная балка длиной 660 м опирается по схеме 79,2+3×80+260+79,2 м. Вантовый главный пролет поддерживается вантами, идущими с шагом 12 м, в анкерных пролетах шаг вант составляет 10 м, а шаг по высоте пилона – 7,0 м. Высота пилона от ростверка до верха – 150 м, что обеспечивает наклон вант-подвесок к горизонту под углом 30°, а вант-оттяжек – 33°. Ванты расположены в двух плоскостях, по 12 штук в каждую сторону от пилона.

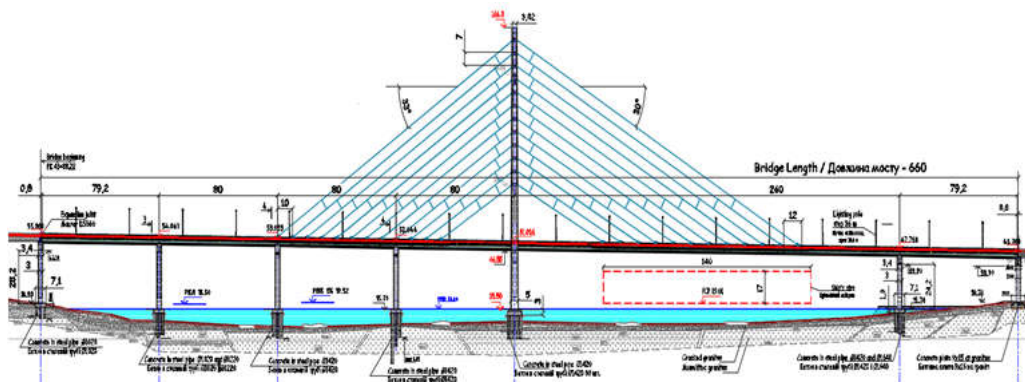


Рис. 20. Проект моста через р. Днепр в г. Запорожье

Неуравновешенность распоров справа и слева от пилона, величина которого оценивается в 800 т, не могут воспринять неподвижные опорные части балки. Для этого предусмотрена шарнирная тяга, позволяющая удерживать балку от сдвига относительно пилона, постепенно включающаяся в работу при опускании балки с вантами с высоты сборки (2 м выше проектного уровня) в проектное положение.

Другие мосты

В г. Николаеве в 1964 году введен в эксплуатацию новый автодорожный мост через р. Южный Буг, построенный взамен старого деревянного наплавного моста, просуществовавшего более 100 лет. Проект разработан Киевгипротрансом (А. А. Карпачев). Мост в своей основной части выполнен в железобетоне, однако для пропуска морских судов в нем предусмотрена металлическая разводная часть поворотной системы длиной 129,2 м.



Рис. 21. Поворотное строение городского моста в г. Николаеве

Такой разводной пролет поворотной системы (наибольший в Европе) выполнен двухрукавным (рис. 21), в закрытом положении он работает как неразрезная двухпролетная балка, опирающаяся по краям на железобетонные опоры моста и в середине – на центральную опору. В открытом состоянии, когда для пропуска судов вся разводная часть поворачивается в горизонтальном направлении вокруг центральной опоры на 90° – как двухконсольная уравновешенная система. Поворотная часть состоит из двух сплошных клепано-сварных главных балок переменной высоты от 6,50 м до 2,25 м, раскрепленных связями и струнобетонной плитой толщиной 13,5 см.

Новым этапом в развитии отечественного мостостроения было применение высокопрочных сталей. Одним из первых таких объектов был запроектированный в Укрпроектстальконструкции мостовой переход через р. Смотрич в г. Каменце-Подольском (рис. 22).

Русло р. Смотрич в г. Каменце-Подольском перекрывается стальным рамным трехпролетным строением общей длиной 178,8 м, которое представляет собой две коробчатые трехпролетные балки (средний пролет – 76 м, боковые – по 51,35 м), поддерживаемые жестко соединенными с ними наклонными ногами. Расстояние между опорами ног 148,84 м. В пролетном строении используются три марки сталей: высокопрочная 14Х2ГМР для наиболее напряженных

участков нижнего пояса главных балок, повышенной прочности 14Г2 и углеродистая ВСтЗсп. Проезжая часть решена в виде стальной ортотропной плиты (сталь 14Г2). Высокопрочная сталь 14Х2ГМР впервые использована в мостостроении в качестве эксперимента, поэтому на строительстве ее израсходовано всего 90 т. Технология сварки высокопрочной стали разработана ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР (Б. С. Касаткин, В. Ф. Мусияченко и другие).



Рис. 22. Мост через р. Смотрич

Изящная схема этого моста, условно названная «Бегущая лань», была повторена в Одессе для перехода через спуск Жанны Лябурб (рис. 23). Здесь также можно упомянуть также украсивший город Житомир пешеходный мост, построенный в парке над р. Тетерев (рис. 24). У последнего было использовано оригинальное техническое решение горизонтальных (ветровых) вантовых ферм, для которых предусмотрены горизонтальные «пилоны».



Рис. 23. Мост через спуск Жанны Лябурб



Рис. 24. Житомирский мост

На построенной в 1932 году плотине ДнепроГЭС была двухполосная проезжая часть, которую после ремонта в 1978 году расширили до четырех полос. Автопроезд, который имел ширину 7,5 м, расширен до 15,9 м. Также был предусмотрен пешеходный тротуар шириной 2,25 м с низовой стороны плотины

и служебный проход 0,75 м с верховой стороны. Были использованы конструкции старых пролетных строений, расширение выполнено в металле. На левом берегу Днепра была сделана новая металлическая эстакада через оба шлюза к плотине. Точно такая же эстакада была сделана на правом берегу вместо аванкамерного моста.

Проект перехода был разработан Укрпроектстальконструкцией (В. И. Киреенко, Э. С. Дудник и В. Б. Лысов).

Подход к плотине со стороны левого берега должен пересекать шлюз. Но если пойти по традиционному пути, то пришлось бы новый мост поднять на 8–10 м выше существующего перехода. Поэтому была принята принципиально новая конструкция – криволинейная эстакада, которая не пересекает шлюз, а обходит его.

