

О.Н. ЧЕРНЫХ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

А.В. БУРЛАЧЕНКО

АО «Мерседес-Бенц РУС», г. Москва, Российская Федерация

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА ТРУБЧАТЫХ ПЕРЕХОДОВ НА НЕРЕСТОВЫХ ВОДОТОКАХ

Приводятся и обсуждаются результаты модельных исследований водопропускных переходов из металлических гофрированных труб (МГК) с нормальной (МГТ) и спиральной формой гофра (СМГТ). Дается сравнительная оценка использования водопропускных труб из гофрированного металла и гладких бетонных труб. Отмечается, что трубы из МГК имеют преимущество не только по технико-экономическим показателям, но и по условиям гидравлической работы. Для сокращения сроков строительства и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду предлагается использовать инновационные конструкции водопропускных труб из гофрированного металла со спиральной формой гофра (СМГТ). Представлены результаты экспериментальных гидравлических исследований труб из МГК по оценке глубин и скоростей на выходе из круглых труб для разных режимов работы, при отсутствии и наличии защитного лотка в донной части МГТ и СМГТ. Отмечены определяющие факторы, влияющие на правильную установку трубчатых переходов на нерестовых водотоках и их воздействие на рыб, обеспечивающие экологическую безопасность водопропускных сооружений из металлического гофрированного металла. Даны рекомендации по обеспечению преодоления рыбами перепада и скоростного напора при установке труб из МГК. Полученные данные о скорости на транзитной части водопропускного сооружения представляют интерес при решении задач по свободному проходу рыб через искусственные препятствия вверх по течению и проектировании кульвертов. Отмечено, что современные конструктивные решения водопропускных сооружений из гофрированного металла отличаются от применявшихся ранее и не прошли экспериментального обоснования (дно с различным типом крепления и шероховатостью, входные и выходные оголовки миксированных очертаний, разные конструктивные схемы устройств нижнего бьефа за многоочковыми переходами, изменение уклона, типа и габаритов гофра МГК, разнообразие форм их поперечного сечения и пр.). Обоснована необходимость разработки рекомендательной и нормативной литературы по расчёту, проектированию и эксплуатации МГТ и СМГТ и соблюдения соответствия строительных (геометрических, показателей надёжности и безопасности и пр.) и гидравлических показателей сооружениям рыбохозяйственной гидротехники.

Водопропускные переходы, металлические гофрированные трубы с нормальным и спиральным гофром, нерестовый водоток, экологическая безопасность, скорость и глубина на выходе из труб.

Введение. В Российской Федерации, как и во многих странах мира, для пропуска поверхностных вод под железными и автомобильными дорогами используются металлические гофрированные трубы (МГК или МГТ). На автомобильных дорогах России при пересечении ими водотоков с расходами от 5 до 90 м³/с, как правило, сооружают водопропускные трубы больших отверстий, малые и средние мосты, количество которых доходит до 25% от общего количества всех искусственных сооружений. По сравнению

с железобетонными, наиболее часто для этой цели в гидротехническом, мелиоративном и природоохранном строительстве используют трубы из гофрированного металла. Они имеют ряд достоинств, таких как [1, 2]:

- высокая экономическая эффективность, достигаемая за счёт сокращения транспортных расходов и за счёт отказа от громоздких железобетонных оголовков и бетонных фундаментов под тело труб (на 20...40%);
- релининг малых мостов и трубчатых переходов без остановки движущегося

транспортного потока, и вскрытия существующей насыпи [3, 4];

- простота сборки (на сборку труб из МГК уходит в 3...5 раз меньше времени), не требующая большого количества и высокой квалификации рабочих;

- быстрые темпы строительства (рис. 1);

- экологичность и долговечность используемых конструктивных элементов (до 50...100 лет) при обеспечении гарантированной защиты МГТ от абразивного разрушения водным потоком [5, 6].

