

УДК 624.013:620.193.01

## НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ НА УГЛАХ ПОВОРОТОВ В СТАЛЬНЫХ ТРУБАХ

*Е.Н. Аманбаев, К.К. Бейшекеев, Б.А. Алимбаев, Б.Ж. Мананбаев*

Рассматривается вопрос развития коррозии на углах поворотов в стальных трубах гидротехнических сооружений, который исследован недостаточно. С помощью ультразвукового контроля была определена степень развития коррозии на углах поворотов в стальных трубах. По результатам исследований доказана первостепенность развития коррозии на криволинейных участках труб. Предложены мероприятия по надежной эксплуатации труб гидротехнических сооружений.

*Ключевые слова:* внутренняя коррозия; стальные трубы; угол поворота трубы; антикоррозионное покрытие; натурный эксперимент; ультразвуковой толщиномер.

## БОЛОТ ТҮТҮКТӨРДҮН КАЙРЫЛГАН БУРЧТАРЫНДАГЫ ИЧКИ ДАТ БАСУУЛАРДЫН ӨРЧҮШҮН ТАБИГЫЙ ИЗИЛДӨӨЛӨР

Бул эмгекте буга чейин толук көлөмдө изилдене элек гидротехникалык курулмалардагы болот түтүктөрдүн кайрылуу бурчтарындагы ички дат басуунун өрчүшү маселеси каралат. Ультрадабыштуу текшерүүнүн жардамы менен болот түтүктөрдүн кайрылган бурчтарындагы ички дат басуунун даражасы аныкталган. Изилдөөнүн жыйынтыктары боюнча түтүктүн ийри бөлүгүндөгү дат басуунун эң маанилүүлүгү негизделет, жана гидротехникалык курулмалардагы түтүктөрдү ишенимдүү пайдалануу боюнча иш-чаралар сунушталат.

*Түйүндүү сөздөр:* ички дат басуу; болот түтүктөр; түтүктүн кайрылуу бурчу; суу коё бергич; дат басууга каршы жабуу; табигый эксперимент; ультрадабыштуу калыңдыкты өлчөгүч.

## FIELD RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF INTERNAL CORROSION ON THE CORNERS OF THE BENDS IN STEEL PIPE

*E.N. Amanbayev, K.K. Beishekeev, B.A. Alimbayev, B.Zh. Manapbayev*

The paper deals with the development of corrosion at the corners of the bends in steel pipes of hydraulic structures, which has not been fully investigated. Using ultrasonic control was determined by the degree of development of corrosion in the corners of the bends in steel pipe. According to the research results, the priority of corrosion development in the curved sections of pipes is justified, and measures for reliable operation of hydraulic structures pipes are proposed.

*Keywords:* internal corrosion; steel pipes; pipe rotation angle; water pipe; anti-corrosion coating; full-scale experiment; ultrasonic thickness gauge.

Исследования процессов внутренней коррозии труб проводились в основном в нефтегазовой и химической промышленности, где транспортируемая среда быстро приводит к внутренней коррозии труб. Однако результаты исследований по развитию коррозии в данных отраслях невозможно использовать в гидротехнических сооружениях из-за разности свойств транспортируемых сред.

В работе [1] исследован срок службы напорных трубопроводов оросительных систем с учетом прогноза развития опасности коррозии металлических труб, транспортирующих сточные воды. В работе сделан акцент на влиянии сточных вод на образование коррозии и не рассмотрено влияние на ее развитие благодаря конструктивным особенностям металлических труб.

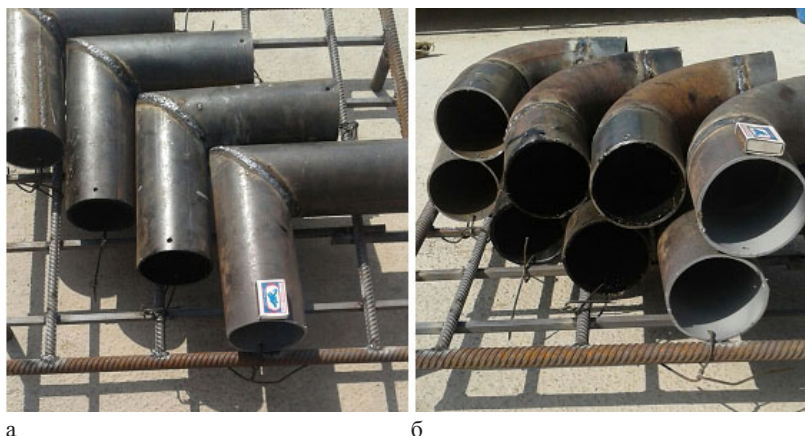


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд из колен с прямым углом поворота 90° (а) и отводов (б)

В работе [2] рассмотрены условия эксплуатации внутренней поверхности магистрального водовода «Астрахань – Мангышлак» и свойств коррозионных отложений на ней. Коррозия развивается из-за состава воды, изменения температуры и изменяется в зависимости от длины водовода. В работе не рассмотрено влияние на развитие коррозии конструктивных особенностей металлических труб.

