А. А. Чураев, А. И. Тищенко, Д. А. Осипенко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

К ВОПРОСУ ВЫБОРА СПОСОБА РЕКОНСТРУКЦИИ СТАЛЬНОГО ДЮКЕРА В СЕЛЕ БАРСУКИ РЕСПУБЛИКИ ИНГУШЕТИЯ

Цель: выбор способа реконструкции стального дюкера в селе Барсуки Республики Ингушетия для предотвращения затопления сельской территории. Актуальность вопроса заключается в том, что по территории населенного пункта Барсуки проходит трасса Алханчуртского канала с сопряжением верхнего и нижнего бьефов посредством водопроводящего сооружения трехниточного дюкера. Состояние дюкера предаварийное, в результате чего 24 августа 2019 г. произошел прорыв в оболочке одной из ниток трубы, откуда под напором порядка 3,7 атм аварийный объем воды попал на территорию села Барсуки. **Материалы и методы.** Материалами явились данные натурного обследования внутреннего и внешнего состояния стенок дюкера в конце января 2020 г. В результате обследования было установлено, что внутренняя поверхность двух ниток дюкера находится в предаварийном состоянии. В результате коррозии металла внутри труб обнаружены очаги с пластинчатым отслаиванием стенок трубы и последующим их обрушением. Обработка материала обследования с применением метода статистического анализа. **Результаты и обсуждение.** Обработанные материалы показали, что водопроводящая часть Алханчуртского канала по средней трубе дюкера № 2 находится в предаварийном состоянии. Металлический дюкер диаметром 2 м рассчитан на пропуск воды с расходом 7 кубических метров в секунду. Геодезические исследования трассы дюкера показали, что часть его длиной 497 м имеет угол наклона к горизонту 4,7 градуса, на остальных 79,78 м дюкер проложен под углом 23,9 градуса. **Вывод.** Необходимость выработки мероприятий по защите металлических конструкций от коррозии продиктована тем, что основной ущерб от коррозионных воздействий – это выход из строя значительной части металлических конструкций, так как вследствие коррозии они теряют прочность, надежность и другие необходимые качества. Из числа существующих в настоящее время способов реконструкции стального дюкера больше всего подходит технология холодного обжатия при санации дюкеров полиэтиленовыми трубами.

Ключевые слова: канал; дюкер; коррозия; расход; уклон; длина; вода; износ.

A. A. Churaev, A. I. Tishchenko, D. A. Osipenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ON ISSUE OF CHOOSING THE METHOD OF RECONSTRUCTION OF THE STEEL SYPHON IN BARSUKI VILLAGE IN THE REPUBLIC OF INGUSHETIA

Purpose: to choose a method of steel syphon reconstruction in Barsuki village, Republic of Ingushetia, to prevent flooding of the rural territory. Immediacy of the problem lies in the fact that the Alkhanchurtsky canal with the conjugation of the upstream and downstream

through the water-conveyance structure of a three-ply siphon passes along the territory of Barsuki community. The condition of the syphon is pre-emergency, as a result of which, on August 24, 2019, a breakthrough occurred in the coat of one of the pipe strings where a water emergency volume fell into the territory of the village of Barsuki, under a pressure of about 3.7 atm. **Materials and methods.** The materials were data from a field survey of the internal and external state of the siphon walls at the end of January 2020. As a result of the examination, it was found that the inner surface of the two siphon strings is in a pre-emergency state. As a result of metal corrosion inside the pipes, spots with laminated flaking of the pipe walls and their subsequent collapse were detected. Processing of the survey material was conducted using the method of statistic analysis. **Results and discussion.** The processed materials showed that the water conducting part of the Alkhanchurtsky canal in the siphon middle pipe no. 2 is in pre-emergency condition. A metal siphon with a diameter of 2 m is designed for water passage with a flow rate of 7 cubic meters per second. Geodetic studies of the siphon route showed that its part of 497 m long has an angle of inclination of 4.7 degrees to the horizon, and on the remaining 79.78 m, the siphon is laid at an angle of 23.9 degrees. **Conclusions.** The need to develop measures to protect metal structures from corrosion is caused by the fact that the main damage from corrosive effects is the failure of a significant part of metal structures, since due to corrosion they lose strength, reliability and other necessary qualities. Among currently existing methods for reconstructing a steel pipe, the cold compression technology is the most suitable for the rehabilitation of siphons with polyethylene pipes.

Key words: canal; syphon; corrosion; consumption; slope; length; water; wear.