Основная часть эстакады представляет собой балку-оболочку трапецеидальной формы. И благодаря своей форме лежащей арки она воспринимает все горизонтальные нагрузки, передавая их на крайние массивные устои.

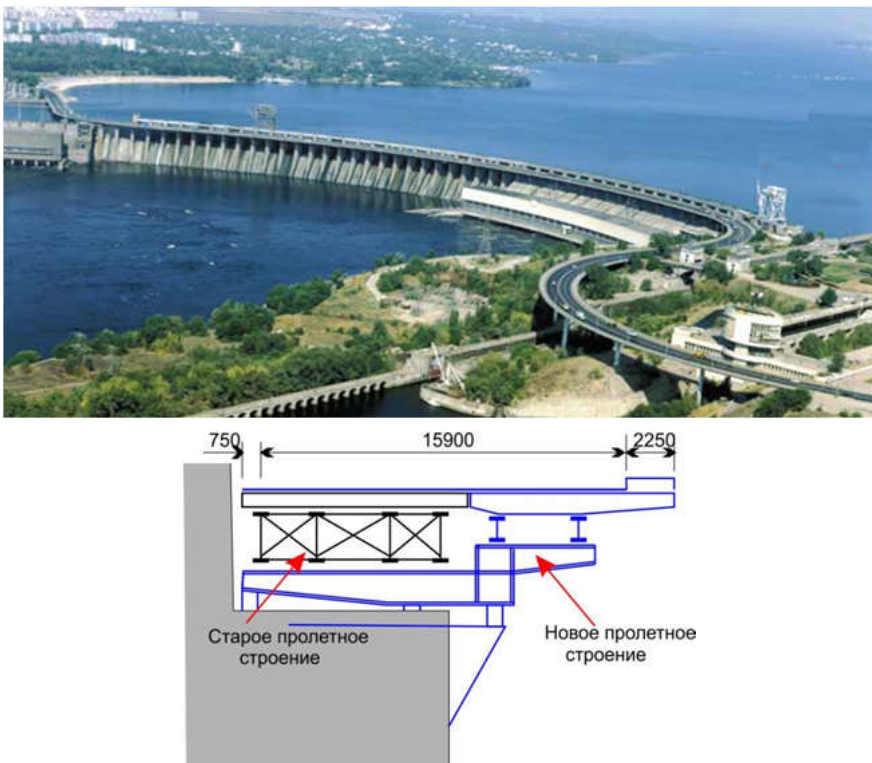


Рис. 25. Мостовой переход через р. Днепр по плотине ДнепроГЭС, г. Запорожье

После эстакады автодорожный переход проходит по верху плотины. Проезжую часть здесь требовалось расширить с двух до четырех полос движения. Существующие пролетные строения, хорошо сохранившиеся, решено было использовать, нарастив сбоку новые конструкции.

Для этого старые пролетные строения приподняли, подвели под них длинные металлические балки, образовавшие с одной стороны консоли (часть балок, находящаяся на весу). На эти консоли и устанавливались новые пролетные строения. Запроектированная стальная плита проезжей части имела оригинальную конструкцию. Для нее были применены замкнутые ребра таврового сечения, а стык плит был выполнен без стыка ребер за счет утолщения листа настила. Это решение прошло испытание временем.

В 2004–2006 годах началось строительство двух больших мостовых переходов через р. Днепр в городах Киеве и Запорожье.

ТЭО Подольского мостового перехода в г. Киеве было разработано еще в 1991 году Киевсоюздорпроектом совместно с Киевпроектом под руководством Г. Б. Фукса. В 2005–2006 годах, уже после начала рабочего проектирования, был составлен и утвержден скорректированный проект (Г. Б. Фукс). Рабочее проектирование всех мостовых сооружений было выполнено Проектным бюро «Мостобуд» (М. М. Корнеев, Н. Н. Сарычева, С. Л. Дитковский).

Общая длина перехода составила 7,5 км. В состав сооружений мостового перехода включены три стальных моста через Гавань, арочный мост через р. Днепр (пролёт 344 м), мост через р. Десенку, мост через о. Радужное и сталежелезобетонные эстакады по всей длине трассы и на развязках. Большая часть сооружений двухъярусная: в верхнем ярусе – автомобильный транспорт, в нижнем – метро. В процессе строительства был добавлен автодорожный мост на входе в Гавань и левоповоротный съезд с арочного моста, ранее не учтенные в проекте. Проезжая часть мостов и эстакад двухэтажная: автопроезд размещен в верхнем уровне, а рельсовый транспорт – в нижнем.

Строительство стального моста через пролив р. Десенки со стальной двухэтажной фермой высотой 7 м и пролетами длиной до 70 м было закончено в 2008 году (рис. 26). При этом были заложены основные параметры узлов фермы, которые в дальнейшем были использованы в более сложной конструкции фермы моста через р. Днепр.

Стальной мост через главное русло р. Днепра – арочный с пролетом 344 м, был запроектирован под шесть полос автомобильного движения, двух путей метро и для коммуникаций в виде труб большого диаметра. Арка, в основном очерченная параболической кривой, с отношением стрелки до прогона менее 0,2.

Проезжая часть моста ферменная, длина фермы 473 м по схеме 64+344+64 м.

Двухэтажная ферма шириной 35.8 м подвешена к аркам на канатах-подвесах, идущих с шагом 8 м. Арки объединены трубными связями, образующими полураскосную решетку. Собственный вес арок передается в шарнирной схеме с помощью временных шарниров. После передачи на шарнир собственного веса арки и веса связей шарниры омоноличиваются, и дальше арка работает как бесшарнирная.

Монтаж канатов было выполнен при положении фермы на 1 м выше проектного уровня. Далее фермы опускались на временные опоры, и канаты включались в работу. Контроль усилий в канатах был выполнен на основе шайб-тензодатчиков и измерения собственных частот колебания канатов.



