Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и тоннелей

УДК 624.21

© Г. А. Яппаров, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: germanyap@mail.ru, mt@spbgasu.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-1-118-122

© G. A. Yapparov, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: germanyap@mail.ru, mt@spbgasu.ru

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЫ И МАТЕРИАЛА СТАЛЬНЫХ ТРУБЧАТЫХ ГЛАВНЫХ БАЛОК НА СРОКИ СЛУЖБЫ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МАЛЫХ МОСТОВ

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL FORM AND MATERIAL OF STEEL TUBULAR CHIEF BEAMS ON THE SERVICE LIFE OF THE COMPOSITE SMALL BRIDGE SUPERSTRUCTURE

Дан анализ физико-механических свойств материалов стальных труб и проведено сравнение сталей различных марок в соответствии с требованиями нормативно-технической документации на мостовые сооружения. Оценено влияние конструктивной формы поперечного сечения элементов мостов на стойкость к атмосферной коррозии при эксплуатации. Приведены рекомендации по применению труб нефтегазовой промышленности в пролетных строениях малых мостов.

Ключевые слова: пролетное строение, трубчатые балки, коррозия, форма сечения, замкнутые контуры, стальные трубы.

The paper analyzes the physical and mechanical properties of steel pipe materials and compares the steel of different brands in accordance with the requirements of the normative and technical documentation for bridge structures. The influence of the structural form of the cross section of the bridge members on the resistance to atmospheric corrosion during operation is estimated. Recommendations on the use of oil and gas industry pipes in the small bridge superstructure are given.

Keywords: span structure, tubular beams, corrosion, section shape, close-cycles, steel pipes.

В настоящее время в мостостроении наиболее широкое применение в соответствии с техническими нормами находят стали 15ХСНД и 10ХСНД. В нефтегазовой промышленности России используют стальные трубы трех условных категорий: малого (до 114 мм), среднего (от 114 до 530 мм) и большого (свыше 508 мм) диаметров, чаще всего их изготавливают из сталей 13ХФА и 09Г2С. Трубы большого диаметра изготавливают сварными прямошовными и сварными спиралешовными.

Сталь 09Г2С конструкционная низколегированная для сварных конструкций является одной из самых востребованных и распространенных

при производстве труб и благодаря высокой механической прочности используется для различных строительных конструкций. Устойчивость свойств в широком температурном диапазоне позволяет с успехом применять детали из стали этой марки на севере нашей страны. Ее используют в нижних поясах балок с гофрированными стенками. Стоимость ее проката примерно на 30 % ниже 15ХСНД¹, а учитывая повышенные характеристики свариваемости и коррозионной стойкости, можно сделать вывод о ее конкурен-

¹ Применяемые стали в производстве металлоконструкций // Строительно-информационный портал fccland.ru. 2016. URL: <http://fccland.ru/proektirovanie-mostov/416-primenyaemye-stali-v-proizvodstve-metallokonstrukciy.html>

тоспособности в современном мостостроении, так как стоимость мостовых конструкций находится в прямой зависимости от стоимости проката. Согласно ГОСТ 19281–2014 «Прокат повышенной прочности, общие технические условия» сталь 09Г2С, наряду со сталью 15ХСНД, для сортового и фасонного проката, толстолистового, широкополосного универсального проката и гнутых профилей соответствует классу прочности 345. Более того, данная сталь, так же как и 10ХСНД, может соответствовать классу прочности 375². В соответствии с СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» допустимо использование рассматриваемой марки для сварных конструкций первой группы, а именно работающих в особо тяжелых условиях, в том числе максимально стесняющих развитие пластических деформаций или подвергающихся непосредственному воздействию динамических, вибрационных или подвижных нагрузок³.