Введение. В XXI в. на территории некоторых регионов Российской Федерации участились стихийные ситуации, связанные с затоплением населенных мест. Затопление территорий не только наносит материальный ущерб населению, но и приводит к человеческим жертвам. Помимо этого, затопление и подтопление застроенных территорий может произойти в результате прорыва дамб в открытых водоемах и нарушения стенок металлических дюкеров по причине их износа за эксплуатационный период более 50 лет.

Актуальность вопроса заключается в том, что металлический дюкер, состоящий из трех труб большого диаметра, предназначенный для пропуска воды Алханчуртского канала (расходом $7 \text{ м}^3/\text{с}$) и расположенный на территории населенного пункта Барсуки (рисунок 1), находится в предаварийном техническом состоянии. В связи с этим возникла угроза прорыва труб дюкера с затоплением нижележащих территорий. Для предотвращения этой угрозы появилась необходимость в выборе наилучшего способа восстановления первоначального технического состояния сооружения.

Рисунок 1 – Дюкер № 2 на территории населенного пункта Барсуки в Республике Ингушетия (автор фото А. А. Чураев)

Алханчуртский канал построен в целях обводнения и орошения территорий Северной Осетии, Ингушетии и Чечни в Алханчуртской долине. Головное сооружение канала (водозабор) забирает воду из р. Терек. Начальный участок канала длиной 66,4 км разделяется в конце на Западную и Восточную ветви. Общая длина канала вместе с ветвями 182,4 км [1].

Ингушский участок обслуживается ФГБУ «Управление «Ингушмелиоводхоз».

Вблизи дюкера (параллельно ему) проходит трасса внутренней республиканской автодороги Назрань – Грозный, повреждение которой может на длительное время нарушить автомобильное сообщение между городами и селами Северного Кавказа. Из-за неудовлетворительного технического состояния дюкера 24 августа 2019 г. произошел прорыв одной из труб дюкера, что привело к сбросу значительного объема воды в Алханчуртскую долину на территорию села Барсуки (рисунок 2).

Рисунок 2 – Внешний вид поврежденного участка дюкера¹

Предварительно было установлено, что прорыв произошел в результате повреждения коррозией внутренней поверхности металлической трубы. Бригадой специалистов ФГБУ «Управление «Ингушмелиоводхоз» последствия аварии были полностью устранены¹.

Как отмечает А. Н. Кравченко [2], «...на современном этапе в России большинство трубопроводов эксплуатируются со степенью износа 70–80 %. Нормативный срок службы для чугунного трубопровода составляет 20 лет, для стальных – 10–15 лет. В настоящее время всеми видами ремонта восстанавливается всего 1–3 % изношенных труб».

И. В. Семенова [3] отмечает, что «...в Российской Федерации ежегодные потери металла из-за коррозии составляют до 12 % общей массы металлического фонда, что соответствует утрате до 30 % ежегодно производимого металла».

А. Н. Кравченко, И. В. Семенова отмечают, что вопросы защиты металлических конструкций от коррозии волновали еще Геродота в V в.

¹ Евлоев, М. В Ингушетии завершены аварийно-восстановительные работы на поврежденном участке Алханчуртского канала [Электронный ресурс] / М. Евлоев. – Режим доступа: <https://gazetaingush.ru/news/v-ingushetii-zaversheny-avariyno-vostranovitelnye-raboty-na-povrezhdennom-uchastke>, 2020.

до н. э. [2, 3]. Волнуют они и современных ученых [4–12]. В связи с этим на современном этапе имеются следующие методы защиты металла от коррозии [4, 10–12]: легирование, покрытие защитными пленками, грунтовка и фосфатирование, электрохимическая защита, силикатные покрытия, цементные покрытия, покрытие металлами, ингибиторы.

В настоящее время развитие производства достигло таких пределов, что возникли высокие требования к надежности и долговечности работы [13–15] материалов, из которых изготавливаются элементы мелиоративной сети (в частности, наземные и подземные металлические трубопроводы). Для увеличения срока службы стальных трубопроводов имеется значительное число способов их защиты от коррозии. В связи с этим цель исследований состоит в выборе наилучшего способа реконструкции стального дюкера в селе Барсуки Республики Ингушетия.

Материалы и методы. Материалами явились данные натурного обследования и исследования внутреннего и внешнего состояния дюкера в конце января 2020 г., собранные группой научных сотрудников ФГБНУ «РосНИИПМ».

В результате проведенных работ было установлено, что внутреннее состояние двух ниток дюкера является предаварийным. Из-за коррозии металла внутри труб обнаружены очаги с пластинчатым отслаиванием стенок трубы и последующим их обрушением (рисунок 3). Помимо пластинчатых отслаиваний, имеются и точечные повреждения, опасность которых состоит в том, что в результате их появления образуются сквозные поражения (точечные полости) в стенках трубы. Точечная коррозия – одно из наиболее опасных коррозионных поражений.

