

Овчинников Илья Игоревич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Доцент
Ovchinnikov Ilya Igorevich
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
Docent
E-Mail: bridgeart@mail.ru

Миронов Максим Юрьевич

ОАО "Институт по проектированию объектов дорожного хозяйства Республики Татарстан
"Татдорпроект". Казань, ул.Ак Губкина,31
Главный инженер
Mironov Maksim Jur'evich
E-Mail: mironov@tatdor.com

Овчинников Игорь Георгиевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Профессор
Ovchinnikov Igor Georgievich
Perm National Research Polytechnic University
Professor
E-Mail: bridgesar@mail.ru

Снегирев Геннадий Васильевич

Курганский институт железнодорожного транспорта
Инженер
Snegirev Gennady Vasilievich
The Ural State University of Railway Transport
Engineer
E-Mail: uralakademia@mail.ru

Черных Валентин Константинович

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Аспирант
Chernuh Valentin Konstantinovich
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
Postgraduate student
E-Mail: mtt91@yandex.ru

Моисеев Олег Юрьевич

ООО «Мостпроект»
Генеральный директор
Moiseev Oleg Yurievich
E-Mail: mostproekt@kurganstalmost.ru

05.23.11 Проектирование и строительство дорог, аэродромов,
мостов, метрополитенов и транспортных тоннелей.

Обеспечение сохранности малых и средних мостов с металлическими пролетными строениями

Preservation of small and medium-sized bridges with tubular metal spans

Аннотация: Рассматривается проблема обеспечения сохранности малых и средних мостов, пролетные строения которых выполнены с использованием старых труб. Эти трубы применялись в нефтяной и газовой промышленности. Приведены характерные конструкции пролетных строений из труб и фотографии мостов, выполненных из этих труб. Указаны основные дефекты конструктивных решений. Предложена методология прогнозирования поведения трубчатых пролетных строений мостов с учетом коррозионного износа.

Abstract: The problem of preservation of small and medium-sized bridges is considered. The bridge superstructures are made using the old pipes. The pipes were used in the oil and gas industry. Shows the characteristic of pipes superstructures and photographs of bridges made of these tubes. Shows the main defects of design solutions. The methodology of predicting the behavior of tubular bridge spans under corrosive wear a given.

Ключевые слова: Малые мосты; трубчатое пролетное строение; коррозионный износ; использование труб.

Keywords: Small bridges; tubular superstructure; corrosive wear; the use of pipes.

В настоящее время на сети автомобильных дорог общего пользования РФ расположено значительное количество мостовых сооружений, построенных в 1960-1970-х годах по действовавшим в то время нормам проектирования, и относящихся к категории малых и средних мостов [1]. С течением времени под действием эксплуатационных факторов происходит прогрессирующее ухудшение состояния этих мостов, причем целый ряд возникающих повреждений носит массовый характер - расстройство гидроизоляции и деформационных швов, размыв опор и устоев, выход из строя опорных частей и так далее. Но наиболее важным с точки зрения обеспечения грузоподъемности и долговечности является ухудшающееся состояние пролетных строений [2,3].

Анализ состояния мостового парка республика Татарстан показывает, что из более, чем тысячи автодорожных мостов 56,5 % построено из металла. Рисунок 1 иллюстрирует динамику сооружения мостов в республике Татарстан с пролетными строениями из разных материалов

