

# Инновационные решения в мостостроении

А.С. ПЛАТОНОВ, докт. техн. наук, академик РАТ, директор НИЦ «Мосты» — филиала ОАО ЦНИИС

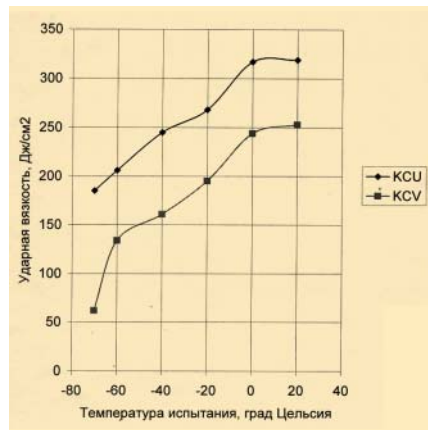
**Одним из важнейших условий обеспечения безопасности в современном мостостроении является закрепление в новых нормативных документах научно обоснованных требований к потребительским свойствам, которые целесообразно объединить в две группы: функциональные, технологические и социально-экологические (см. таблицу 1). Далее приведен анализ инновационных конструктивно-технологических решений с позиций безопасности мостостроения.**

Поскольку в соответствии с ГОСТ 277751-88\* «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету» мосты относятся к объектам I уровня ответственности (по возможным экономическим, социальным и экологическим потерям в случае отказа), при расчетах мостов по методике предельных состояний подлежат учету повышенные по сравнению с другими сооружениями коэффициенты надежности  $\gamma_f$  по ответственности.

С учетом  $\gamma_f$  нормируются также вероятности превышения максимальных расходов и уровней воды, что существенно повысит безопасность мостов в случае редких по величине паводков.

Один из актуальнейших вопросов — применение эффективных материалов. По разработкам НИЦ «Мосты» — филиала ОАО ЦНИИС, в стальных мостовых сооружениях используется эффективный по механическим и технологическим свойствам прокат низколегированный (базовых марок 10ХСНД и 15ХСНД по ГОСТу 6713), экономно-легированный с микролегированием ванадием или ниобием (базовых марок 15ХСНДА и 10ХСНДА по ТУ 14-1-5120-92) и др.

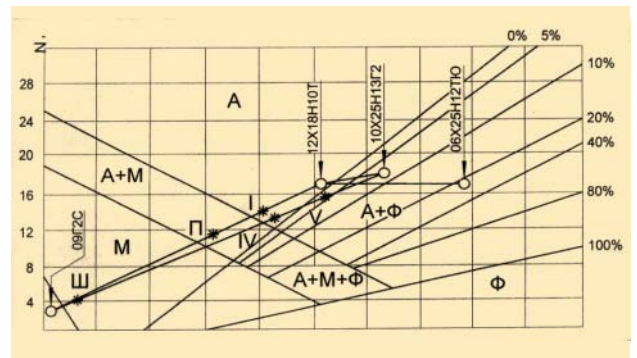
Многолетние исследования и большой практический опыт показали, что главным условием повышения потре-



**Рис. 1. Результаты испытания на ударную вязкость проката серийного производства по ТУ-14-1-5120-92**

бительских свойств и безопасности стального проката, применяемого в мостостроении, является резкое ограничение содержания в нем вредных примесей: серы, фосфора и водорода.

Реализация этого направления дает по-



**Рис. 2. Диаграмма структурного состояния зон смещения металлов в сварочных соединениях двухслойной стали марки 09Г2С+12Х18Н10Т (присадочные материалы 06Х25Н12ТЮ и 10Х25Н13Г2)**

I, II, III — зоны, соответствующие долям 20, 40 т 90% металла 09Г2С в металле 12Х18Н10Т; IV, V — зоны, соответствующие долям 20, 40 т 90% металла 09Г2С в металле 12Х18Н10Т; А, Ф, М — структурные состояния, соответственно аустенитное, ферритное и мартенситное. По оси абсцисс дан эквивалент хрома, по оси ординат — эквивалент никеля

разительные результаты в отношении повышения упругой вязкости KCU и KCV для проката при отрицательных температурах (рис. 1).

Новые виды проката отвечают современным требованиям по механическим свойствам, хладостойкости и по всем показателям, связанным с понятием «свариваемость».

Особую актуальность для стальных мостовых сооружений с позиций безопасности приобретает проблема огнестойкости. Известно много примеров катастрофических последствий от пренебрежительного отношения к этой проблеме.