Рис. 26. Подольский мостовой переход: слева мост через р. Днепр (завершается строительство), справа мост через р. Десенку (построен в 2008 году)

Проект мостового перехода через р. Днепр в г. Запорожье был разработан институтом «Киевсоюздорпроект». Автором трассы и планировочных решений был комплексный ГИП И. А. Панасюк. Проектирование эстакад из сборных железобетонных балок были выполнены институтом «Киевсоюздорпроект» (О. И. Сергеева, А. З. Штейнберг, С. В. Николаев).

Проектирование мостов через р. Днепр и протоку Старый Днепр, сталежелезобетонных эстакад и развязок было выполнено Проектным бюро ПАТ «Мостобуд» (М. М. Корнеев, Н. Н. Сарычева).

Мост через протоку Старый Днепр, входящий в систему строящегося перехода через р. Днепр в г. Запорожье, был запроектирован Проектным бюро «Мостобуд» в виде рамно-арочного моста с пролетом 264 м (рис. 27). Схема арочно-рамного распорного моста была предпочтительнее балочного многопролетного не только из-за отсутствия опор в русле протоки Старый Днепр, но и вследствие высоких гранитных берегов – удобных условий для арочного распорного моста.

Мост был запроектирован по схеме 105,5+128+105,5 м и длиной 340,6 м в осях

деформационных швов. Балка высоко поднята над водой, оперта на две береговые и на две промежуточные опоры в воде, высота которых более 50 м. Строительство было начато, но уже вскоре изменились заказчик и генеральный подрядчик, который изъявил желание использовать свой кран «Захарий», вместо большого плавучего 1200-тонного крана, строительство которого планировалось для этой и других крупных государственных строек.



Рис. 27. Проект моста через протоку Старый Днепр в г. Запорожье

Но «Захарий» был поврежден при строительстве нового Дарницкого моста в Киеве, поэтому выполнить указание и закончить строительство моста в Запорожье в 2012 году стало невозможным. По этой причине пришлось отказаться от первоначального проекта моста через Старый Днепр – мост в виде «бегущей лани» строить было просто нечем.

Проект «бегущей лани» был отменен и взамен ему сейчас строится обычный балочный мост. При этом «в никуда» ушли несколько лет проектных работ, а также стапель в Кривой бухте, подготовленный под сборку конструкций «бегущей лани».



Рис. 28. Мост через Владимирский спуск в г. Киеве

В 2019 году в Киеве был сдан в эксплуатацию велосипедно-пешеходный мост между парком «Крещатый» и Владимирской горкой. Основной особенностью моста есть то, что каждый из трех пролетов моста ориентирован в плане по-разному. На промежуточных опорах устроены широкие смотровые площадки (рис. 28).

Мост, имеющий ломаное в плане очертание, испытывает кручение, для его восприятия балка выполнена в виде трапециевидной коробки 2,4×3,0 м, имеющей высокую жесткость на кручение.

За пределами Украины

Украинские проектировщики разрабатывали конструкции мостов не только для территории Украины – достаточно вспомнить описанный выше Рижский мост. Но это не единственный объект, построенный за пределами Украины. В первую очередь, нужно указать на запроектированный в 1988 году (Г. Б. Фукс и М. М. Корнеев) и построенный по очередям (в 1989 г. и в 1994 г.) автодорожный мост через р. Иртыш (рис. 29).



Рис. 29. Мост через р. Иртыш в г. Омске

Пролетное строение моста выполнено по схеме 84+136,5+168+136,5+84 м. Пролетное строение выполнено раздельным под каждое направление движения, с шириной каждого проезда 14,15 м. Каждая балка жесткости состоит из двух коробок высотой 3,2 м и шириной 1,92 м, объединенных сверху ортотропной плитой, в центральном пролете балки жесткости поддержаны подпругами.

В 2001 году Проектным бюро ПАТ «Мостобуд» (М. М. Корнеев) был запроектирован автодорожный вантовый мост через р. Шайтанку в г. Салехарде с рестораном на пилоне. Это вантовая конструкция с главным пролетом 100 м и боковым пролетом 50 м (рис. 30).

Балка жесткости имеет открытое поперечное сечение со строительной высотой 2.07 м. Ортотропная плита проезда оперта на две главные балки постоянной высоты 2200 мм, расстояние между которыми составляет 13,5 м.

Балка подвижно оперта на опорах главного пролета и защемлена в устое-противовесе. Усилия в балке регулируются за счет изменений усилий в вантах и за счет поворота торца перед фиксацией в устье.



Рис. 30. Мост в г. Селехарде

Отличительной особенностью этого моста является пилон, наклоненный в сторону главного пролета, а не, как обычно, в противоположную сторону. По наклонному пилону этого моста движутся лифты, доставляющие посетителей в ресторан, внутри пилона расположены пожарные эвакуационные лестницы.

Распор от вант, неуравновешенный при наклонном пилоне, передан на устой подземной распоркой из двух труб диаметром 1420×20 мм, наполненных бетоном, которая расположена под землей между фундаментами пилона и устоя. Монтировался пилон вертикально, а затем осуществлялся его поворот вокруг расположенного внизу шарнира. Мост построен в 2003 году. В это же время был построен расположенный в той же нефтеносной провинции мост через протоку Веллапарад возле Уренгоя.

В 2012 году ООО «Киевстройпроект», который был создан на базе Проектного бюро ПАТ «Мостобуд», запроектировал криволинейные автодорожные балочные эстакады мостов через Большую и Малую Невки (рис. 31) в составе Западного скоростного диаметра в г. Санкт-Петербурге (М. М. Корнеев, С. Л. Дитковский). Следует отметить, что были реализованы 130-метровые пролеты, что близко к теоретически предельным для балочного сталежелезобетонного моста. Мосты построены в 2017 году.

По проекту этой же организации строится автодорожный мост через р. Тура в г. Тюмени.