Растрескивание коррозионных образований происходит из-за одновременного действия на внутреннюю поверхность металлической трубы воды р. Терек, которая по своему химическому составу характеризуется как «довольно жесткая» ($4,9\text{--}5,3 \text{ мг}\cdot\text{экв}/\text{дм}^3$), содержит значительное коли-

чество гидрокарбонатов (194–197 мг/дм³) [16], а также динамических нагрузок при движении воды. В связи с этим в металлической оболочке появляются волосяные трещины, которые зачастую являются источником, приводящим к полному разрушению конструкции.

**Рисунок 3 – Коррозия металла внутренней поверхности трубы дюкера:
1 – пластинчатая коррозия; 2, 3, 4, 5 – точечная коррозия
(автор фото А. А. Чураев)**

С целью определения геометрических параметров дюкера и его положения на местности применен комплект геодезического оборудования (электронный тахеометр, вехи с установленными на них отражателями, рулетки и др.). Вехи устанавливались в характерных точках данного сооружения для определения их планового и высотного положения. В даль-

нейшем при камеральной обработке результатов полевых измерений были построены продольные профили двух веток дюкера, вычислены превышения между точками, определены уклоны и длины отдельных участков и другие параметры сооружения.

Наиболее простой и часто применяемый способ натурного исследования – это массовый способ, который был применен на данном объекте. Известными данными являются: труба стальная электросварная из углеродистой стали (марки Ст3) по ГОСТ 10706, ТУ 1381-001-62594197-2011 с внешним диаметром $D = 2020$ мм, толщиной стенки трубы $\delta = 14$ мм, объемной массой стали $\gamma = 7850$ кг/м³, площадь испытываемой поверхности $S = 150 \times 150$ мм = 22500 мм². Таких площадок было намечено 20 шт. (через каждые 25 м длины трубы дюкера).

Анализ результатов натурного обследования и исследования проводился с применением метода статистического анализа данных. Цифровой материал оформлен в виде таблицы, на основании данных которой построен график для получения эмпирической зависимости распределения оставшейся толщины стенки по участкам дюкера после коррозионных процессов.

Результаты и обсуждение. В результате обработки полученных данных было установлено, что водопроводящая часть Алханчуртского канала по средней трубе дюкера № 2 находится в предаварийном состоянии. Геодезические исследования трассы дюкера позволили установить, что часть трубы длиной 497 м имеет геодезический угол наклона к горизонту 4,7°, на остальных 79,78 м дюкер проложен под углом 23,9°. Такой угол превышает угол наклона, рекомендуемый нормативными документами [10].

Измерения толщины стенок трубы показали, что в результате действия коррозии остаточная толщина неповрежденных стенок трубы на период обследования составляла от 2 до 2,5 мм. Причиной образования такой водно-воздушной коррозии явился процесс эксплуатации сооружения.

В поздневесенний, летний и раннеосенний периоды дюкер наполнен водой с давлением около 3,7 атм, а в остальные периоды он освобожден от воды и подвергается воздушному воздействию на внутреннюю часть трубы.

Поэтому разрушение металла произошло из-за коррозии, вызванной воздействием транспортируемой воды, а также внешними атмосферными явлениями, при которых металл окисляется, в связи с чем теряет свои первоначальные свойства [4]. Увеличение коррозии происходило и за счет изменения температуры воздуха и металла. Помимо этого, на образование коррозии влияет степень агрессивности среды по отношению к конструктивным металлическим элементам, находящимся на открытом воздухе. Ввиду незащищенности от непосредственного влияния атмосферных осадков, определяемого климатической зоной и концентрацией газов и пыли в воздухе [5–9], металлические конструкции теряют свои прочностные свойства.

Коррозионное воздействие на металлические конструкции характеризуется скоростью коррозии, которая зависит от ряда одновременно действующих факторов, разделяющихся на внутренние и внешние. Внутренними факторами являются: марка стали, технология ее изготовления, тип структуры, состояние поверхности (высота выступов эквивалентной шероховатости). Внешними факторами являются: химический состав воды, характеристики движения потока (скорость течения, статическое и гидродинамическое давление на стенки трубы, температура воды и др.). Скорость коррозии выражается разными способами.

На каждой площадке была зафиксирована толщина стенки в момент обследования (таблица 1, рисунок 4).