Кроме современных средств защиты от коррозии в виде полимерных покрытий

применяется специальное конструктивное оформление придонной части МГТ: на дне в соответствии с ОДМ должен быть устроен гладкий бетонный или асфальтобетонный лоток толщиной 0,1...0,3 м, а на зарыблённых водных объектах – каменная наброска либо укладка габионных матрасов Рено или Джамбо по слою геотекстиля на песчаной подушке толщиной 0,05...0,5 м [7]. Лоток защищает антикоррозионное покрытие труб от истирания взвесьями, содержащимися в водном потоке, а на нерестовом водотоке позволяет сохранить природные условия обитания рыб.



Рис. 1. Двухочковые гофрированные трубы CSP диаметром $d = 3$ м, заменившие 4-х очковый трубчатый переход из железобетона ($d = 1,2$ м) за 1 неделю на нерестовом водотоке: р. Бивер-Крик – приток р. Миссури, округ Эммонс, штат Нью-Йорк, США, проект TrueNorth Steel, 2019 г.

Отмеченные преимущества труб из металлических гофрированных конструктивных элементов (МГК) по сравнению с бетонными гладкими трубами [8] в полной мере могут быть оптимальными в условиях нерестовых водотоков [9]. При этом важно при проектировании принять правильно подобранные размеры кульвертов, являющиеся гарантией их качественного функционирования на весь период эксплуатации. В течение всего периода эксплуатации расчётная скорость течения в трубе должна оставаться равной скорости течения в естественных условиях.

Материалы и методы исследований.

Выполненные за последнее десятилетие гидравлические исследования гофрированных труб в России [10-12] и за рубежом показали, что при безнапорном и полунпорном режимах пропускная способность их даже после релининга несколько выше (в среднем на 5...7%), чем гладких. Объясняется это тем, что шероховатость внутренней поверхности транзитной части трубы не оказывает влияния на гидравлическую работу её при этих режимах (при уклонах $i > 0,01$).

В то же время гофр обеспечивает скругление острых кромок входного оголовка, что и увеличивает пропускную способность.

Повышенная шероховатость гофрированной трубы и улучшенные условия входа [13] способствуют тому, что даже при больших уклонах ($i = 0,1$) она достаточно плавно заряжается и устойчиво работает в напорном режиме. Хотя пропускная способность трубы из МГК при первом частично-напорном и напорном режимах существенно меньше, чем гладкой бетонной, это, однако, не свидетельствует о нецелесообразности применить гофрированную трубу, если расчётным является напорный режим.

Обеспечить устойчивый напорный режим в гладкой трубе затруднительно, поскольку зарядка гладкостенной трубы с обычными типами входного оголовка даже при малом уклоне наступает при больших напорах. Кроме того, не определено наступление момента зарядки, так как при зарядке происходит резкое увеличение пропускной способности трубы и горизонт воды в верхнем бьефе срабатывается, что часто приводит к разрядке трубы и возникновению

неустойчивого режима с периодической сменной режимов. Применение специальных типов оголовков, обеспечивающих зарядку гладкой трубы при любом уклоне и малых напорах, также не решает вопроса полностью – в трубе формируется переходный момент, осложняющий работу трубы и нижнего бьефа. Работа гладкой трубы в напорном режиме, кроме того, осложняется наличием на входном участке вакуума, усиливающего воронкообразование в верхнем бьефе, что нарушает устойчивую работу трубы, осложняет работу стыковых соединений и часто приводит к срыву напорного режима. Поэтому гладкие трубы обычно не проектируют на работу в напорном режиме без специального обоснования из-за трудности его обеспечения или поддержания, если в трубе наблюдается вакуум.

Кульверты в США на нерестовых водотоках обычно проектируются на пропуск расчетного расхода в безнапорном и полунпорном режимах (inlet control) с условием обеспечения возможности прохождения рыбы против течения по трубе. Величина скорости течения воды на выходе из водопропускной трубы должна быть близка к скорости потока в зарыбленном водотоке. Если скорость на выходе из водопропускной трубы превышает максимальную, то рыба не сможет преодолеть течение и зайти в МГТ, т.е. для обеспечения спокойного выхода рыбы из МГТ скорости течения воды у выходного отверстия должны быть по возможности невысокими.