Рис. 31. Мост в г. Санкт-Петербурге

Трубопроводные переходы

Своеобразными мостами, отличающимися от обычных лишь тем, что по ним транспортируется жидкость или газ, являются воздушные переходы продуктопроводов. Довольно много таких конструкций было запроектировано Укрпроектстальконструкцией (В. И. Киреенко, А. С. Гольдштейн). Ниже описаны лишь некоторые из них.

В 1958 году на нефтепроводе «Долина-Дрогобыч» был запроектирован и построен переход через р. Стрый у г. Стрый. Это конструкция типа висячего моста с четырьмя пролетами по 120 м и пилонами высотой 12,8 м, у которой балкой жесткости служит труба нефтепровода (рис. 32).

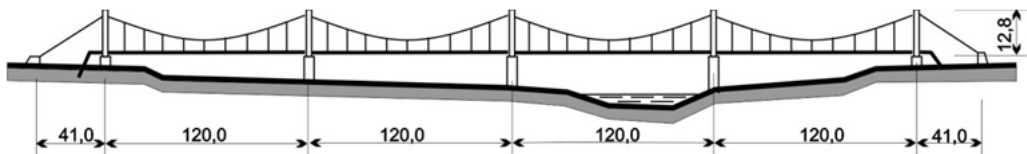


Рис. 32. Трубопроводный переход через р. Стрый

В 1961 году на магистральном нефтепроводе «Дружба» было построено два воздушных перехода. Один из них арочный с пролетом 48 м расположен на переходе через р. Латорица (рис. 33), другой тоже арочный, но с пролетом 80 м, расположен на переходе через р. Опир.



Рис. 33. Арочный переход на нефтепроводе «Дружба»

В шестидесятые годы было построено несколько переходов нефтепровода диаметром 529 мм, запроектированных по простейшей вантовой схеме (рис. 34). Величины пролетов были равны 50 м и 75 м, диаметр несущего каната – 36 мм.

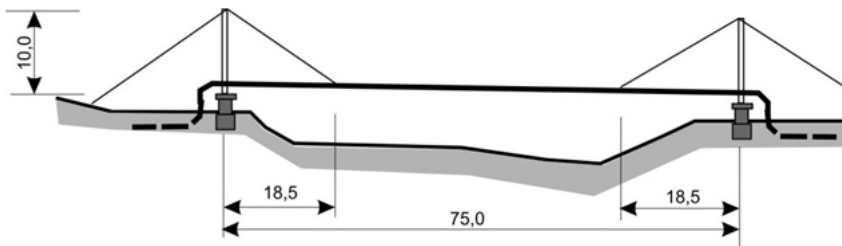


Рис. 34. Переход с простым вантовым подкреплением



Рис. 35. Висячая система перехода через р. Опир

В 1982 году был построен еще один висячий переход через р. Опир, в этот раз на нефтепроводе «Мозырь-Ужгород». Он представляет собой однопролетную висячую систему пролетом 80 м с двумя несущими канатами диаметром 63 мм,

очерченними по параболічеській кривій со стрелкою провисання 10 м (рис. 35). Нефтепровод двухниточный, диаметр труб 529 мм.

В 1972 году был разработан экспериментальный проект газопроводного перехода пролетом 800 м через р. Сырдарья в виде провисающей нити со стрелой провисания 57,4 м (рис. 36, а). Разница в уровнях земли и пилонов на правом и левом берегу реки 100 м. Газопроводная труба диаметром 426 мм усилена поддерживающими тросами. Переход не имеет каких-либо устройств для горизонтального раскрепления и под действием ветра может свободно отклоняться от вертикали.

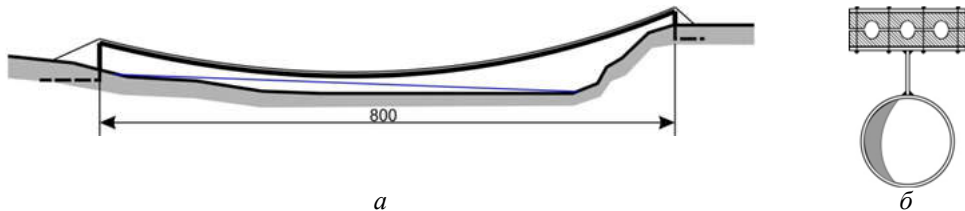


Рис. 36. Переход через р. Сырдарья: а – схема, б – поперечный разрез

Пролетная конструкция состоит из двух совместно работающих на растяжение элементов трубы и поддерживающих канатов, провисающих по одинаковой кривой за счет системы связывающих их шпангоутов (рис. 36, б). Такая конструкция использует несущую способность трубы и одновременно позволяет производить замену ее звеньев в процессе эксплуатации.

В комплексе обустройства Оренбургского газоконденсатного месторождения по проектам Укрпроектстальконструкции, выполненным в 1975 и 1976 годах (Э. С. Дудник) было построено два перехода через реку Урал (рис. 37 и 38). Первый из них (сооружение УКПГ-12) несет две трубы диаметром 720 мм и представляет собой однопролетную висячую систему с двумя кабелями по два каната диаметром 63,5 мм в каждом. Балка жесткости состоит из двух прокатных двутавров высотой 600 мм, подвешенных к несущим кабелям через 14,0 м.

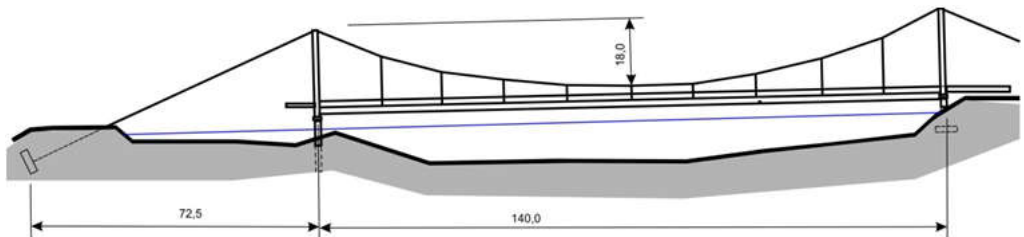


Рис. 37. Переход через р. Урал УКПГ-12

Второй переход (сооружение УКПГ-15) предназначен для пяти пар труб: очищенного газа – $2\varnothing 325\times 10$, конденсата – $2\varnothing 377\times 15$, неочищенного газа – $2\varnothing 720\times 11$ и метана – $2\varnothing 108\times 5$ и $2\varnothing 57\times 5$. Все они располагаются в горизонтальном ряду на поперечинах балки жесткости.