Таблица 1 – Размещение фактических фиксированных толщин стенки дюкера по его длине

Расстояние L , м	25	50	75	100	125	150	175	200	225
Толщина стенки δ , мм	3,0	2,97	2,90	2,85	2,79	2,75	2,70	2,65	2,60

Продолжение таблицы 1

250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	497
2,55	2,49	2,43	2,40	2,35	2,29	2,24	2,20	2,10	2,05	2,00

Рисунок 4 – График зависимости оставшейся толщины стенки по участкам дюкера в результате коррозионных процессов

В результате компьютерной обработки полученных данных была установлена зависимость толщины стенок дюкера от линейного расстояния между начальным створом сооружения и исследуемой точкой. График, приведенный на рисунке 4, имеет прямую линию, которая описалась следующим уравнением:

$$\delta = -0,0021L + 3,0646,$$

где δ – толщина стенки дюкера (мм) в данной точке графика;

– 0,0021 – коэффициент при параметре L , безразмерный;

L – расстояние от входного отверстия дюкера до данной точки, м;

3,0646 – свободный коэффициент линейной зависимости, мм.

Расчетная величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9981$.

Полученные сведения указывают на постепенное уменьшение толщины стенок металлического трубопровода в зависимости от расстояния между входом в дюкер и исследуемыми участками. Это обусловлено возрастающим давлением воды на внутреннюю поверхность стенок дюкера и более интенсивным воздействием на нее абразивных частиц, содержащихся в движущихся массах воды, что, в свою очередь, способствует более интенсивному развитию коррозионных процессов.

Чтобы продлить срок действия конструкций из металла, применяют различные способы защиты от коррозии. В настоящее время применяются бестраншейные методы ремонта и реконструкции дюкеров [2, 17, 18], с применением ингибиторов, наносимых на поверхность конструкции для улучшения функциональных свойств металла [19–23].

На современном этапе для металлических изделий внедряются покрытия, приготовленные на водной основе. Эти антикоррозионные средства уже успели себя зарекомендовать с положительной стороны: они не уступают по качеству известным различным покрытиям на других основах, являются долговечными и цена их намного ниже других средств. Главный плюс антикоррозионного средства на водной основе состоит в том, что это средство является экологически чистым. Оно практически не имеет запаха, не испускает вредных паров. При нанесении таких средств на покрываемые поверхности исключается необходимость в использовании специальной защиты.

Кроме красок на водной основе уже существуют и разрабатываются новые вещества, такие как водные отвердители и смолы.

Для восстановления дюкера № 2, увеличения его надежности и prolongирования срока эксплуатации на несколько десятков лет необходимо выбрать такой способ реконструкции, который позволил бы реанимировать трубу дюкера в кратчайшие сроки и с меньшими материальными и денежными затратами.

В первую очередь желательно очистить трубы от образовавшейся коррозии, подготовив их к дальнейшим защитным мероприятиям. Пескоструйная обработка труб, которая решает все задачи подготовки внутренней поверхности дюкера за одну операцию, для дюкера № 2 неприемлема.

Вопрос заключается в том, что при очистке от коррозии при толщине стенки на участках трубы в 2 мм может произойти полное истирание стенки. Такая ситуация влечет за собой увеличенные затраты на ремонт.

В последние годы для ремонта изношенных дюкеров стал применяться метод протягивания полимерных труб в существующий дюкер. Диаметр полимерных труб незначительно меньше, чем внутренний диаметр трубы дюкера, или практически одинаков с ним. Перед протягиванием полимерная труба предварительно сжимается, а по окончании протягивания получает последующее естественное расширение. Установка полимерной трубы приводит к небольшому сужению поперечного сечения, компенсирующемуся небольшим увеличением скорости за счет того, что коэффициент шероховатости полимерной трубы меньше, чем металлической.

В настоящее время предложен новый метод восстановления трубопроводов большого диаметра и дюкеров (рисунок 5).

Рисунок 5 – Мягкий полиэфирный рукав²

Сущность метода заключается в том, что в трубе дюкера прокладывается мягкий полиэфирный рукав², предварительно пропитанный полиэфирной, эпоксидной или винилэстровой смолой. Начало рукава прикрепляется к входному отверстию дюкера, а остальная часть рукава проталкивается в трубу. Конец рукава должен быть загерметизирован. После этого рукав наполняется водой, под действием которой он постепенно начинает

² Технология восстановления дюкеров с помощью двухслойных полимерных конструкций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ros-pipe.ru/courses/stroitelstvo-remont-truboprovodov/tekhnologiya-vosstanovleniya-dyukerov-s-pomoschyu-/>, 2020.

выворачиваться в старом трубопроводе по направлению к выходному отверстию дюкера. Спустя некоторое время происходит полное выворачивание рукава при достижении рукавом конца трубопровода.

Этот способ также не подходит для реконструкции дюкера № 2. Ситуация заключается в том, что для достижения полимеризации вода в вывернутом рукаве должна быть подогрета до температуры около 95 °С. Такая температура воды должна поддерживаться от 6 до 24 ч в зависимости от типа смолы и условий проведения работ. К этому следует добавить, что данный способ применим для реконструкции труб, длина которых меньше 300 м.