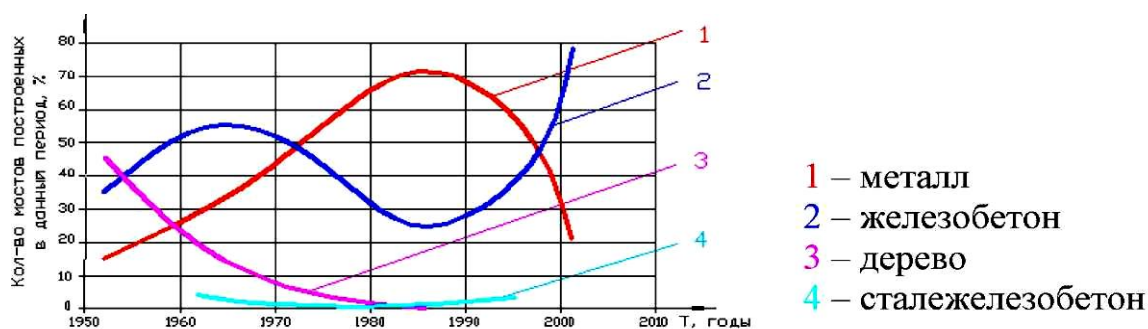


Рис. 1. Динамика сооружения мостов с пролетными строениями из разных материалов

Как видно, значительная часть мостов с металлическими пролетными строениями (84.5% - от общего их числа) была построена в период с 1970-1993 гг. Соотношение различных конструкций металлических пролетных строений малых и средних мостов представляется в следующем виде: пролетные строения в виде труб - 82%; различное сочетание двутавровых балок - 11%; различные фермы - 6%; остальное - 1% [4].

К сожалению, основой политики в области мостостроения, проводившейся в те годы, было стремление строить как можно больше, дешевле и быстрее. Тогда при проектировании и строительстве мостов уделялось недостаточное внимание решению проблем, связанных с будущей эксплуатацией сооружений. Поэтому к настоящему времени существует необходимость в реконструкции и ремонте многих малых и средних мостов. Для более эффективной организации этих работ необходим и прочностной мониторинг и тщательный инженерный анализ конструкций таких мостов [5, 6].

По характеру конструктивного решения металлических пролетных строений малых и средних мостов их можно условно разделить на 5 групп.

1 группа. Пролетное строение выполнено в виде балочно-разрезной схемы с использованием двутавровых балок (рис. 2). Количество балок в поперечном сечении 2-7, балки имеют сплошную стенку толщиной 10-18 мм и параллельные пояса толщиной 40 – 60 мм, ширина поясов по длине может меняться, имеются вертикальные и горизонтальные ребра жесткости. Длина пролетов в интервале 6,5 – 44,0 м.

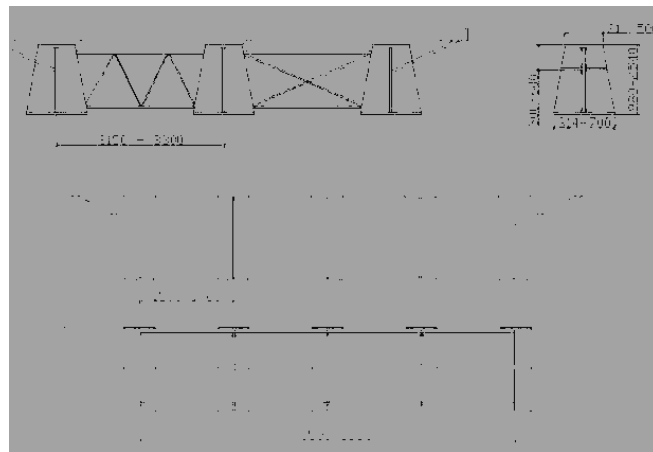


Рис. 2. Балочная разрезная схема. Двутавровые балки

2 группа. Пролетные строения выполнены по разрезной схеме и состоят из ферм, собранных из прокатных профилей (рис.3). Фермы с крестовой решеткой, объединены поперечными горизонтальными и вертикальными связями из парных уголков. Соединение элементов ферм – электросварное.

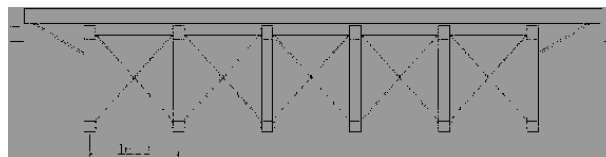


Рис. 3. Разрезная схема. Фермы из прокатных профилей

3 группа. Пролетные строения представляют собой балочную конструкцию из 3 модифицированных трубчатых балок (рис. 4). Растянутая и сжатая зоны балок усилены уголками. Длина пролетов в интервале 10,2 – 27,0 м. Запроектированы СКБ «Гидромонтаж» и СКБ «Гермес». Сечение труб диаметром 1220 мм разбито по высоте с использованием вставок металлических листов высотой 750 мм.