Результаты исследований. Гофрированные трубы с нормальным и, особенно, со спиральным гофром (МГТ и СМГТ) лишены указанных недостатков. Зарядка происходит плавно со всеми типами оголовков, вакуум в трубах длиной $l \geq 7d$ с малым уклоном ($i = 0,014 \dots 0,03$) отсутствует, а при большом уклоне $i > 0,01$ и $l < 14d$ наблюдается только при малых затоплениях входного оголовка. Воронкообразование сильно ослаблено или вообще не наблюдается.

Вследствие повышенной шероховатости стенок гофрированной трубы её пропускная способность при напорном режиме определяется сопротивлениями по длине, которые существенно превышают сопротивления на вход и выход из трубы. Выполненные в гидравлической лаборатории МАДИ экспериментальные исследования [8, 14] позволили получить коэффициенты сопротивления по длине λ на вход и глубины на выходе

из обеих моделей труб из МГК. При этом установлено, что для моделей разных масштабов если значения коэффициентов λ существенно различались, то коэффициенты сопротивления на вход (безоголовочная труба) и глубины на выходе были практически одинаковыми и их значения были связаны с конструктивным оформлением транзитной части водопропускного тракта [5, 6].

Сопоставление скоростей потока на выходе из гладкой и гофрированной труб показывает, что при безнапорном и полунпорном режимах их значения близки только при уклоне $i = 0,01$ и параметре расхода $\theta = \frac{Q}{\sqrt{g}d_p^{5/2}}$ менее 0,7 (d_p – расчётный диаметр моделей), а при $i = 0,03$ и 0,01 у гофрированной трубы скорость меньше. При $i = 0,03$ для безнапорного режима уменьшение достигает 18%, полунпорного – 13%. При $i = 0,1$ при всех режимах и параметрах расхода уменьшение скорости для безнапорного и полунпорного режимов значительно и достигает соответственно 50% и 38%, а для первого частично-напорного режима (когда большая часть трубы со стороны входного оголовка работает напорно, а на концевом участке – безнапорное движение) – 30%. При этом надо учитывать, что наличие противозерозионного гладкого лотка по дну в МГТ может увеличить пропускную способность таких сооружений при безнапорном и полунпорном режимах соответственно на 10% и 14...18% по сравнению с существующими рекомендациями для труб из МГК без гладкого лотка. Таким образом, при $i > 0,01$ в целом установлено, что средняя скорость на выходе у гофрированной трубы меньше, чем у гладкой при всех режимах её работы. Это позволяет при проектировании сократить длину крепления отводящего русла за гофрированной трубой, выбрать оптимальный и более простой тип укрепления защиты нижнего бьефа от размыва и более корректно определить гидравлические характеристики потока на укреплении концевой части трубчатого перехода [13].

Сопоставление пропускной способности, гладкой и гофрированной труб, а также скоростей на выходе представлены на рисунке 2 (расчёт гофрированной трубы выполнялся по рекомендациям работы [14], а гладкой трубы – по [13]). При расчётах принималось, что после затопления входного оголовка (безоголовочная труба) гладкая труба работает в полунпорном режиме, а гофрированная – заряжается и работает последовательно

(с увеличением расхода) в первом частично-напорном и напорном режимах. Применение труб из МГК позволяет проектировать трубчатые переходы таким образом, чтобы второй частично-напорный режим отсутствовал. Как можно видеть, в гидравлическом отношении в современном природоохранном строительстве и реконструкции перепускных трубчатых сооружений предпочтительней использовать гофрированную трубу вместо гладкой, что подтверждается и многолетней практикой их эксплуатации в Канаде, Франции, Японии, США и других странах [1].