В последние годы для ремонта стальных дюкеров нашла применение технология холодного обжатия при санации дюкеров полиэтиленовыми трубами в Москве, Твери и ряде других городов.

В данной технологии ремонт существующих трубопроводов осуществляется с применением полиэтиленовых труб со стандартным значением SDR. Наружный диаметр этих труб должен быть равным (или немного больше) внутреннему диаметру трубы дюкера, в который должна поместиться вставляемая труба.

Сущность данного метода состоит в следующем. Полиэтиленовую трубу предварительно сваривают в плетъ. После этого ее обжимают с помощью специальной установки до такой степени, чтобы ее наружный диаметр уменьшился на 7–10 %. Несмотря на эту операцию, сечение обработанной трубы не меняет свою конфигурацию, остается круглым. В этой форме уменьшенный диаметр сохраняется продолжительное время, необходимое и достаточное, чтобы труба была подготовлена к протяжке. К этому обжатому участку полиэтиленовой трубы для стыковки очередного отрезка свободно, без негативных последствий может применяться операция стыкового соединения с помощью устройства для сварки полиэтилена.

Полиэтиленовая плетъ, получившая обжатие, протягивается внутрь восстанавливаемого дюкера любым способом, с помощью трактора или

при помощи лебедки. После этого внутрь трубы под давлением подается холодная вода. Благодаря этому полиэтиленовая труба расширяется, достигая первоначального диаметра, и плотно прилегает к стенкам трубы изношенного дюкера.

Минимальное время для восстановления исходного диаметра (реверсии) – 12 ч. За это время в материале трубы происходит восстановление внутренних напряжений.

При срочной необходимости данный способ позволяет за одну протяжку осуществить восстановление участка трубопровода длиной до 1,5 км. Приведенная технология имеет ряд преимуществ перед технологиями, приведенными выше. Ими являются [24]:

- возможность остановки и возобновления процессов обжата и протяжки в любой момент, без ущерба и проведения дополнительных мероприятий;

- благодаря плотному прижатию полиэтиленовой трубы к внутренней поверхности существующего трубопровода отпадает необходимость в устройстве «неподвижных опор». Этот способ не требует проведения дополнительных мероприятий по компенсации линейных расширений трубы в результате сезонных колебаний температуры. При этом способе отсутствует нагрузка на трубопроводную арматуру и фасонные части;

- сечение исходного трубопровода после восстановления уменьшается только на толщину стенки используемой полиэтиленовой трубы, благодаря чему увеличивается или как минимум сохраняется его исходная пропускная способность.

Выводы

1 Материалы и создание методов защиты от коррозии имеют первостепенную значимость для народного хозяйства, так как в Российской Федерации ежегодные потери металлов из-за их коррозии составляют до 12 % общей массы металлического фонда, что соответствует утрате до 30 %

ежегодно производимого металла. Снижение надежности стальных дюкеров вследствие их коррозионного износа приводит к созданию чрезвычайных ситуаций и нарушению экологического состояния мест их размещения.

2 Необходимость выработки мероприятий по защите металлических конструкций от коррозии продиктована тем, что основной ущерб от коррозионных воздействий – это выход из строя значительной части металлических конструкций, так как вследствие коррозии они теряют прочность, надежность и другие необходимые качества.

3 Методов борьбы с коррозией достаточно много, но для металлических дюкеров с потерей толщины стенок трубы 70 % и более подходит незначительная часть. Из приведенных выше мероприятий следует отметить метод прокладки в трубе дюкера мягкого полиэфирного рукава. Единственным недостатком этого метода является нагрев воды в рукаве до 95 °С с сохранением такой температуры от 6 до 24 ч.

4 Из числа существующих в настоящее время способов реконструкции стального дюкера больше всего подходит технология холодного обжата при санации дюкеров полиэтиленовыми трубами. Данный способ при срочной необходимости позволяет за одну протяжку осуществить восстановление участка трубопровода длиной до 1,5 км.

Список использованных источников

1 Алханчуртский канал [Электронный ресурс] / Д. В. Козлов, А. Н. Данильченко, И. В. Корнеев, С. А. Максимов. – Режим доступа: https://water-ef.ru/Водные_объекты/881/Алханчуртский_канал, 2019.

2 Кравченко, А. Н. Инженерно-геологическое обоснование перспектив применения бестраншейных технологий прокладки дюкеров / А. Н. Кравченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2007. – № 6. – С. 103–106.

3 Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семенова, А. В. Хорошилов, Г. М. Флорианович. – М.: Физматлит, 2010. – 416 с.