В работах [3, 4] приведены результаты экспериментов по изучению коррозии во внутренней полости труб, где на коррозию влияет режим течения и состав транспортируемой среды, однако не учтены конструктивные особенности металлических труб.

Как показал обзор работ [1–6] по данному направлению, выполнено недостаточно исследований по внутренней коррозии в трубах гидротехнических сооружений, а работы по исследованию развития коррозии на криволинейных участках стальных труб практически отсутствуют.

Экспериментальные исследования [7–11] по развитию коррозии показали, что на криволинейных участках стальных труб различного назначения развитие коррозии происходит более интенсивно, чем на прямолинейных участках. Для глубокого изучения данного вопроса авторы провели эксперименты по замеру толщин стенок стальных труб на криволинейных участках трубопроводов. Для подтверждения экспериментальных результатов были проведены натурные исследования влияния речной воды на развитие внутренней коррозии на углах поворотов в стальных трубах на Ассинском гидроузле в Жамбылской области.

Гидроузел расположен на р. Асса в месте выхода реки из скального каньона на конус выноса, в 10 км южнее г. Тараз в Жамбылском районе. Назначение гидроузла комплексное, он используется для целей ирригации и круглогодичного

промводоснабжения ТОО «Казфосфат». Водозабор для систем бассейнов рек Асса и Талас осуществляется из Ассинского гидроузла, перераспределение воды между бассейнами рек Асса и Талас происходит несколько ниже по каналу ПК 27÷23.

Конструкция Ассинского гидроузла выполнена согласно рекомендации ГрузНИИГиМ с расположением первой наносо-перехватывающей галереи несколько выше водоприемного отверстия ПМК. Класс капитальности Ассинского узла – II.

Водозаборный узел на р. Асса состоит из головных сооружений и содержит:

- 1) плотину с водоприемником каналов и водоводов, помещением и оборудованием для обогрева затворов;
- 2) головной участок водовода по ПК 0÷68;
- 3) головной участок Ассинского ПМК от плотины до моста на пикете 30÷50;
- 4) головной участок канала Чумой (подводящий канал к отстойнику) от пикета ПК 10 ПМК до водовыпуска в канал полива лесонасаждений у отстойника;
- 5) водовыпуски на ПК 10 ПМК в канал Садовой и подводящий канал к отстойнику;
- 6) водовыпуск в канал Чумой из подводящего канала;
- 7) вододелитель на ПК 27÷23;
- 8) автодорогу с лесонасаждениями и сооружениями для их полива от плотины до вододелителя;
- 9) служебные помещения.

Для натурального эксперимента был изготовлен стенд, на котором были закреплены 4 колена размерами 108×3,7 мм с прямым углом поворота на 90° (рисунок 1, а), а также 4 отвода размерами 108×3,7 мм с углом поворота на 90° по ГОСТ 17375–2001 (рисунок 1, б).

Внутренние поверхности всех труб были очищены от грязи, пыли, масла и продуктов коррозии.

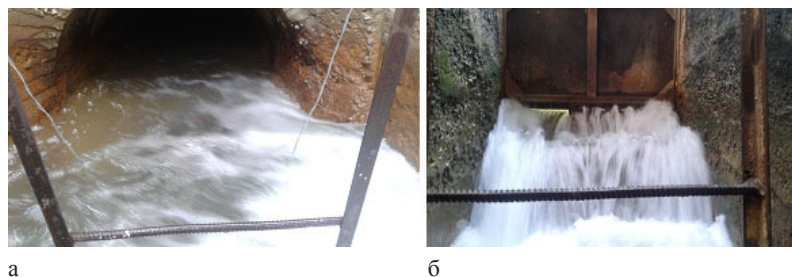


Рисунок 2 – Место установки экспериментального стенда



Рисунок 3 – Экспериментальный стенд из труб, извлеченный из водовода Ассинского ПМК после 1 года эксплуатации

После этого на внутреннюю поверхность первого колена с прямым углом и на один отвод была нанесена обычная эмалевая краска. На внутреннюю поверхность второго колена с прямым углом и на один отвод был нанесен обычный битумный лак. На внутреннюю поверхность третьего колена с прямым углом и на один отвод была наклеена специальная изолирующая полимерная пленка. Последние колена с прямым углом и отвод не были защищены каким-либо покрытием.