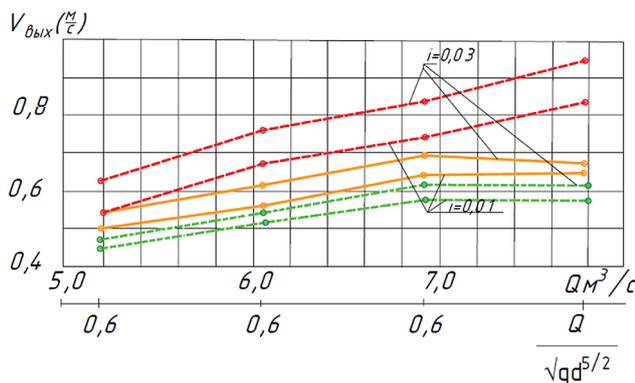


Рис. 2. График зависимости $V_{вых} = f(Q)$ для натуральных труб диаметром $d = 1,5$ м с уклонами $i = 0,03$ и $i = 0,01$:

- - - для гладкой трубы, работающей в полунапорном режиме;
- для МГТ, работающей в первом частично-напорном режиме;
- - - для трубы из МГК с гладким лотком по дну

Общие правила обустройства и установки МГТ на нерестовом водотоке должны обеспечивать проход рыбы вверх по течению.

Важнейшими факторами, влияющими на скорость течения потока в МГТ, являются размеры поперечного сечения водопропускного сооружения, уклон и шероховатость МГТ. В паводковый период не допускается затопление входного отверстия трубы. При этом по всей длине кульверта должна создаваться необходимая глубина. Размеры водопропускных труб, укладываемых под дорогами, должны рассчитываться не только на пропуск максимальных расходов половодья, но и на обеспечение миграции, которая, например, для лососевых рыб обычно происходит после прохождения максимальных расходов воды в реке. Минимальная глубина воды внутри МГТ должна соответствовать среднему минимальному 7-дневному расходу воды, или расходу воды 95%-ной обеспеченности, за период миграции данного вида рыб. Чтобы исключить блокирование прохождения рыбы водопропускным сооружением из МГК необходимо исключить ряд причин, вызывающих отрицательное воздействие кульверта на рыб (рис. 3):

- наличие перепада уровней воды в водотоке и трубе;
- образование порога между рекой и трубой как со стороны нижнего, так и верхнего бьефа;
- малый диаметр трубы;
- слишком большой (крутой) уклон трубы;
- недопустимо высокая скорость течения водного потока в трубе;
- недостаточная глубина воды в трубе;
- отсутствие заводи для отдыха рыбы ниже кульверта;
- недостаточная шероховатость внутренней поверхности и дна трубы и т.д.

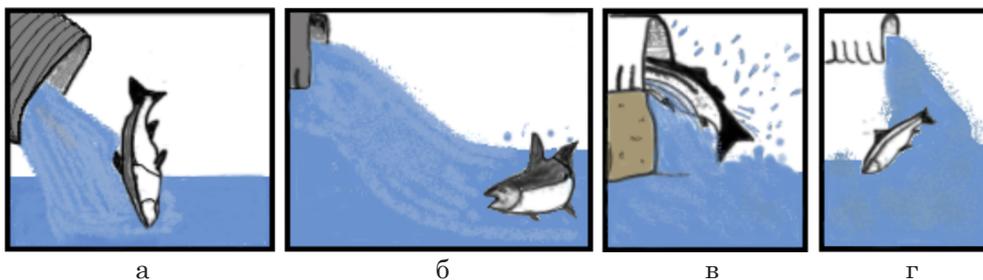


Рис. 3. Варианты неправильной установки МГТ на водотоке [1, 16]:

- а – очень высокая скорость течения из-за крутого уклона трубы;
- б – недостаточная глубина водного потока в трубе;
- в – отсутствие заводи перед трубой, удобной для отдыха рыб перед броском;
- г – слишком высокое расположение трубы над уровнем воды

В отличие от дорожных и мелиоративных водопропускных труб дно МГТ на нерестовых

водотоках следует заглубить ниже дна водотока (на глубину не менее 2...3-х расчётных

диаметров камня). Для сохранения естественной среды обитания рыб лотковую часть МГТ надо укрыть природным материалом, устойчивым к расчётным скоростям воды в трубе (камень, гравий, песок и т.п.), характерным для данного водотока (рис. 4). Если скорость потока меньше допустимой размывающей тогда

целесообразно использовать круглые МГТ увеличенного по сравнению с гидравлическим расчётом диаметра (от 1 до 7 м) или же арочные конструкции МГК с существующим дном. Для создания необходимой освещённости в трубе следует обеспечивать превышение шельги трубы над уровнем воды в ней не менее 1 м.