4 Коррозия металлов и современные меры борьбы с ней в вооруженных силах Российской Федерации / В. А. Филонова, Е. А. Фроловичева, В. В. Шеина, Е. Н. Френкель // Студенческий научный форум – 2015: материалы VII Междунар. студен. науч. конф. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2015/15320.pdf>.

5 Мухин, В. А. Коррозия и защита металлов: учеб.-метод. пособие / В. А. Мухин. – Омск: Омск. гос. ун-т, 2004. – 112 с.

6 Ромейко, В. С. Защита трубопроводов от коррозии / В. С. Ромейко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ВНИИПМ, 2002. – 218 с.

7 Коррозия металлов / О. А. Чепкасова, А. А. Селезнева, А. И. Садилов, С. В. Хмелев // Молодой ученый [Электронный ресурс]. – 2015. – № 23. – С. 260–261. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/103/23845/>.

8 Ashworth, V. Principles of cathodic protection / V. Ashworth // Shreir's Corrosion. – 2010. – Chap. 4.18. – P. 2747–2762.

9 Huang, Y. Experimental study on seawater-pipeline internal corrosion monitoring system / Y. Huang, D. Ji // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2008. – Vol. 135, iss. 1. – P. 375–380. – DOI: 10.1016/j.snb.2008.09.008.

10 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*: СП 16.13330.2011: утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 27.12.10. – М.: ЦПП, 2011. – 172 с.

11 Инженерные конструкции: учебник / В. В. Ермолов, Н. В. Лебедева, Г. П. Макаров, В. Н. Голосов; под ред. В. В. Ермолова. – М.: Архитектура-С, 2007. – 406 с.

12 Металлические конструкции: учеб. для вузов / Ю. И. Кудишин, Е. И. Беленя, В. С. Игнатьева, А. Б. Пуховский, Г. С. Ведеников, Б. Ю. Уваров, С. М. Астрыб, В. Н. Валь, Ю. В. Соколов, Т. Н. Морачевский, Д. Н. Стрелецкий; под ред. Ю. И. Кудишина. – 13-е изд., испр. – М.: Академия, 2011. – 680 с.

13 Методические указания по выбору комплекса уходовых эксплуатационных работ при аварийных сбросах магистральных каналов оросительных систем в зависимости от характеристик объекта-представителя / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, Ю. Ф. Снопич, П. В. Калинин, Н. А. Антонов, М. А. Ляшков, А. О. Матвиенко; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2015. – 40 с.

14 Васильев, С. М. Регулирование управленческих процессов в структурированных проблемных ситуациях АПК / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 4. – С. 12–13.

15 Щедрин, В. Н. Новая стратегия оросительных мелиораций – циклическое орошение / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Т. П. Андреева // Вопросы мелиорации. – 2008. – № 3–4. – С. 7–20.

16 Химизм воды бассейна р. Терек / А. Б. Иттиев, М. Б. Биттиров, М. Х. Казанчев, М. К. Курманова // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 1. – С. 114–119.

17 Храменков, С. В. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов. – М.: Прима-Пресс, 2002. – 283 с.

18 Ладыгин, И. В. Есть ли бестраншейные технологии в России / И. В. Ладыгин // Трубопроводы и экология. – 2001. – № 4. – С. 25–28.

19 Чиркунов, А. А. Защита металлов и сплавов от коррозии ингибиторами полимерного типа / А. А. Чиркунов, Ю. И. Кузнецов // Актуальные вопросы авиационного материаловедения: тез. докл. междунар. конф. – М.: ВИАМ, 2007. – С. 151–152.

20 Richardson, J. A. Corrosion in the process industries / J. A. Richardson, R. Cottis // Encyclopedia of Chemical Processing. – N.-Y., London, 2006. – Vol. 1. – P. 549–561.

21 Вигдорович, В. И. Связь природы составов на базе ряда ПАВ в алканах C₈–C₁₅ с их водопоглощением и защитной эффективностью при коррозии углеродистой стали / В. И. Вигдорович, Е. Д. Таныгина, О. С. Петрова // Химия и химическая технология. – 2004. – № 3(47). – С. 14–20.

22 Вигдорович, В. И. Диметилалкилбензиламмонийхлорид как универсальный ингибитор коррозии и наводороживания углеродистой стали Ст3 в средах, содержащих H₂S и CO₂ / В. И. Вигдорович, С. Е. Синютина, Л. А. Раева // Химия и химическая технология. – 2008. – № 3(51). – С. 77–82.

23 Антикоррозионные свойства покрытий на основе фосфатов / М. Ж. Жуманиязов, Н. Х. Юлдашев, Б. Д. Дюсебеков, О. Ф. Ходжаев // Узбекский химический журнал. – 2003. – № 2. – С. 47–51.