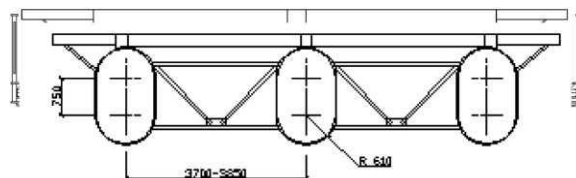


Рис. 4. Балочная конструкция из 3 модифицированных трубчатых балок

4 группа. Сюда относятся балочные пролетные строения из труб со шпренгелями в виде ферм также из стальных труб, но меньшего диаметра (рис.5). Шпренгельные фермы с крестовой решеткой, трубчатыми поясами. Раскосы ферм как трубчатые, так и из уголков. Соединение элементов ферм – электросварное.

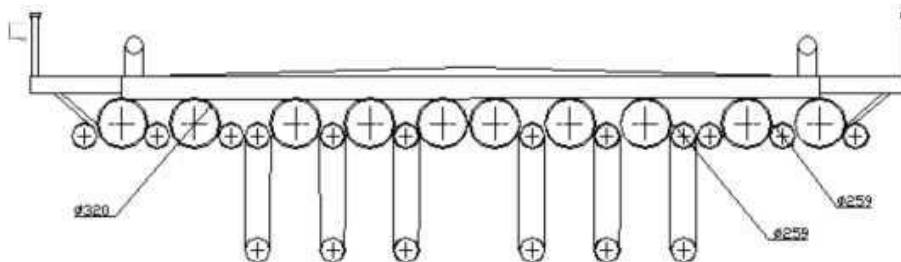


Рис. 5. Балочная конструкция со шпренгелями в виде ферм из стальных труб

5 группа. Пролетные строения балочные из одинарного или двойного ряда стальных труб (рис. 6). Количество труб в пролетном строении от 4 до 9, пролеты длиной от 3,2 до 15,2 м. Годы постройки – 1950-1970. Проезжая часть может быть из деревянного настила. Если трубы уложены вплотную в два яруса, то количество труб может составлять от 14 до 23.

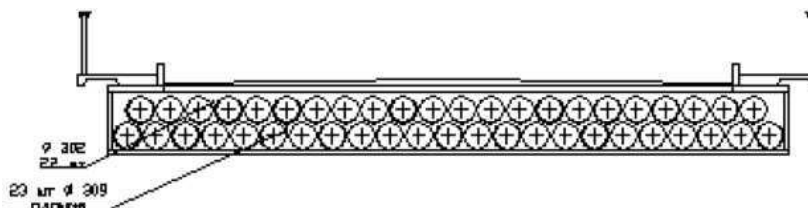


Рис. 6. Балочная конструкция из одинарного или двойного ряда стальных труб

Разновидное применение стальных труб в качестве несущих элементов пролетных строений мостов с одной стороны сэкономило дефицитные двутавровые балки и покрывало потребность в мостах для тех лет, но, с другой стороны, применение труб приводило к значительному перерасходу металла из-за неэффективного его использования при работе конструкций пролетных строений на изгиб.

Ниже для иллюстрации приведены фотографии ряда мостовых сооружений, пролетные строения которых выполнены с использованием старогонных труб.



а)



б)

Рис. 7. *Мост с использованием труб на автодороге Казань-Киров км 125+771;
а) общий вид моста, б) трубчатое пролетное строение*



а)



б)

Рис. 8. Мост с использованием труб на автодороге Казань-Киров км 123+684;

а) общий вид моста, б) труба, усиленная уголками.