В июле 2017 г. данный экспериментальный стенд был установлен за шлюзом в колодец водовода Ассинского ПМК от плотины (рисунок 2). Для того чтобы поток воды постоянно проходил через трубы, стенд был плотно закреплен отверстиями против течения в подводной части водовода. Поток речной воды, в которой присутствуют наносы, с достаточно высокой скоростью проходил через углы поворотов труб. Особенностью данного водовода является то, что он работает круглогодично, используется для промводоснабжения ТОО «Казфосфат» и установлен в колодце, тем самым защищен от обледенения.

Через год в июле 2018 г. экспериментальный стенд был извлечен из места закрепления водовода

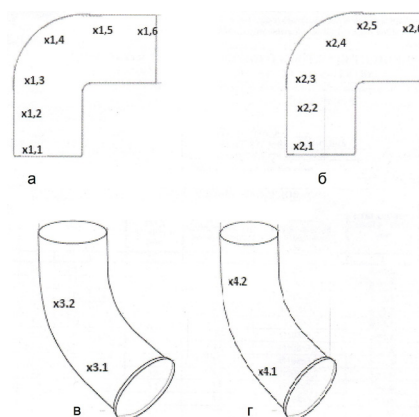


Рисунок 4 – Схема расположения точек замеров в трубах

Ассинского ПМК от плотины (рисунок 3). Внешний осмотр показал, что внутренняя поверхность труб, покрытых изнутри битумным лаком и изолирующей полимерной пленкой, не подверглись коррозии. Изначально было известно, что за такой короткий срок эксплуатации (1 год) такие покрытия не изнашиваются. Предполагалось, что из-за значительной скорости водного потока и присутствия в них наносов, данные покрытия могут быть повреждены. Тем не менее, покрытия не были повреждены, и внутренняя коррозия в трубах не развилась.

Внутренняя поверхность труб, покрытых изнутри обычной эмалевой краской, и незащищенные покрытия труб подверглись в определенной степени коррозии. Было решено измерить толщину стенок именно этих труб по уже известной методике [1–5].

Измерение толщины стенок стальных труб производили ультразвуковым толщиномером УТ-301 по ГОСТ 28702–90. Преобразователь типа 5Б12/2–5,0 МГц. При измерении был использован принцип «эхо», т. е. излучатель и приемник были совмещены в одном щупе. Возбужденные ультразвуковые сигналы доходят до внутренней поверхности труб и отражаются приемником. Зная скорость

Таблица 1 – Результаты замеров толщины стенок стальных труб, подверженных внутренней коррозии

№ п/п	Величина замера (мм)			Среднее значение трех замеров (мм)	Толщина стенки с учетом погрешности измерения (мм)	Первоначальная толщина стенки и диаметр измеряемых элементов (мм)	Отбраковочный размер (мм)	Примечание
	2	3	4					
1.1	3,5	3,5	3,6	3,5	3,5	Ø108x3,7	δ = 1,8	Колено
1.2	3,6	3,6	3,5	3,6	3,5	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
1.3	3,6	3,5	3,6	3,6	3,5	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
1.4	3,6	3,6	3,5	3,6	3,5	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
1.5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,5	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
1.6	3,6	3,7	3,6	3,6	3,6	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
2.1	3,7	3,7	3,7	3,7	3,6	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
2.2	3,7	3,7	3,7	3,7	3,6	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
2.3	3,7	3,6	3,6	3,6	3,5	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
2.4	3,5	3,6	3,5	3,5	3,4	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
2.5	3,5	3,5	3,4	3,5	3,4	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
2.6	3,6	3,6	3,5	3,6	3,5	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
3.1	3,5	3,5	3,4	3,5	3,4	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
3.2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
4.1	3,5	3,4	3,5	3,5	3,4	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -
4.2	3,5	3,6	3,5	3,5	3,4	Ø108x3,7	δ = 1,8	- // -

распространения и время прохождения ультразвука в металле, была определена толщина стенок. Измерение толщины стенки трубы проводили в лаборатории ультразвукового контроля (Испытательная лаборатория ТОО «ПКФ ФАН», г. Тараз. Аттестат аккредитации № KZ.И.08.1791).