Основопологающее условие повышения огнестойкости металла достигается на основе стабилизации предела текучести по формуле  $\sigma_T^{600^\circ\text{C}} \geq 0,5\sigma_T 40^\circ\text{C}$ .

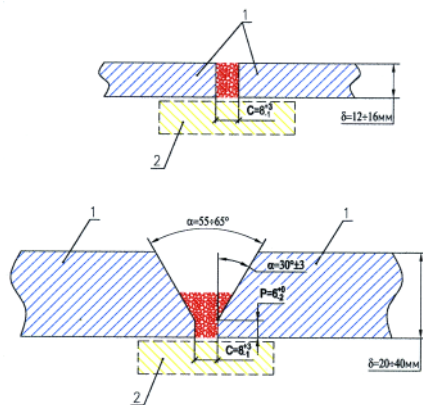
Важным инновационным достижением является и разработка коррозионностойкого проката и внедрение его в железнодорожных пролетных строениях.

**Таблица 1. Потребительские свойства мостов**

Функциональные	Технологические и социально-экономические
Пропускная способность (транспорта, пешеходов, водного потока, коммуникации)	Стабильность движения транспорта и пешеходов
Грузоподъемность	Технологичность при строительстве и реконструкции
Безопасность движения	Технологичность в эксплуатации
Долговечность	Экологичность
Безотказность в чрезвычайных ситуациях	Архитектурная совместимость с технической целесообразностью

Примечание. Уровень ответственности I

Задача научного обеспечения изготовления мостовых конструкций из двухслойной коррозионностойкой стали оказалась довольно сложной, поскольку все технологические операции с ней, начиная от хранения и всех видов механической обработки, резки и сварки, и кончая контролем качества готовой продукции, отличались специфическими особенностями по сравнению с подобными операциями при



**Рис. 3. Схема сборки стыковых соединений под одностороннюю автоматическую сварку с применением МХП**  
1 — элементы свариваемых конструкций;  
2 — формирующаяся подкладка

традиционно применяемой в мостостроении однослойной низколегированной стали.

Особую сложность составили задачи обеспечения ее свариваемости, поскольку процесс сварки связан в данном случае с перемешиванием низколегированной стали основного слоя с высоколегированной сталью плакирующего слоя, а также сварочных присадочных материалов. От доли участия каждого из этих материалов в сварном соединении, регулируемой технологией сварки, зависят механические и антикоррозионные свойства сплава «смешения».

Структурное состояние сплава сварного шва и последовательность сварки спрогнозирована по диаграмме Шеффлера (рис. 2) в зависимости от суммарного содержания аустенитно-образующих элементов (по эквивалентному действию никеля  $Ni_3$ ) и феррито-образующих элементов (по эквивалентному действию хрома  $Cr_3$ ).

Для всех видов указанного проката разработаны технологии заводского изготовления и монтажа стальных конструкций обычного, северного А и Б исполнений.

Соответствующие нормативные требования закреплены в многочисленных технологических регламентах для конкретных объектов, а также в стандартах Корпорации «Трансстрой» СТП-004-93, СТП 005-97, СТП-006-97, СТП-012-2000\* и др.

Технический уровень данных разработок опережает зарубежные аналоги.

Значительным научно-техническим достижением следует признать разработку и широкое внедрение высокопроизводительных технологий заводской и монтажной автоматической сварки стальных

**Таблица 2. Спецификация применяемых в мировой практике вантовых систем**

Тип вант	Тип стальных несущих элементов
Кабель из параллельных семипроволочных стрендов К7 (PSC)	Комплексно или индивидуально защищенные семипроволочные преднапрягаемые пряди К7 ( $\varnothing=15,2$ или $\varnothing=15,7$ мм)
Кабель из параллельных круглых проволок (PWC)	Индивидуально металлизированная круглая проволока с утолщением для анкеровки
Многослойный витой канат из круглой и Z-образной проволоки (MLS)	Металлизированная круглая и Z-образная проволока ( $\varnothing=2-8$ мм)

конструкций мостов, особенно с металло-химическими присадками (МХП), рис. 3.

В последние годы проведена большая работа по совершенствованию соединений фрикционного типа на высокопрочных болтах, особенно в части применения высокопрочных болтов с термодиффузионным цинкованием и фрикционных покрытий контактных поверхностей, наносимых в заводских условиях и обеспечивающих стабильный коэффициент трения не ниже 0,46.