Висячая система моста двухпролетная с пролетами по 132 м, с двумя несущими кабелями, состоящими из четырех канатов диаметром 68 мм. Для восприятия дополнительных распоров, которые могут возникнуть при несимметричной нагрузке, предусмотрены верхние затяжки из канатов диаметром 42, 5 мм.

Балка жесткости состоит из двух прокатных двутавров высотой 600 мм и поперечных сварных балок той же высоты, идущих с шагом 12,0 м, на которые и укладываются трубы. Подвески балки жесткости к несущим кабелям также идут с шагом 12,0 м.

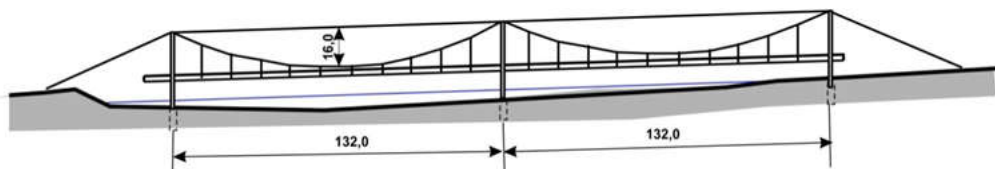


Рис. 38. Переход через р. Урал УКПГ-15

В 1982 году разработан проект висячего перехода авиакеросинопровода через р. Ангару в г. Ангарске (рис. 39). Конструкция представляет собой провисающую нить с поддерживающими канатами пролетом 450 м. В этом проекте была оригинальным способом решена характерная для конструкций в форме провисающей нити проблема малой горизонтальной жесткости.

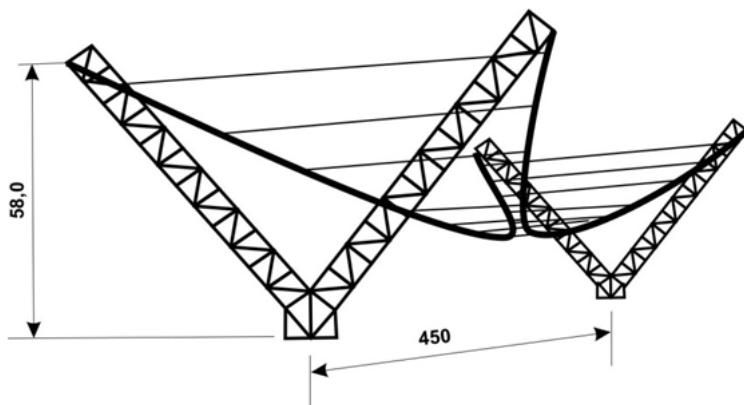


Рис. 39. Конструктивная схема перехода продуктопровода через р. Ангара

Использовано решение, обеспечивающее необходимую несущую способность и жесткость пролетной конструкции как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Две нитки продуктопровода, подвешенные к вершинам V-образных

пилонов, провисают по пространственной кривой, что достигается путем уменьшения длин растяжек, соединяющих трубы, от опор к середине пролета.

Исследовательские работы

К числу достижений Украинской школы мостостроения относятся и исследовательские работы, сопровождавшие (иногда и опережавшие) проектирование упомянутых мостовых сооружений. Они были посвящены вопросам конструирования и расчета мостовых сооружений, зачастую в этих работах предлагались методы расчета далеко выходявшие за рамки собственно мостовых конструкций. Типичным примером здесь может служить монография А. А. Уманского [62], где были описаны методы расчета неразрезных балок на упруго проседающих опорах.

Важную роль сыграли классические исследования Е. О. Патона [38–58]. Они посвящены анализу весовых показателей мостовых конструкций [42], выбору оптимальной системы решетки мостовой фермы [47, 43]. Чрезвычайно важными были фундаментальное обобщение и критический анализ опыта проектирования и строительства стальных мостов, которое содержится в учебниках, написанных им самостоятельно и в соавторстве с Б. Н. Горбуновым [43, 44, 53–55]. Наконец, невозможно переоценить научный вклад Евгения Оскаровича в становление сварных мостовых конструкций, о котором сказано выше.

Интересные исследования были выполнены в связи с разработкой методов расчета предварительно напряженных вантовых конструкций [26, 61, 59], большой комплекс исследований был выполнен в Институте электросварки по отработке конструктивных решений ортотропных плит.

Начиная с работы руководимой Е. О. Патонем Киевской мостоиспытательной станции, в Украине развивались исследования динамической работы мостов. Были проведены многочисленные натурные испытания мостов и обоснованы применяющиеся в нормах проектирования коэффициенты динамичности. Дальнейшее развитие проблема динамики мостов получила в Днепропетровском институте железнодорожного транспорта, где работала созданная в 1958 году по инициативе Н. Г. Бондаря уникальная, единственная в СССР научно-исследовательская лаборатория динамики мостов.

Здесь развивались методы динамического расчета мостов [7], были проведены исследования взаимодействия моста с подвижной нагрузкой [8, 18], выполнен комплекс работ по аэродинамике мостов [15], изучены вопросы гашения колебаний и борьбы с вибрациями [6, 14]. На протяжении многих лет Днепропетровская школа доминировала в проблеме постановки натуральных испытаний, в создании соответствующих методологических подходов и разработке инструментария [16, 68, 69].

Ряд работ был посвящен описанию, анализу и обобщению накопленного

практического опыта проектирования мостовых конструкций. Детальные описания использованных приемов конструирования, возникающих трудностей и способов их преодоления, связанные с разработкой конкретных объектов [21, 24, 28–34, 63–65], являются бесценными вкладами в общую копилку инженерного опыта. И особенно важно, когда такой опыт обобщается [20, 23, 27] и предстает в форме практических рекомендаций.