а)



б)

Рис. 9. *Мост с неразрезным трубчатым пролетным строением на автодороге Казань-Киров км 104+752; а) общий вид моста, б) конструкция пролетного строения*



а)



б)

Рис. 10. *Мост с использованием труб на автодороге Казань-Киров км 116+440;
а) общий вид моста, б) конструкция пролетного строения и зоны опирания*



а)



б)

Рис. 11. Конструкция трубчатого моста через реку Бавлы



Рис. 12. Общий вид моста через реку Мишуга у н.п. Чупаево на автомобильной дороге Нов. Айманово – Атрякле – Калтаково – Филимоновка



Рис. 13. Общий вид моста через реку Мишуга у н.п. Атрякле на автомобильной дороге Нов. Айманово – Атрякле – Калтаково – Филимоновка

Кроме того, в процессе эксплуатации развитая поверхность контакта трубчатых пролетных строений с эксплуатационной средой и отсутствие эффективных мер противокоррозионной защиты приводили к значительным коррозионным потерям в пролетных строениях из труб.

На многих пролетных строениях нарушена окраска балок и произошла коррозия их поверхности (10-40%), особенно нижней поверхности крайних балок, от протечек. Трубчатые балки не герметичны, увлажнение внутренних поверхностей трубчатых балок конденсатом и отсутствие проветривания усиливает их коррозию. Скопление влаги в мешках, образующихся в середине балок в результате их прогиба, усугубляет этот процесс. То же самое происходит в полостях, образуемых между наружной поверхностью балок и уголками усиления.

Все это приводит к снижению долговечности конструкции.

Как показали предварительные поверочные расчеты, сечения балок пролетных строений из труб были подобраны без учета совместной работы с железобетонными плитами проезжей части, то есть по виду являясь сталежелезобетонными, они работали как металлические пролетные строения с накладной железобетонной плитой проезжей части, не включенной в совместную работу. Превращение этих конструкций в сталежелезобетонные существенно повысит их прочность, жесткость и долговечность, что может существенно улучшить техническое состояние мостов. Желательно также предусмотреть домкратные балки, служащие одновременно поперечными связями-распорками, способствующими выравнивать напряжения под опорными частями.

Так как многие мостовые конструкции с использованием труб длительное время эксплуатировались в условиях совместного воздействия нагрузок и коррозионных сред, то это привело к значительному изменению их геометрических характеристик.

Ввиду невозможности замены этих конструкций (по экономическим или иным соображениям), возникает важная и интересная задача оценки их действительного напряженно-деформированного состояния с учетом происшедших за время эксплуатации изменений с тем, чтобы оценить возможность их дальнейшей безаварийной эксплуатации и определить необходимость принятия превентивных мер (защита, усиление). Учет воздействия эксплуатационных сред на конструкции позволит обеспечить более безопасный режим эксплуатации и предупредить возможное наступление аварийных ситуаций.

При проведении обследований мостов с пролетными строениями из труб были выявлены повреждения, основной причиной появления которых является коррозионный износ.

Процесс коррозии металла связан с влажностью воздуха, температурой и составом атмосферы, длительностью увлажнения металла, загрязнением воздуха агрессивными компонентами в промышленных районах. Коррозия приводит к изменению сечений элементов, механических характеристик материала, что может привести к снижению несущей способности, потере устойчивости элементов конструкций и, в конечном счете, к снижению грузоподъемности и сокращению долговечности мостовых сооружений. Рассмотрим задачу расчета трубчатых мостовых конструкций, подвергающихся коррозионному износу на примере пролетного строения на рис.14.

Характерная конструкция пролетного строения представляет собой три отдельные стальные балки из труб $D=820-1420$ мм и длиной 10.2-27.0 м. Расстояние между осями балок от 3.61-4.07 м. Запроектированы и построены они были в 1977-1993 г.