Впервые разработаны и применены в мостостроении принципиально новые типы соединений на высокопрочных болтах с коническим стержнем. Такие соединения обладают в 1,5–2 раза более высокой несущей способностью, чем соединения фрикционного типа, при равном числе и равных диаметрах болтов в соединении.

Особый интерес вызвало у специалистов применение таких болтов вместо заклепок при реконструкции старых мостов без разборки соединений (рис. 4).

В области железобетонных мостов последнее десятилетие ознаменовалось разработкой и внедрением в мос-

тостроение конструкций из монолитного бетона.

Следует отметить такие оригинальные решения, как развязки на МКАД около поселка СХП им. Первого мая, у с. Мякинино, на пересечениях МКАД с Ленинградским, Дмитровским, Ярославским шоссе и многие другие (рис. 5).

В 1990-е годы получила распространение технология производства термомеханически упрочненных сталей в потоке проката с высокой температурой самоотпуска. Сначала из сталей класса A-V марок 27ГС и 28С получили стали класса At-V с высокими деформативными свойствами. Затем перешли на исходные стали класса A-T марок Ст2сп, Ст3ст и Ст3пс. В настоящее время они выпускаются по ТУ 14-1-5254-94 как сталь класса А-500.

В последние годы при проектировании и строительстве больших и внеклассных мостов получили распространение вантово-балочные пролетные строения, позволяющие существенно увеличить перекрываемые пролеты и повысить технико-экономическую эффективность строительства.

У международных фирм-производителей вантовых систем Freyssinet



**Рис. 4. Монтажный стык стальной конструкции на высокопрочных болтах с коническим стержнем**



Рис. 5. Панорама транспортной развязки Беговой улицы с Ленинградским проспектом в Москве

(Франция), VSL (Швейцария), DSI-Duwidag (Германия), Bridon (Великобритания), AmericanBridge (США), OVM (Китай), Nippon Steel (Япония) и др. сформировалась устойчивая тенденция применения трех типов вант (таблица 2) при сооружении таких мостов.

Принципиальное различие отечественного и зарубежного опыта состоит лишь в применении вантовых систем из параллельных семипроволочных прядей типа К7.

В России есть примеры применения вантовых систем на базе семипроволочных прядей типа К7 с индивидуальным антикоррозионным покрытием: городской мост в Санкт-Петербурге на КАД и проект автодорожного моста через Москва-реку в Серебряном бору, но пока только в конструкциях обычного исполнения для температур до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

В последние 30 лет получили расширенное применение в пролетных строениях и пилонах мостов стальные конструкции из ортотропных плитных элементов (рис. 6, 7).

Плитные ортотропные элементы легче железобетонных в 3–4 раза при прочих равных условиях. Это главное достоинство и предопределило области их рационального применения:

- пролетные строения балочно-неразрезных, вантово-балочных, висячих и других систем больших пролетов автодорожных и городских мостов, в которых собственный вес составляет основную долю расчетной нагрузки. Появилась возможность уменьшить расчетную вертикальную нагрузку мостов от собственного веса в 2–2,5 раза, с существенной экономией материалов на пролетные строения, опоры, пилоны и фундаменты, созданием благоприятных условий взаимодействия мостов с

геомассивами, а также исключением сезонности монтажных работ, возможностью конструирования главных балок постоянной высоты, удобной для их монтажа продольной надвигкой или внавес с большими консолями;

- балочные пролетные строения малых и средних пролетов автодорожных мостов, в том числе наплавных и разводных, сборно-разборных для временного и краткосрочного восстановления, где использование легких стальных конструкций оправдано функциональным назначением моста, технологическими и экономическими соображениями.

К числу оригинальных и важных инновационных решений следует отнести Московскую монорельсовую транспортную систему (ММТС).

Строительство ММТС осуществлено впервые в Российской Федерации. В системе использованы только отечественные научно-технические разработки и конструкционные материалы.

Проектирование строительных конструкций ММТС основано на современном опыте возведения мостовых сооружений — мостов через водные преграды, эстакад и транспортных развязок в Москве — с учетом зарубежных достижений в создании городских монорельсовых транспортных систем и накопленного за последние десятилетия опыта их эксплуатации в различных регионах мира (европейские страны, Япония, США, Австралия).