Примером здесь может служить многотомный курс по проектированию стальных мостов, написанный Е. О. Патонем, который он совместно со своим учеником Б. Н. Горбуновым непрерывно совершенствовал. Этот курс вышел несколькими изданиями и стал подлинной энциклопедией мостостроения.

Краткие выводы

Украинская школа проектирования и исследования стальных мостов внесла заметный вклад в теорию и практику мостостроения. Многие ее достижения обогатили не только отечественный, но и мировой опыт. Мы можем гордиться такими выдающимися представителями этой школы, как А. Е. Струве, Е. О. Патон, Б. Н. Горбунов, В. И. Киреенко, Г. Б. Фукс.

Литература

- [1] Korniev M. M. The South Bridge, Kyiv, Ukraine / M. M. Korniev, G. B. Fuks // *Structural Engineering International*. – 1994. – Vol 4. – P. 223–225.
- [2] Korniev M. Podilskyi Arche bridge in Kiev / Michael Korniev, Vladimir Bolikov, Friedhelm Eric Rentmeister // *Proceeding of 9th International Conference on Arch Bridges* : Porto, Portugal. – 2019. – P. 595–603.
- [3] Баренбойм И. Ю. Индустриальное строительство мостов / [Баренбойм И. Ю., Карасик М. Е., Кириенко В. И., Лившиц Я. Д.] – К. : Будівельник, 1978. – 208 с.
- [4] Баренбойм И. Ю. Вантовый мост через Днепр в Киеве / И. Ю. Баренбойм, Г. Б. Фукс, М. Е. Карасик // *Транспортное строительство*. – 1972. – № 8–10
- [5] Бондарь Н. Г. Гашение колебаний пролетных строений мостов / Н. Г. Бондарь, А. Л. Загора, М. И. Казакевич // *Надежность и долговечность машин и сооружений*. – Вып. 6. – К. : 1984. – С. 103–109.
- [6] Бондарь Н. Г. Как работают мосты / Н. Г. Бондарь. – К. : Наукова Думка, 1986. – 120 с.
- [7] Бондарь Н. Г. Динамика железнодорожных мостов / [Бондарь Н. Г., Казей И. Н., Лесохин Б. Ф., Козьмин Ю. Г.] – М. : Транспорт, 1965. – 411 с.
- [8] Бондарь Н. Г. Взаимодействие железнодорожных мостов с подвижным составом [Бондарь Н. Г., Козьмин Ю. Г., Ройтбург З. Г. и др.] – М. : Транспорт, 1984. – 272 с.
- [9] Гольдштейн А. С. Висячие и арочные переходы нефтепроводов / А. С. Гольдштейн, В. И. Киреенко. – М. : Недра, 1964. – 115 с.

- [10] Горбунов Б. М. Добавкові напруги поземого згину в поясах мостових зв'язнів від цупкості вузлів під впливом сторчового обтяження / Б. М. Горбунов. – К. : [б.в.], 1932. – 24 с.
- [11] Горбунов Б. Н. Сплошные сварные балки и мосты / Б. Н. Горбунов – М.-Л. : Стройиздат, 1941. – 140 с.
- [12] Дарчук О. І. Оцінка надійності металевих конструкцій мостів на основі імовірнісної механіки втомного руйнування / О. І. Дарчук, Й. Й. Лучко // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – Львів : Каменярь, 2002. – Вип. 5. – С. 463–470.
- [13] Дудник Э. С. Опыт реконструкции больших мостов с целью предупреждения аварий и повышения их долговечности / Э. С. Дудник // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2000. – № 59. – С. 43–48.
- [14] Загора А. Л. Гашение колебаний мостовых конструкций / А. Л. Загора, М. И. Казакевич. – М. : Транспорт, 1983. – 134 с.
- [15] Казакевич М.И. Аэродинамика мостов — М.: Транспорт, 1987— 240 с.
- [16] Казакевич М. И. Методика натурных испытаний и длительных наблюдений мостов и переходов / [Казакевич М. И. и др.] // Вопросы динамики мостов и теории колебаний. – Днепропетровск : 1980. – Вып. 207/24 – С. 58–65.
- [17] Казакевич М. И. Стабилизация вант при действии ветра и подвижных нагрузок / М. И. Казакевич, А. Л. Загора // Вестник машиностроения. – 1998. – № 2. – С. 21–25.
- [18] Казакевич М. И. К нормированию уровня допустимых вибраций в системе «пешеход-мост» / М. И. Казакевич, М. М. Кварцов, А. Л. Загора // Вопросы динамики мостов и теории колебаний. – Днепропетровск : ДГИЖТ, 1984. – С. 50–65.
- [19] Киреенко В. И. Конструктивные решения и расчет висячих и арочных переходов / В. И. Киреенко // Строительство трубопроводов. – 1962. – № 8. – С. 12–15.
- [20] Киреенко В. И. Вантовые мосты / В. И. Киреенко. – К. : Будівельник, 1967. – 144 с.
- [21] Киреенко В. И. Вантовый металлический мост в г. Коростень / В. И. Киреенко // Транспортное строительство. – 1973. – № 6.
- [22] Киреенко В. И. Вантовый мост через Днепр / В. И. Киреенко // Транспортное строительство. – 1983. – № 1. – С. 8–11.
- [23] Киреенко В. И. Вопросы проектирования вантовых мостов / В. И. Киреенко // Исследования и разработки по висячим и вантовым металлическим конструкциям : труды ЦНИИПроектстальконструкция – М. : ЦНИИ ПСК, 1980. – С. 53–61.
- [24] Киреенко В. И. Криволинейная автодорожная эстакада ДнепрГЭСа / В. И. Киреенко // Транспортное строительство. – 1980. – № 10. – С. 8–11.