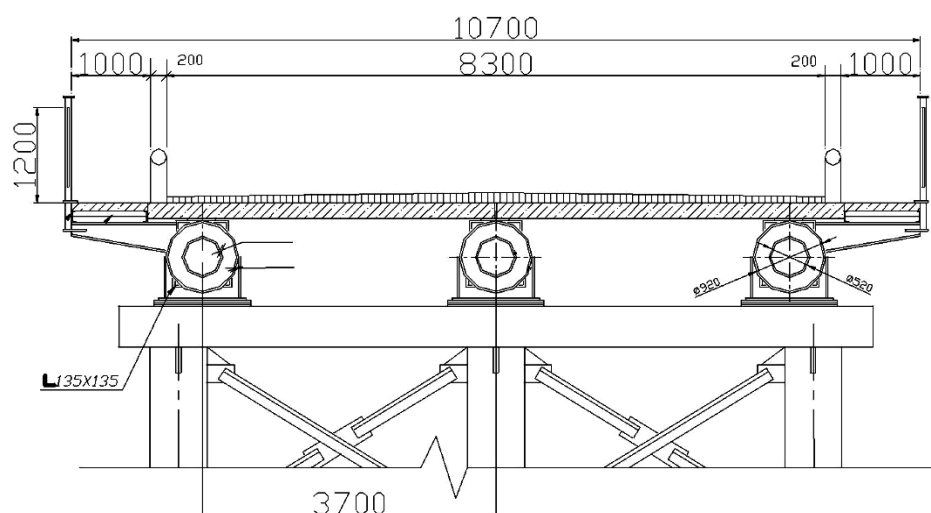


Рис. 14. Пролетное строение

При обследовании таких мостов наблюдались различные повреждения. Основное повреждение – коррозия, на многих мостах указания по необходимой защите конструкции отсутствовали в проекте, в реальности антикоррозионная защита выполнялась в 1 слой по 1 слою грунта, из атмосферонестойких составов, дающих тонкую, легкоотслаивающуюся пленку, что недостаточно. Конструкция таких балок не рациональна по ряду причин: неэффективное использование металла, по сравнению с тавровыми балками; сложная эксплуатация, очистка и окрашивание некоторых поверхностей недоступно; для усиления таких балок необходимо разрабатывать специальные схемы и конструкции и др.

По многим причинам такие конструкции пролетных строений перестали использовать, но до сих пор находятся в эксплуатации большое количество таких мостов. Поэтому определение потери несущей способности конструкций, грузоподъемности и остаточного ресурса и моделирование поведения элементов таких конструкций является важной задачей.

Математическое моделирование коррозионного разрушения материалов основывается на экспериментальных данных, полученных в натуральных условиях, и сводится к математическому описанию процесса изменения во времени некоторых параметров, характеризующих степень коррозионного поражения конструкции. В качестве таких параметров обычно используют глубину коррозионного поражения δ , потерю массы G , изменение площади поперечного сечения конструкции A и другие. Следует отметить, что целью математического моделирования (в частности, коррозионного износа), всегда является прогнозирование изучаемого процесса, т.е. определение будущих значений параметров состояния по фактическим данным, полученным на первоначальном участке времени.

Наибольшее распространение имеют два вида параметров коррозионной поврежденности конструкций, которые к тому же оказываются наиболее приемлемыми для расчета стержневых элементов конструкций с учетом коррозионного разрушения [7]. Это параметр непрерывной коррозионной поврежденности ψ и глубина коррозионного поражения конструктивного элемента δ [8]. Для параметра δ существует много различных моделей [9]. Следует отметить, что разные модели коррозионного износа сечения дают различную степень потери несущей площади стальной балки и требуют оценки корректности применения для каждого конкретного случая.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что в действительности за слоем сплошного коррозионного износа практически всегда имеется частично разрушенный слой, несущая способность которого убывает по мере приближения к поверхности конструкции. Для того чтобы учесть эту неоднородность коррозионного поражения по глубине

армирующего элемента, предлагается характеризовать степень поврежденности материала в точке вследствие коррозионного воздействия среды параметром коррозионной поврежденности ψ , изменяющимся от 1 в начальный момент времени, до 0 при полном коррозионном разрушении материала в данной точке. Кинетическое уравнение для ψ в ряде случаев имеет форму уравнения массопереноса:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -\text{div}(B \text{grad} \psi), \quad (1)$$

где B – коэффициент, характеризующий коррозионное сопротивление материала; t – время. Чем меньше значение коэффициента коррозионной податливости B , тем выше коррозионная стойкость материала.