Интерес к исследованиям и практическому применению стали 09Г2С весьма высок. В 2000–2001 гг. в НИИ мостов были проведены исследования с целью уточнения сопротивления усталости сварных соединений проката марки 09Г2С, режимов его сварки с учетом требований, предъявляемых к изготовлению и эксплуатации мостовых конструкций. В 2008 г. по проекту института «Гипростроймост» компанией ЗАО «Энергомаш» (Белгород) были изготовлены конструкции пешеходного моста через реку Морача в Республике Черногория с использованием труб 530×16, 530×25, 530×26, 1020×40 из стали марки 09Г2С-12. Процесс монтажа пролетного строения изображен на рис. 1.

Испытания сварных швов на сталях ВСтЗсп5, 09Г2С, 15ХСНД, проведенные в Новосибирском инженерно-строительном институте, показали, что в большей степени снижение способности сопротивляться механическому разрушению сварных швов при одновременном воздействии атмосферной коррозии и растягивающих усилий наблюдается у стали 15ХСНД [1].

Особенностями замкнутых форм сечения являются относительно большие радиусы инерции, большая жесткость на кручение по сравнению

Рис. 1. Пешеходный мост через реку Морача в Республике Черногория

с открытыми сечениями. Трубы имеют меньшую поверхность, подвергающуюся коррозии, кроме того, в них нет концентраторов коррозии в виде углов и прочих изменений сечения. Их легче покрывать защитным антикоррозионным слоем. Такой параметр, как слитность, в некоторой мере позволяет сравнить различные сечения по коррозионной стойкости. Трубчатые сечения с герметизацией внутренних полостей при толщине стенки от 6 мм и более по этому параметру наиболее предпочтительны [2].

Испытаниями, проведенными в МИСИ [3, 4], установлено, что распределение коррозии у элементов разных форм за счет различий условий их увлажнения, обтекания потоками воздуха, запыленности, а также в силу отличающейся степени экранирования и продолжительности нахождения на поверхности образующейся влажной пленки весьма неоднородно. Различие в интенсивности коррозии для стали марки СтЗ доходит до двух раз. Результаты сравнения стойкости различных типов сечений приведены на рис. 2, где K_0 — коэффициент приведения скорости коррозии (в качестве эталона принято трубчатое сечение).

Следует отметить, что в условиях эксплуатации с увеличением срока службы у слитных и обтекаемых сечений снижается неравномерность коррозии, а так как любой мост подвергается постоянному воздействию природных сил и климатических факторов, это преимущество позволяет увеличить срок службы пролетных строений с трубчатыми балками. Одним из ярких примеров может служить мост через р. Иганю на автомо-

² ГОСТ 19281–2014. Прокат повышенной прочности, общие технические условия. Введ. 01.01.2015.

³ СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23–81*. Введ. 20.05.2011.

Рис. 2. Относительные коэффициенты стойкости против коррозии

бильной дороге Набережные Челны — Сарманово 1977 г. постройки. Главные балки данного моста — трубы диаметром 1420 мм с толщиной стенки 17,5 мм и длиной 21 400 мм, выполненные из стали марки ВСтЗсп и усиленные уголками 180×180×12 мм в растянутой зоне. По результатам обследования, проведенного ООО «ЛИРМ» в 2000 г., было установлено, что несмотря на отсутствие антикоррозионной защиты трубчатых балок, их внутренние поверхности не повреждены коррозией [5]. Также было предпринято решение об уширении моста в связи с реконструкцией автомобильной дороги и с переводом ее из IV во II категорию. Уширение проезжей части и усиление пролетного строения производилось без замены главных балок, за счет раздвижки крайних балок на 0,7 м в стороны от продольной оси моста и объединения со сборно-монолитной железобетонной плитой проезжей части. Поперечное сечение моста до и после реконструкции представлено на рис. 3. Согласно перечню и характеристике мостов, имеющих на территории Тукаевского муниципального района, по состоянию на 01.01.2010 мост находился в хорошем состоянии⁴.