24 Агапчев, В. И. Восстановление изношенных трубопроводов путем введения в

них пластмассовых труб / В. И. Агапчев, Н. Г. Пермяков // Прикладная синергетика и проблемы безопасности: сб. науч. тр. – Уфа: Уфим. полиграфкомб., 2003. – С. 43–47.

References

- 1 Kozlov D.V., Danil'chenko A.N., Korneev I.V., Maksimov S.A., 2019. *Alkhan-churtskiy kanal* [Alkhanchurtsky Canal], available: https://water-rf.ru/Водные_объекты/881/Алханчуртский_канал. (In Russian).
- 2 Kravchenko A.N., 2007. *Inzhenerno-geologicheskoe obosnovanie perspektiv primeneniya bestransheynnykh tekhnologiy prokladki dyukerov* [Geotechnical substantiation of the prospects for the use of trenchless technologies for laying siphons]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. Moscow, MGGU Publ., no. 6, pp. 103-106. (In Russian).
- 3 Semenova I.V., Khoroshilov A.V., Florianovich G.M., 2010. *Korroziya i zashchita ot korrozii* [Corrosion and Corrosion Protection]. Moscow, Fizmatlit Publ., 416 p. (In Russian).
- 4 Filonova V.A., Frolovicheva E.A., Sheina V.V., Frenkel' E.N., 2015. *Korroziya metallov i sovremennye mery bor'by s ney v vooruzhennykh silakh Rossiyskoy Federatsii* [Corrosion of metals and modern measures to combat it in the armed forces of the Russian Federation]. *Studencheskiy nauchnyy forum – 2015: materialy VII Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii* [Student Scientific Forum-2015: Proc. VII International Student Scientific Conference], available: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2015/15320.pdf>. (In Russian).
- 5 Mukhin V.A., 2004. *Korroziya i zashchita metallov: ucheb.-metod. posobie* [Corrosion and Metal Protection: textbook]. Omsk, Omsk State University, 112 p. (In Russian).
- 6 Romeyko V.S., 2002. *Zashchita truboprovodov ot korrozii* [Protection of Pipelines Against Corrosion]. 2nd ed., Moscow, VNIIPM Publ., 218 p. (In Russian).
- 7 Chepkasova O.A., Selezneva A.A., Sadilov A.I., Khmelev S.V., 2015. *Korroziya metallov* [Metal corrosion]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], no. 23, pp. 260-261, available: <https://moluch.ru/archive/103/23845/>. (In Russian).
- 8 Ashworth V., 2010. Principles of cathodic protection. Shreir's Corrosion, chap. 4.18, pp. 2747-2762.
- 9 Huang Y., Ji D., 2008. Experimental study on seawater-pipeline internal corrosion monitoring system. *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 135, iss. 1, pp. 375-380, DOI: 10.1016/j.snb.2008.09.008.
- 10 SP 16.13330.2011. *Stal'nye konstruksii* [Steel Structure]. Moscow, TsPP, 2011, 172 p. (In Russian).
- 11 Ermolov V.V., Lebedeva N.V., Makarov G.P., Golosov V.N., 2007. *Inzhenernyye konstruksii: uchebnik* [Engineering Structures: a textbook]. Moscow, Architecture-S Publ., 406 p. (In Russian).
- 12 Kudishin Yu.I., Belenya E.I., Ignat'eva V.S., Pukhovskiy A.B., Vedenikov G.S., Uvarov B.Yu., Astryab S.M., Val' V.N., Sokolov Yu.V., Morachevsky T.N., Streletsky D.N., 2011. *Metallicheskie konstruksii: uchebnik dlya vuzov* [Metal Structures: textbook for universities]. 13th ed., Moscow, Academy Publ., 680 p. (In Russian).
- 13 Vasiliev S.M., Domashenko Yu.E., Snipich Yu.F., Kalinin P.V., Antonov N.A., Lyashkov M.A., Matvienko A.O., 2015. *Metodicheskie ukazaniya po vyboru kompleksa ukhodnykh ekspluatatsionnykh rabot pri avariynnykh sbrosakh magistral'nykh kanalov orositel'nykh sistem v zavisimosti ot kharakteristik ob"ekta-predstavitelya* [Guidelines for the Selection of a Complex of Maintenance Operations During Emergency Discharges of the Main Irrigation Channels Depending on Characteristics of the Representative Object]. FSBSE RSRILIP, Novocherkassk, 40 p. (In Russian).
- 14 Vasiliev S.M., Domashenko Yu.E., 2016. *Regulirovanie upravlencheskikh protsessov v strukturirovannykh problemnykh situatsiyakh APK* [Regulating managerial processes in struc-

turized problematic situations of agro-industrial complexes]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bull. of Russian Agricultural Science], no. 4, pp. 12-13. (In Russian).