Коррозионное разрушение начинается с поверхности и приводит к постепенному ослаблению сечения, вызывая, в конечном счете. Изменение напряженно-деформированного состояния. Влияние коррозионного разрушения на поведение конструктивных элементов можно учесть, если интерпретировать ψ как сплошность материала в точке конструкции.

Во многих случаях глубина слоя, подвергающегося коррозионному разрыхлению, невелика и, поэтому, элемент конструкции можно приближенно рассмотреть как полуограниченное тело. При этом, решая уравнение (1) для одномерного случая при граничных условиях $\psi(z, 0) = 1$; $\psi(0, t) = 0$; $\frac{\partial \psi(\infty, t)}{\partial z} = 0$ где z – координата, отсчитываемая от поверхности вглубь конструктивного элемента, и $B = \text{const}$, получим следующий закон распределения параметра ψ :

$$\psi(z, t) = \text{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{Bt}}\right) \quad (2)$$

Для идентификации модели коррозионного поражения стали необходимо знать (или определить экспериментальным путем) значение коэффициента B , характеризующего коррозионное сопротивление материала. Экспериментальные данные по коррозии сталей в большинстве случаев представляют данные о глубине коррозионного износа δ после различных периодов экспозиции.

Учесть влияние коррозионного поражения стальной балки можно несколькими способами, во-первых, принимая, что коррозионное разрыхление оказывает влияние на процесс деформирования нелинейно-упругого материала. Предполагается, что коррозионное разрыхление приводит к изменению диаграммы деформирования материала, то есть:

$$\sigma = \varphi(\varepsilon) \cdot \xi(\psi), \quad (3)$$

где σ – напряжение, ε – деформация, φ и ξ – функции, аппроксимирующие диаграмму деформирования и зависимость этой диаграммы от параметра сплошности.

Однако, экспериментальные данные свидетельствуют, что воздействие агрессивной среды достаточно мало сказывается на характере кривой деформирования образцов ненапрягаемой стали. Поэтому влияние коррозии на работу армирующего элемента обычно учитывают через уменьшение его площади поперечного сечения.

В случае применения модели (1), описывающей потерю сплошности материала в каждой точке сечения в результате коррозии, текущая площадь корродирующего сечения определяется выражением:

$$A(t) = \int_x \int_y \psi(x, y, y, t) dx dy. \quad (4)$$

Данная модель коррозионного поражения может применяться при численном расчете конструкции при дискретизации сечения конструктивного элемента.

При применении моделей коррозии с четким фронтом коррозионного износа, также необходимо для расчета конструкции перейти от текущей глубины коррозии к рабочей площади поперечного сечения стальной трубчатой балки. Анализ экспериментальных данных и результатов натурных обследований свидетельствует о том, что возможны различные виды коррозионного поражения стальной балки под воздействием среды. Наиболее часто встречаются следующие виды коррозионного износа, или различное сочетание этих видов (рис. 15).

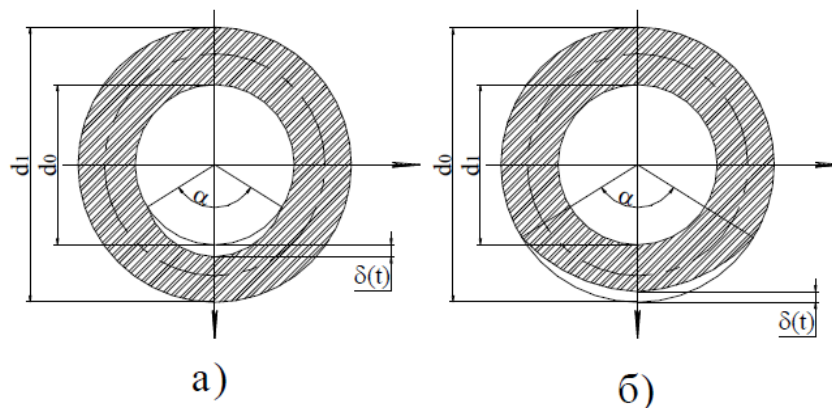


Рис. 15. Виды коррозионного износа стальной трубчатой балки:
а - локальный серповидный с внутренней стороны балки;
б - локальный серповидный с внешней стороны балки.