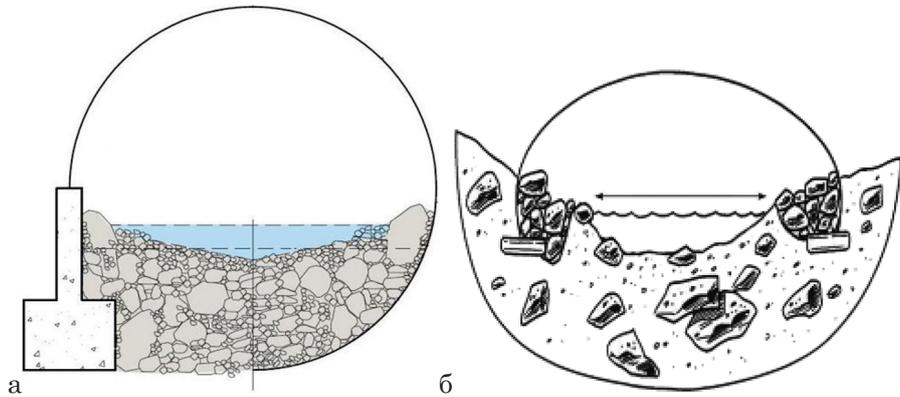


Рис. 4. Варианты переходов из МГК на нерестовых водотоках:
а, б – в виде каменной наброски соответственно при отсутствии и при наличии лотка в круглой трубе; в – кульверт типа свободной арки

Для уменьшения перепада уровня воды или его полного устранения, блокирования очага эрозии, понижающего уровень дна на водобойном участке с образованием водоппада, необходимо проведение специальных конструктивных мероприятий [15, 16]. Так перепад уровня воды можно скорректировать сооружением подпорного каскада с помощью валунов или брёвен. Для взрослых рыб каждая ступень должна повышать уровень воды не более чем на 25...30 см. Для гашения избыточной энергии за трубчатым сооружением на нерестовом водотоке при больших расходах воды лучше использовать гравийный пруд, а при малых (трубы диаметром до 1 м), например, устойчивые к ультрафиолетовому излучению решётчатые блоки скаурстоп размером 0,75 × 0,75 м, обеспечивающие быстрый рост травы, давая ей возможность укорениться, рассеивая при этом энергию потока.

Выводы

Таким образом, высокие технико-экономические показатели гофрированных труб и благоприятные условия их гидравлической работы дают основание рекомендовать их к применению во всех случаях, когда это возможно вместо гладких: при уклонах $i > 0,01$ в дорожных переходах, при любых уклонах в мелиоративных трубчатых сооружениях, в том числе с перепадом и на нерестовых водотоках.

Конструктивные параметры водопропускных сооружений из МГК назначаются с учётом типа нерестового водотока, видового состава рыб, обитающих или заходящих на нерест в малый водоток, ширины дорожного покрытия. Режим эксплуатации таких сооружений обосновывается с учётом требований гидробионтов.

Необходимо разработать нормы и методические рекомендации по гидравлическому расчёту трубчатых водопропускных переходов из гофрированных структур повышенных размеров со спиральным и нормальным гофром, указания по их эксплуатации и мониторингу, работающих в условиях зарыблённых водотоков, а также экспериментально исследовать трубы, донная часть которых укреплена каменной наброской и габионными элементами.

Библиографический список

1. Алтунин В.И., Черных О.Н., Федотов М.В. Водопропускные сооружения транспортных магистралей из металлических гофрированных структур. – М.: МАДИ, 2016. – 304 с.
2. Суэтина Т.А., Алтунин В.И., Черных О.Н. Обеспечение экологической безопасности при строительстве водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – № 2. – С. 125-128.