- [25] Киреенко В. И. Висячие трубопроводные переходы / [Киреенко В. И., Шимановский В. Н., Коршунов Д. А., Смирнов Ю. В.] – К. : Будівельник, 1968. – 158 с.
- [26] Корнеев М. М. Регулирование усилий, оценка надежности и конструктивные расчеты вантовых мостов : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.23.15 / М. М. Корнеев. – М. : 1987. – 23 с.
- [27] Корнеев М. М. Стальные мосты : теоретическое и практическое пособие по проектированию / М. М. Корнеев. – К. : ВАТ Мостобуд, 2003. – 547 с.
- [28] Корнеев М. М. Вантовый мост в Салехарде / М. М. Корнеев // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення : труды семинара. – К. : Техніка, 2002.
- [29] Корнеев М. М. Стальные мосты : теоретическое и практическое пособие по проектированию : в 2 т. / М. М. Корнеев – К. : Академпрес, 2010. – [532 + 490] с.
- [30] Корнеев М. М. Стальные мосты: Теоретическое и практическое пособие по проектированию : в 3 т. / М. М. Корнеев. – К. : Ультрадрук, 2018. – [390+445+541] с.
- [31] Корнеев М. М. Устойчивость мостов : пособие по проектированию / М. М. Корнеев. – К. , ТОВ НТП Інтерсервіс, 2016. – 209 с.
- [32] Корнеев М. М. Сталежелезобетонные мосты : пособие по проектированию / М. М. Корнеев. – Санкт-Петербург : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – 400 с.
- [33] Корнеев М. М. Вантовый мост на въезде в Одесский морской порт / М. М. Корнеев, Ф. Э. Рентмайстер // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення : труды семинара. – К. : Техніка, 2000.
- [34] Корнієв М. М. Ортоотропна плита підйомного прогону моста через Гавань у Києві / М. М. Корнієв // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення : праці семінару. – К. : Техніка, 2000. – С. 129–136.
- [35] Лата В. Проект моста через р. Днепр, у «Волчьего горла», на 169 вер. Второй Екатерининской жел. дор. – Санкт-Петербург : типо-лит. С. Н. Цепова, 1902–1903. – 36 с.
- [36] Лучко Й. Й. Мости: конструкції та надійність / [Лучко Й. Й., Коваль П. М., Корнієв М. М., Лантух-Лященко А. И., Хархалис М. Р.] – Львів : Каменяр, 2005. – 989 с.
- [37] Лучко Й. Й. Мости: конструкції та надійність : Довід. / [ред.: В. В. Панасюк, Й. Й. Лучко; Фізико-механ. ін-т ім. Г.В.Карпенка НАН України]. – Л. : Каменяр, 2005. – 989 с.
- [38] Патон Е. О. Еще о новом мосте через р. Днепр в Киеве / Е. О. Патон // Строительная промышленность. – 1925. – № 11.
- [39] Патон Е, О. Еще одна система железных разборных ферм / Е. О. Патон // Техника и экономика путей сообщений. – 1920. – № 11–14.

- [40] Патон Е. О. Восстановление мостов. Ч.3. Таблицы и расценки / Е. О. Патон. – К. : Изд. Центр. упр. жел. дор. транспорта, 1924. – 154 с.
- [41] Патон Е. О. Руководство по восстановлению разрушенных железнодорожных мостов / Е. О. Патон. – К. : Техн. упр-е НКПС, 1921. – 420 с.
- [42] Патон Е. О. Вес железных мостов для железной, обыкновенной и пешеходной дорог с фермами балочно-разрезной, консольной и арочной системы / Е. О. Патон – [2-е изд., пересост. и значит, доп.] – К. : тип. С. В. Кульженко, 1905. – 59 с.
- [43] Патон Е. О. Железные мосты : в 4 т. / Е. О. Патон. – [2-е изд. в полной перераб. со многими доп.] – К. : тип. т-ва И. Н. Кушнерев и К⁰, 1909–1913.
- [44] Патон Е. О. Железные мосты. Составление эскизов / Е. О. Патон. – К. : Киевское книжное изд-во, 1925. – 258 с.
- [45] Патон Е. О. Железные мосты / Е. О. Патон. – Киев, изд-во КПИ, 1913. – т. II. – 188 с.
- [46] Патон Е. О. Дополнительные напряжения мостовых ферм от жесткости узлов и их практическое значение / [Патон Е. О. и др.] – М. : Транспечать, 1930. – 318 с.
- [47] Патон Е. О. К вопросу о двухраскосных фермах / Е. О. Патон. – К. : 1905. – Ч.1+. – К. : 1906. – 36 с.
- [48] Патон Е. О. К вопросу о разборных железнодорожных мостах / Е. О. Патон. – К. : изд-во КПИ, 1916.
- [49] Патон Е. О. К вопросу о разборных железных мостах / Е. О. Патон. – К. : И. И. Самоненко, 1916. – 68 с.
- [50] Патон Е. О. Таблицы для расчета железных конструкций и мостов / Е. О. Патон. – [4-е изд., доп. новыми табл.] – К. : тип. т-ва И. Н. Кушнерев и К⁰, 1915. – 46 с.
- [51] Патон Е. О. О сварных мостах / Е. О. Патон, В. В. Шеверницкий // Вести машиностроения. – 1948. – № 8. – С.49–53.
- [52] Патон Е. О. Разгрузка поясов мостовых ферм продольными балками / Е. О. Патон, Б. Н. Горбунов // Институт инженерных исследований НКПС : 10-й сборник. – М. : Транспечать, 1926.
- [53] Патон Е. О. Стальные мосты. Том 1. Фермы балочной системы. Материал и заклёпки / Е. О. Патон, Б. Н. Горбунов. – Харьков-Киев : Гос. науч.-техн. изд-во Украины, 1935. – 814 с.
- [54] Патон Е. О. Стальные мосты. Том 2. Опорные части балочных ферм и шарниры консольных ферм / Е. О. Патон, Б. Н. Горбунов. – К. : Государственное научно-техническое издательство Украины, 1936. – 171 с.
- [55] Патон Е. О. Стальные мосты. Т. 1 : Фермы балочной системы. Материал и заклёпки / Е. О. Патон, Б. Н. Горбунов. – К. : Издательство Кассы взаимопомощи студентов Киевского политехнического ин-та, 1930 . – [4 изд., перераб.] – 780 с.