1) Серповидная коррозия с внутренней стороны, объясняется тем, что часто из-за отсутствия доступа внутрь трубы, внутренняя поверхность не окрашивается. Хотя трубчатые балки не герметичны, увлажнение внутренних поверхностей трубчатых балок конденсатом и отсутствие проветривания усиливает их коррозию. Скопление влаги в мешках, образующихся в середине балок в результате их прогиба, усугубляет этот процесс. В этом случае текущая площадь стальной трубчатой балки:

$$A(t) = \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 - d_2^2) - \frac{(d_0 + \delta(t))^2}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2} \right) + \frac{d_0^2}{8} \cdot (\alpha - \sin \alpha), \quad (5)$$

где $\alpha = 4 \arccos(1 - \frac{\delta(t)}{d_0})$, d_1 и d_0 – наружный и внутренний диаметры трубы.

2) Серповидная коррозия с внешней стороны, объясняется тем, что вследствие не удовлетворительного состояния гидроизоляции вода проникает через плиту проезжей части и попадает на несущие балки, интенсивно корродирует нижняя поверхность крайних балок. Отслоение или отсутствие краски усиливает этот процесс. В этом случае текущая площадь стальной трубчатой балки:

$$A(t) = \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 - d_2^2) - \frac{d_0^2}{8} \cdot (\alpha - \sin \alpha) + \frac{(d_0 - \delta(t))^2}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2} \right), \quad (6)$$

Под влиянием неравномерного коррозионного износа толщина и радиус средней линии кольцевого сечения трубопровода изменяются, это может привести к изменению расчетной схемы балки пролетного строения.

Переменный радиус средней линии сечения $R^t(\varphi)$, зависящий от степени коррозионного износа и различный для разных точек средней линии можно выразить следующим образом.

$$R^t(\varphi) = R_0 + 1/2[\delta_2^t(\varphi) - \delta_1^t(\varphi)],$$

Переменная толщина кольцевого сечения, также неравномерная по периметру сечения:

$$h^t(\varphi) = h_0 - \delta_1^t(\varphi) - \delta_2^t(\varphi),$$

где R_0 , h_0 – начальные значения радиуса и толщины кольцевого сечения, $\delta_1^t(\varphi)$, $\delta_2^t(\varphi)$ – величина коррозионного износа соответственно на внутренней и наружной поверхностях трубы в момент времени t в точке с угловой координатой φ .

Площадь элементарной части поперечного сечения трубы равна:

$$dA^t = h^t(\varphi) \cdot R^t(\varphi) \cdot d\varphi,$$

а площадь кольцевого сечения переменной толщины:

$$A^t = \int_0^{2\pi} h^t(\varphi) \cdot R^t(\varphi) d\varphi = \int_0^{2\pi} (h_0 - \delta_1^t - \delta_2^t) \cdot \left(R - \frac{\delta_2^t - \delta_1^t}{2} \right) d\varphi$$

Здесь и далее подразумевается зависимость величин h^t , R^t , δ_1^t , δ_2^t от угла φ . Статические моменты площади:

$$S_z^t = \int_0^{2\pi} y^t dA^t = \int_0^{2\pi} (R^t)^2 h^t \sin\varphi d\varphi, \quad S_y^t = \int_0^{2\pi} z^t dA^t = \int_0^{2\pi} (R^t)^2 h^t \cos\varphi d\varphi$$

Координаты нового центра тяжести сечения z_0^t , y_0^t определяются по известным формулам:

$$z_0^t = S_y^t / A^t; \quad y_0^t = S_z^t / A^t.$$

свевые и центробежный моменты инерции относительно осей Oz и Oy запишутся:

$$J_z^t = \int_0^{2\pi} (y^t)^2 dA^t = \int_0^{2\pi} (R^t)^3 h^t \sin^2\varphi d\varphi,$$

$$J_y^t = \int_0^{2\pi} (z^t)^2 dA^t = \int_0^{2\pi} (R^t)^3 h^t \cos^2\varphi d\varphi,$$

$$J_{zy}^t = \int_0^{2\pi} y^t z^t dA^t = \int_0^{2\pi} (R^t)^3 h^t \sin\varphi \cos\varphi d\varphi.$$