Схема расположения точек замеров в трубах показана на рисунке 4, где а – незащищенное внутри колена с прямым углом поворота; б – колена с прямым углом поворота, защищенное внутри эмалевой краской; в – незащищенный внутри отвод с углом поворота на 90°; г – отвод с углом поворота на 90°, защищенный внутри эмалевой краской. Толщина стенки трубы в 17 точках была измерена по истечении 1 года эксплуатации (таблица 1).

Анализ данных таблицы 1 показывает, что во всех точках замера идет интенсивное уменьшение толщины стенок колен и отводов. Особенно сильно коррозия развивается на отводах, где поток воды сильно воздействует на поверхность металла из-за дополнительных центробежных сил. Это явление было описано в работах [7–11], где установлено, что на криволинейных участках стальных труб коррозия развивается сильнее, чем на прямолинейных.

Таким образом, получены некоторые результаты, показывающие, что расположение стальных труб гидротехнических сооружений влияет

на скорость развития коррозии внутри труб. Данное явление не учитывалось при проектировании стальных труб гидротехнических сооружений, и что надежность стальных труб зависит от их расположения в пространстве.

На практике элементы металлических конструкций проектируются, как правило, равнопрочными, тогда как элементы металлических конструкций гидротехнических сооружений должны проектироваться с дополнительным усилением для обеспечения их безотказной работы. Этого можно достичь путем утолщения трубных конструкций на криволинейных участках, либо периодическим окрашиванием их внутренней полости.

#### Литература

1. Орлова С.С. Дифференциальное исследование кинетики коррозионных процессов в трубопроводах, транспортирующих сточные воды / С.С. Орлова, Т.А. Панкова, А.В. Кочетков // Гидротехническое строительство. 2016. №4. С. 12–19.
2. *Reformatskaya I.I.* Astrakhan – Mangyshlak Water Conduit. The Corrosion State on the Internal Surface and Methods for Its Corrosion Protection. Part I. Corrosion Deposits / I.I. Reformatskaya, I.I. Ashcheulova, G.A. Ivleva, T.S. Taubaldiev, S.K. Murinov, K.Kh. Tastanov, S.G. Prutchenko, D.V. Kostin

- // Protection of Metals. Vol. 38. No. 6. 2002. P. 590–594.
3. *Jepson W.P. et al.* Model for Sweet Corrosion in Horizontal Multiphase Slug Flow / W.P. Jepson et al. // CORROSION/97, paper no. 11 (Houston, TX: NACE, 1997).
  4. *Efird K.D.* Corrosion 50 (1993) / Efird K.D., Wright E.J., Boros J.A., Hailey T.G. P. 81/1–81/21.
  5. *Бейшекеев К.К.* Натурные исследования водораспределительных сооружений на каналах с большими уклонами / К.К. Бейшекеев, Г.С. Аджыгулова, Н.П. Лавров, О.В. Атаманова // Вестник КГУСТА. 2009. № 1. С. 158–166.
  6. *Исабеков Т.А.* Натурные исследования вододелителя для каналов с бурным течением / Т.А. Исабеков, Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова // Вестник КГУСТА. 2012. № 3. С. 227–233.
  7. *Алимбаев Б.А.* Особенности развития коррозии в криволинейных участках стальных труб гидротехнических сооружений / Б.А. Алимбаев, Б.Ж. Манапбаев, Р.Ж. Джанузакова // Известия вузов. Бишкек, 2013. № 2. С. 18–19.
  8. *Аманбаев Е.* Особенности развития коррозии на углах поворотов в трубных стальных конструкциях / Е. Аманбаев, Б.А. Алимбаев, Б.Ж. Манапбаев // Вестник КазГАСА. 2016. Алматы. № 4. С. 71–75.
  9. *Аманбаев Е.* Влияние расположения в плоскости стальных трубных конструкции гидротехнических сооружений на скорость развития коррозии / Е. Аманбаев, Б.А. Алимбаев, Б.Ж. Манапбаев // Вестник КазГАСА. 2018. Алматы. № 1. С. 99–104.
  10. *Алимбаев Б.А.* Повышение надежности металлических конструкций гидротехнических сооружений / Б.А. Алимбаев, Р.Ж. Джанузакова, Б.Ж. Манапбаев. Тараз: Тараз университети, 2018. 110 с.
  11. *Alimbaev B.A.* Colloidal processes in the development of corrosion of steel in metal structures of hydraulic structure / B.A. Alimbaev, B.Zh. Manapbaev, E.N. Amanbaev // Theoretical & Applied Science. «Technology and Education», Materials of the International Scientific Practical Conference, 30.06.2017, Philadelphia, USA. № 06 (50), 2017. P. 173–176.