15 Schedrin V.N., Vasiliev S.M., Andreeva T.P., 2008. *Novaya strategiya orositel'nykh melioratsiy – tsiklichesкое oроshenie* [A new strategy for irrigation reclamation – cyclic irrigation]. *Voprosy melioratsii* [Issues of Land Reclamation], no. 3-4, pp. 7-20. (In Russian).

16 Ittiev A.B., Bittirov M.B., Kazanchev M.Kh., Kurmanova M.K., 2008. *Khimizm vody basseyna r. Terek* [Water chemistry of the river basin Terek]. *Vestnik KrasGAU* [Bull. KrasGAU], no. 1, pp. 114-119. (In Russian).

17 Khramenkov S.V., Primin O.G., Orlov V.A., 2002. *Bestransheynye metody vosstanovleniya truboprovodov* [Trenchless Methods of Pipeline Restoration]. Moscow, Prima-Press Publ., 283 p. (In Russian).

18 Ladygin I.V., 2001. *Yest' li bestransheynye tekhnologii v Rossii* [Are there trenchless technologies in Russia]. *Truboprovody i ekologiya* [Pipelines and Ecology], no. 4, pp. 25-28. (In Russian).

19 Chirkunov A.A., Kuznetsov Yu.I., 2007. *Zashchita metallov i spлавov ot korrozii inhibitorami polimernogo tipa* [Protecting metals and alloys from corrosion by polymer type inhibitors]. *Aktual'nye voprosy aviatsionnogo materialovedeniya: tezisы dokldov mezhdu-narodnoy konferentsii* [Actual Issues of Aviation Materials Science: Abstracts of International Conference]. Moscow, VIAM Publ., pp. 151-152. (In Russian).

20 Richardson J.A., Cottis R., 2006. Corrosion in the process industries. Encyclopedia of Chemical Processing. New York, London, vol. 1, pp. 549-561.

21 Vigdorovich V.I., Tanygina E.D., Petrova O.S., 2004. *Svyaz' prirody sostavov na baze ryada PAV v alkanakh S₈–S₁₅ s ikh vodopogloshcheniem i zashchitnoy effektivnost'yu pri korrozii uglerodistoy stali* [The relationship between the nature of compounds based on a number of SAS in C₈–C₁₅ alkanes with their water absorption and protective efficiency in carbon steel corrosion]. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Chemistry and Chemical Technology], no. 3(47), pp. 14-20. (In Russian).

22 Vigdorovich V.I., Sinyutina S.E., Raeva L.A., 2008. *Dimetilalkilbenzylammoniykhlорid kak universal'nyy inhibitor korrozii i navodorozhivaniya uglerodistoy stali St3 v sredakh, sodержashchikh N₂S i CO₂* [Dimethylalkylbenzylammonium chloride as a universal inhibitor of corrosion and hydrogenation of St3 carbon steel in media containing H₂S and CO₂]. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Chemistry and Chemical Technology], no. 3(51), pp. 77-82. (In Russian).

23 Zhumaniyazov M.Zh., Yuldashev N.Kh., Dyussebekov B.D., Khodzhaev O.F., 2003. *Antikorrozionnye svoystva pokrytiy na osnove fosfatov* [Anticorrosion properties of coatings based on phosphates]. *Uzbekskiy khimicheskiy zhurnal* [Uzbek Chemical Journal], no. 2, pp. 47-51. (In Russian).

24 Agapchev V.I., Permyakov N.G., 2003. *Vosstanovlenie iznoshennykh truboprovodov putem vvedeniya v nikh plastmassovykh trub* [Repair of worn pipelines using inner plastic pipes]. *Prikladnaya sinergetika i problemy bezopasnosti: sbornik nauchnykh trudov* [Proc. Applied Synergetics and Safety Problems]. Ufa, Ufa Polygraphcomb. Publ., pp. 43-47. (In Russian).

Чураев Александр Анатольевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: заместитель директора по внедрению

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Churaev Aleksandr Anatolyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Deputy Director for Implementation

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Тищенко Александр Иванович

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: Aleks.tishencko2016@mail.ru

Tishchenko Aleksandr Ivanovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: Aleks.tishencko2016@mail.ru

Осипенко Дмитрий Александрович

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Ученое звание: доцент

Должность: научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: oda_74@mail.ru

Osipenko Dmitriy Aleksandrovich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Title: Associate Professor

Position: Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: oda_74@mail.ru

Поступила в редакцию 21.05.2020

После доработки 22.06.2020

Принята к публикации 30.06.2020