Наиболее важной для различных регионов России, особенно для мегаполисов, является геотехническая проблема. Она обусловлена исторически сложившимися геологическими условиями, карстом, оползнями, другими сложностями, в том числе экологическими и т.п.

Анализ показал, что процедура статистической обработки характеристик грунта, принятая в нормах и используемая в научных работах, страдает определенными недостатками.

Прорывные результаты удалось получить в НИЦ «Мосты» с помощью специального высокочувствительного прибора «ПИКА» (для статического зондирования) при комплексировании зондирования и бурения (технология комбинированного зондирования).

Новой концепцией геотехники признана необходимость строгого учета природного состояния грунта и условий образования и эволюции верхних слоев литосферы, что является краеугольным камнем новой механики грунта. В этой связи разработана методика оценки состояния грунта по критериям «переуплотненный», «нормально уплотненный» и «недоуплотненный», что дает новое представление об основаниях под опорами моста и геомассиве в целом как главном объекте механики грунта в мостостроении.



Рис. 6. Фрагмент главной балки ортотропной конструкции вантово-балочного пролетного строения моста через р. Обь в Сургуте



**Рис. 7. Пролетное строение с ортогольной плитой проезжей части моста через р. Каму у с. Сорочьи Горы**

Геотехника в мостостроении приобрела новые масштабы, поскольку учитывает такие сложные явления, как разломы, карст, оползни, активные гидрогеологические и другие природно-техногенные условия и процессы, а также их влияние на безаварийность эксплуатации.

По указанной причине в НИЦ «Мосты» разработана новая геотехническая модель «геомассив-основание-фундамент-сооружение», успешно реализуемая на практике.

Принципиальным отличием предлагаемой модели от традиционной «ос-

нование-фундамент-сооружение» является то, что она более широко охватывает объект исследований и в полной мере дает представление о характере процесса взаимодействия мостового сооружения с окружающей средой. При этом необходимы организация комплексных инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий геомассивов.

С учетом отмеченных инноваций разработан новый метод оценки устойчивости склонов и откосов на основе параметров  $qc, fc$  (традиционные параметры статического зондирования),  $P$  (порового давления) и  $f$  (температуры) в дополнение к традиционному бурению, включающий как составную часть мониторинг, который в той или иной мере был использован на стройках в городах Ташкенте, Усть-Каменогорске и Ульяновске.

Примером современного подхода к геотехнике явилось изучение инженерно-геологических условий и фондирования мостового перехода через Москва-реку у Серебряного бора, характеризующегося наличием отложений четвертичной, юрской и каменно-

угольной систем. На основе литологического состава и физико-механических свойств грунтов на участке строительства выделено 19 инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

Приведенный здесь краткий аналитический обзор свидетельствует, что для мостостроения разработан и внедрен в последние годы ряд эффективных инновационных конструктивно-технологических решений, охватывающий все элементы системы «пролетное строение, опоры, фундаменты, геомассивы и сопряжение с подходами».

Эта работа в условиях несовершенства рыночных отношений и отсутствия государственных целевых программ по развитию мостостроения связана со сложными организационными, экологическими и, как следствие, научно-техническими проблемами. И в дальнейшем необходимо постоянное участие научно-исследовательских организаций в сопровождении проектирования, строительства и эксплуатации мостов с внедрением эффективных инновационных решений.

## Технологии алмазной резки «НПП СК Мост»

**ООО «НПП СК МОСТ», начиная с выполненной впервые в России в 1995 году разборки мостового сооружения на МКАД с использованием алмазной буровой и резательной техники, специализируется на производстве работ, связанных с демонтажем и реконструкцией мостовых и других инженерных сооружений с применением технологий алмазной резки и бурения.**



**К**настоящему времени ООО «НПП СК МОСТ» выполнило работы по разборке и реконструкции более чем 60 сооружений.

Предприятие выполняет обследования мостовых сооружений, проектиро-

вание их ремонта и реконструкции, производит гидроизоляционные работы и устройство дренажных систем на мостовых сооружениях для вывода воды из толщи дорожной одежды, изготавливает дренажные брикеты «Козинаки» для устройства дренажных каналов. Имеется собственная производственная база.

Разработки предприятия защищены патентами, отмечены дипломами международных и региональных выставок.

**ООО «НПП СК МОСТ»**  
 Московская обл., г. Балашиха  
 Тел. (495) 521-6296  
 E-mail: [inmasakbarova@mail.ru](mailto:inmasakbarova@mail.ru)