- [56] Патон Е. О. Опытный мост киевского бюро ЦИС НКПС и результаты его испытаний / [Патон Е. О., Клех Е. А., Бобылев М. М., Козловский Н. И.] – К. : Издание ЦИС, 1931. – 207 с.
- [57] Патон Е. О. К вопросу о сварных железнодорожных мостах / Е. О. Патон, В. В. Шеверницкий // Сборник трудов по автоматической сварке под флюсом. – К. : Изд-во АН УССР, 1948. – № 1. – С. 7–14.
- [58] Патон Е. О. Сталь для сварных мостов / Е. О. Патон, В. В. Шеверницкий // Автогенное дело. – 1949. – № 6. – С. 3–7.
- [59] Перельмутер А. В. Определение усилий предварительного напряжения и проверка несущей способности конструкций во время монтажа / А. В. Перельмутер // Строительная механика и расчет сооружений. – 1971. – № 5. – С. 54–57.
- [60] Петропавловский А. А. Проектирование металлических мостов / А. А. Петропавловский, Н. Н. Богданов, Н. Г. Бондарь. – М.: Транспорт, 1982. – 319 с.
- [61] Трофимович В. В. Проектирование предварительно напряженных вантовых систем / В. В. Трофимович, В. А. Пермяков. – К. : Будівельник, 1970. – 140 с.
- [62] Уманский А. А. Наплавные мосты. Расчет основной цепи / А. А. Уманский. – К.-Х. : Техническое изд-во, 1931. – 160 с.
- [63] Фукс Г. Б. Южный мостовой переход в Киеве / Г. Б. Фукс // Строительство и архитектура. – 1985. – № 9. – С. 6–7.
- [64] Фукс Г. Б. Уникальный мостовой переход через Днепр / Г. Б. Фукс, В. Н. Грищенко // Транспортное строительство. – 2005. – № 8. – С. 10–12.
- [65] Фукс Г. Б. Вантовые мосты по украинским проектам / Г. Б. Фукс, М. М. Корнеев // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення : труды семинара. – К. : Техніка, 1998. – 9 с.
- [66] Шимановский В. Н. Висячие системы / В. Н. Шимановский. – К. : Будівельник, 1984. – 208 с.
- [67] Шимановский В. Н. Расчет висячих конструкций (нитей конечной жесткости) / В. Н. Шимановский, Ю. В. Смирнов, Р. Б. Харченко. – К. : Будівельник, 1973. – 198 с.
- [68] Шульман З. А. Автоматизированная система инструментального мониторинга большепролетного висячего моста / З. А. Шульман // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2016. – № 1. – С. 36–42.
- [69] Шульман З. А. Действительная работа вантового автодорожного моста при воздействии реальных динамических нагрузок / З. А. Шульман // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2016. – № 1. – С. 15–20.

Українська школа проектування сталевих мостів

¹Перельмутер А. В., д-р техн. наук, ²Корнієв М. М., канд. техн. наук

¹HBO SCAD Soft, Україна
²ТОВ «Київбудпроект», Україна

Анотація. Розглянуто історію розвитку Української школи проектування сталевих мостів, яка почала своє існування ще в середині 19-го століття і вже тоді відзначилася низкою чудових результатів, зокрема, конструкцією багатогратчастих залізничних мостів системи А. Е. Струве. Серйозну теоретичну основу цієї школи було закладено Є. О. Патonom. Його фундаментальний аналіз конструктивної форми мостів, класифікація та зіставлення, виявлення придатності та недоліків тих чи інших схемних і конструктивних рішень прогонових будов багато в чому визначили шляхи розвитку і стиль роботи його учнів. Описано створені ними нові споруди та методи відновлення зруйнованих мостів. Вказано на ініційований саме Української школою принципово важливий перехід до зварних конструкцій мостів і на реальні досягнення, які було здійснено за цих умов, – такі, наприклад, як міст Патона, свого часу найбільший в світі зварний міст. До безумовних досягнень належить серія видатних вантових мостів, запроєктованих і побудованих Г. Б. Фуксом. Важливі досягнення має Українська школа в проектуванні висячних трубопровідних переходів, у використанні високоміцних сталей. Низку піонерних теоретичних робіт було присвячено розрахунку наплавних мостів, попередньо напружених мостових конструкцій, динаміці мостів, іншим дослідженням в науці про мости.

Ключові слова: проектування, сталеві конструкції, мости, конструктивна форма, методи відновлення

Ukrainian Academic School for Steel Bridge Design

¹A. Perelmuter, Dr. Sc. (Eng.), ²M. Korniev, Cand. Sc. (Eng.)

¹RPA SCAD Soft, Ukraine
²LLC «Kievstroyproekt», Ukraine

Abstract. The history of development of the Ukrainian academic school for steel bridge design, which began its existence in the middle of the 19th Century and already then distinguished itself with a number of remarkable results, in particular, the design of multi-lattice railway bridges of the A. E. Struve system, is considered. A serious theoretical foundation for this school was laid by E. O. Paton. His fundamental analysis of the structural form of bridges, classification and comparison, identification of advantages and disadvantages for certain lay-out and structural solutions of bridge span structures largely predetermined the development paths and work style of his students. The article describes the new structures they created and methods for restoration of destroyed bridges. It points to the fundamentally important transition to welded bridge structures initiated by the Ukrainian academic school and to real achievements that followed, such as, for example, the Paton Bridge, the world's largest welded bridge at that time. Among the undoubted achievements is a series of outstanding cable-stayed bridges designed and built by G. B. Fuchs. The Ukrainian academic school has important achievements in the design of hanging pipeline crossings, in the use of high-strength steels. A number of pioneer theoretical works were devoted to the calculation of floating bridges, pre-stressed bridge structures, bridge dynamics, and other research in bridge science.

Key words: bridges, design, restoration methods, steel structures, structural form.

Надійшла до редколегії 09.11.2020 р.