⁴ Перечень и характеристика мостов, имеющих на территории Тукаевского муниципального района, по состоянию на 01.01.2010 года // Официальный портал Тукаевского муниципального района республики Татарстан [tukay.tatarstan.ru/file/Мосты%20характеристика%20Тукай%202010\(22\).doc](http://tukay.tatarstan.ru/file/Мосты%20характеристика%20Тукай%202010(22).doc)

Самым распространенным и эффективным методом защиты конструкций от коррозии являются различные защитные лакокрасочные покрытия. В зарубежной практике мостостроения с успехом применяются эффективные системы покрытий, состоящие из трех слоев: грунтовка с цинковой пылью, промежуточный слой с чешуйчатыми пигментами и декоративный слой. Отечественный опыт применения подобных систем защиты также подтверждает их эффективность. Система покрытия ЦИНОТАН + ПОЛИТОН-УР + ПОЛИТОН-УР (УФ), производимая на базе отечественного научно-производственного предприятия «Высокодисперсные металлические порошки» («ВМП»), позволяет защищать от коррозии мостовые металлические конструкции со сроком службы более 15 лет [6]. При монтаже в условиях стройплощадки нанесение защитных покрытий на трубчатые балки представляется более легким за счет их формы и позволяет снизить процент некачественной окраски металлических конструкций. Примерами нанесения покрытия на пролетные строения с трубчатыми главными балками могут служить отремонтированные в разные годы мостовые сооружения: в 2013 году мост через реку Шумбут на автомобильной дороге М-7 «Волга» — Кутлу-Букаш — Рыбная Слобода — Мамли-Козяково — Челны, км 0 + 150 (рис. 4); в 2011 году мост через ручей на автомобильной дороге «Подъезд к д. Старое Ильмово», км 0 + 050 (рис. 5); в 2016 году мост на

Рис. 3. Поперечное сечение моста: а — до реконструкции; б — после реконструкции

Рис. 4. Мост через реку Шумбут на автомобильной дороге М-7 «Волга» — Кутлу-Букаш — Рыбная Слобода — Мамли-Козяково — Челны, км 0 + 150

Рис. 5. Мост через ручей на автомобильной дороге «Подъезд к д. Старое Ильмово», км 0 + 050

автодороге Чистополь — Аксубаево — Нурлат — Чувашская Чебоксарка в Чистопольском районе Татарстана (рис. 6), а также отремонтированный в 2013 году мост через приток реки Меша на автодороге Пестрецы — Чита — Янцевары в Пестречинском районе Татарстана (рис. 7) и др.

Учитывая сказанное, можно сделать вывод о возможности и экономической целесообразности применения трубчатых сечений, а именно труб для нефтегазовой промышленности, в пролетных строениях мостов. При использовании их в качестве главных балок в сталежелезобетонных конструкциях сокращается количество поперечных связей, обеспечивающих пространственную жесткость. За счет круглой формы верхнего сечения трубы и сводчатого очертания железобетонной плиты можно увеличить площадь включенного в работу объединенного сечения. Повышенная коррозионная стойкость, простота монтажа, улучшенные характеристики свариваемости, доступность и низкая стоимость делают применение трубчатых балок экономически эффективным. Все это дает основания для продолжения дальнейших исследований, создания опытных моделей пролетных строений

Рис. 6. Мост на автодороге Чистополь — Аксубаево — Нурлат — Чувашская Чебоксарка в Чистопольском районе Татарстана

Рис. 7. Мост через приток реки Меша на автодороге Пестрецы — Чита — Янцевары в Пестречинском районе Татарстана

с применением трубчатых профилей с различными способами усиления нижнего (растянутого) пояса и объединения с железобетонной плитой, а также разработки новых инновационных и совершенствования старых конструктивно-технологических решений пролетных строений малых мостов по принципу модульности с целью повышения их экономичности и долговечности.