Анализ экспериментальных данных по кинетике коррозионного износа трубопроводных конструкций показывает, что коррозионный износ обычно симметрично ориентирован относительно вертикальной оси сечения трубопровода, поэтому можно считать, что главные оси корродирующего поперечного сечения трубопровода остаются соответственно вертикальными и горизонтальными, а положение центра тяжести сечения практически не изменяется.

Вследствие коррозионного износа положение опасного сечения по длине пролетного строения может меняться, а поэтому нужно учитывать изменение коррозионного износа не только по контуру, но и по длине балок пролетного строения.

Использование геометрических характеристик позволит в дальнейшем построить модель прогнозирования несущей способности трубчатой стальной балки пролетного строения моста.

Дальнейшее развитие в оценке коррозионного износа трубчатых балок металлических пролетных строений автодорожных мостов будет учитывать: совместное действие нагрузки и коррозионной среды, поведение конструкций с

учетом работы защитных покрытий, образование и прорастание коррозионных трещин, локальные коррозионные поражения. Это позволит в более полной мере прогнозировать

изменение несущей способности элементов конструкций трубчатых балок и в целом металлических пролетных строений автодорожных мостов.

Вывод

Результаты проведенного анализа позволяют заключить, что имеется ряд интересных и важных задач по прогнозированию поведения трубчатых мостовых конструкций в условиях коррозионного износа, по разработке способов и схем усиления существующих пролетных строений с возможно более полным использованием примененных инженерных решений, а также задача обеспечения их эффективной защиты от агрессивного воздействия окружающей среды [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов П.П., Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Скачков Ю.П. Развитие технических нормативов, используемых при проектировании и строительстве мостовых сооружений (учебное пособие). Учебное пособие с грифом УМО. ПензГАСА. Пенза. 2002. 96 с.
2. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Анализ причин аварий и повреждений транспортных сооружений// Транспортное строительство. М. 2010, №7. с. 2-5.
3. Распоров О.Н., Овчинников И.Г., Удалов В.Н. Мосты малые – проблемы большие// Дороги России 21 века. 2009, №5, с. 54 – 56.
4. Овчинников И.Г., Пискунов А.А., Миронов М.Ю. Анализ конструктивных решений малых и средних мостов с металлическим пролетным строением.// Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций. Ч.1.: Мат. III Междунар. науч.-техн. конф. Волгоград. 2003. с 99-103.
5. Овчинников И.Г. Прочностной мониторинг мостовых сооружений (статья)// Автомобильные дороги 1995, №7 – 8
6. Овчинников И.Г. Вопросы обследования и оценки состояния эксплуатируемых мостовых сооружений (статья) // Проблемы развития транспортных коммуникаций. Проектирование, строительство, эксплуатация. Научно-технический альманах. 1996, №2, с.26-29
7. Межнякова А.В., Овчинников И.Г. Методы оценки долговечности армированных конструкций при действии нагрузок и агрессивных сред// Промышленное и гражданское строительство. №8. 2008. с. 54 – 55.
8. Овчинников И.Г., Почтман М.Ю. Тонкостенные конструкции в условиях коррозионного износа. Расчет и оптимизация (монография). Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1995.192 с.
9. Овчинников И.Г., Наумова Г.А. Расчеты на прочность сложных стержневых и трубопроводных конструкций с учетом коррозионных повреждений. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2000.-227 с.
10. Овчинников И.Г., Дудкин Е.В. Проблемы антикоррозионной защиты мостовых сооружений// Мир дорог.№62, август 2012. С. 37-38.

Рецензент: Столяров Виктор Васильевич, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А., д-р. техн. наук, профессор.