Библиографический список

1. Воробьев А. И., Кошин И. И. О качественной оценке коррозионной стойкости сварных швов и стальных конструкций // Известия вузов. 1984. № 10. С. 137–141. Сер.: «Строительство и архитектура».
2. Бирюлев В. В., Кошин И. И., Крылов И. И., Сильвестров А. В. Проектирование металлических конструкций. Специальный курс / под ред. В. В. Бирюлева. Л.: Стройиздат, 1990. С. 379.

3. Коряков А. С., Эткин Л. А., Ершов И. Б. Защита от коррозии при капитальном строительстве предприятий цветной металлургии. М.: ЦНИИЦветмет, 1984. Вып. 3. 55 с.

4. Кошин И. И. О влиянии конструктивной формы стальных конструкций на стойкость против атмосферной коррозии // труды междунар. конф. «Металлические конструкции». Т. 3. Варшава, 1975. С. 211–218.

5. Еремеев В. П., Бuryкин О. М. Реконструкция автодорожного моста через р. Иганю на автомобильной дороге Набережные Челны — Сарманово // Научно-технический информационный сборник «Информавтодор». 2001. Вып. 5. С. 38–44.

6. Индиков М. Ю., Субботина О. Ю., Ярославцева О. В., Штырба Н. И. Совершенствование антикоррозионной защиты в отечественном мостостроении. Опыт применения полиуретановых материалов ВМП при строительстве моста через Волгу в Ульяновске // Вестник мостостроения. 2008. Вып. 1.

References

1. Vorob'ev A. I., Koshin I. I. O kachestvennoy otsenke korrozionnoy stoykosti svarnykh shvov i stal'nykh konstruksiy [About quality standard estimation of corrosion resistance of welded joints and steel structures]. *Izvestiya vuzov. Ser. «Stroitel'stvo i arkhitektura» – News of higher education institutions. Ser. «Construction and architecture»*, 1984, no. 10, pp. 137–141.

2. Biryulev V. V., Koshin I. I., Krylov I. I., Sil'vestrov A. V. *Proektirovaniye metallicheskiykh konstruksiy. Spetsial'nyy*

kurs [Design of metal designs. Special course]. Ed. by Biryulev V. V. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1990, p. 379.

3. Koryakov A. S., Ehtkin L. A., Ershov I. B. *Zashchita ot korrozii pri kapital'nom stroitel'stve predpriyatiy tsvetnoy metallurgii* [Corrosion prevention at capital construction of the enterprises of nonferrous metallurgy]. Moscow, TsNII'Tsvetmet Publ., 1984, vol. 3, 55 p.

4. Koshin I. I. O vliyaniy konstruktivnoy formy stal'nykh konstruksiy na stoykost' protiv atmosfery korrozii [About the influence of the design form of steel structures on the resistance against atmospheric corrosion]. *Trudy mezhdunar.konf. «Metallicheskie konstruksii»* [Proc. of the Int. sci. conf. "Metal designs"]. Vol. 3. Warsaw, 1975, pp. 211–218.

5. Eremeev V. P., Burykin O. M. *Rekonstruktsiya avtodorozhnogo mosta cherez r.Iganyu na avtomobil'noy doroze Naberezhnye Chelny — Sarmanovo* [Reconstruction of the road bridge across the Iganya River on the highway Naberezhnye Chelny — Sarmanovo]. *Nauchno-tekhnicheskyy informatsionnyy sbornik «Informavtodor» – Scientific and technical bulletin Informavtodor*, 2001, no. 5, pp. 38–44.

6. Indikov M. Yu., Subbotina O. Yu., Yaroslavl'tseva O. V., Shtyrba N. I. *Sovershenstvovaniye antikorroziionnoy zashchity v otechestvennom mostostroenii. Opyt primeneniya poliuretanovykh materialov VMP pri stroitel'stve mosta cherez Volgu v Ulyanovske* [Improvement of anticorrosion protection in domestic bridge building. Experience of using polyurethane materials VMP at construction of the bridge across the Volga River in Ulyanovsk]. *Vestnik mostostroeniya – Bridge Building Bulletin*, 2008, no. 1.