3. Техническое состояние гидроузлов и водопропускных переходов подмосковных рыбоводных хозяйств / Алтунин В.И., Аграновский А.М., Черных О.Н. и др. // Вопросы мелиорации. – 2008. – № 1-2. – С. 69-80.

4. Алтунин В.И., Черных О.Н. Гидравлические условия работы нижних бьефов гофрированных водопропускных труб // Природообустройство. – 2013. – № 5. – С. 40-43.

5. Алтунин В.И., Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Повышение эффективности гидравлической работы дорожных водопропускных труб // Природообустройство. – 2016. – № 2. – С. 42-46.

6. Алтунин В.И., Бурлаченко А.В., Черных О.Н. Гидравлические сопротивления водопропускных труб из гофрированного металла с повышенной абразивной устойчивостью // Гидротехническое строительство. – 2016. – № 6. – С. 23-29.

7. Алтунин В.И., Черных О.Н., Бурлаченко А.В. К вопросу выбора расчётного гидравлического режима при проектировании металлических гофрированных водопропускных труб // Природообустройство. – 2014. – № 2. – С. 51-57.

8. Altunin V.I., Hydraulic Resistance of a Helically Corrugated Metal Pipe Culvert / V.I. Altunin, O.N. Chernikh // Power Technology and engineering, Volume 50, Issue 2, July, 2016. – P. 125-129.

9. Altunin V.I. Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance / V.I. Altunin, O.N. Chernykh, A.V. Burlachenko // Power Technology and engineering. – November 2016, Volume 50, Issue 4. – P. 385-390

10. Suetina T.A., Hydraulic calculation features of helically corrugated steel culverts / T.A. Suetina, O.N. Chernykh and A.V. Burlachenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VII International Symposium Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering 1-8 July 2018, Novosibirsk,

Russian Federation. Volume 456, Section 4. 31 December 2018. – 5 p.

11. Кондратьев В.Г. Проектирование водопропускных переходов из гофрированных металлических структур на нерестовых водотоках / В.Г. Кондратьев, В.И. Козлов. – М.: ТрансИГЭМ, Центр практической экологии – ЭКОТЕРРА, 2005. – 115 с.

12. Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В. Заиление трубчатых водопропускных сооружений из гофрированного металла // Природообустройство. – 2018. – № 1. – С. 38-44.

13. Пособие по гидравлическим расчётам малых водопропускных сооружений; под ред. Г.Я. Волченкова. – М.: Транспорт, 1992. – 408 с.

14. Алтунин В.И., Суэтина Т.А., Черных О.Н. Гидравлические расчёты водопропускных труб на автомобильных дорогах. Учеб. пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 92 с.

15. Черных О.Н., Алтунин В.И. Специфика вопросов охраны окружающей среды при строительстве и эксплуатации гофрированных водопропускных труб из металла // Природообустройство. – 2015. – № 2. – С. 33-38.

16. Леман В.Н., Лошкарева А.А. Справочное пособие по природоохранным и мелиоративным мероприятиям при производстве строительных и иных работ в бассейнах лососевых нерестовых рек Камчатки – М.: Тов. науч. изд-в КМК, 2009. – 192 с.

Материал поступил в редакцию 19.09.2019 г.

Сведения об авторах

Черных Ольга Николаевна, кандидат технических наук, профессор кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; e-mail: chon36@mail.ru

Бурлаченко Алена Владимировна, специалист АО «Мерседес-Бенц РУС»; 125167 Москва, Ленинградский пр-т, 39А; e-mail: alena.burlachenko@daimler.com

O.N. CHERNYKH

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

A.V. BURLACHENKO

JSC «Mercedes-Benz RUS», Moscow

HYDRAULIC SUBSTANTIATION OF THE OPTIMAL TYPE OF TUBULAR TRANSITIONS ON SPAWNING WATERCOURSES

The results of model studies of culverts of metal corrugated pipes (MGK) with normal (MGT) and spiral form of corrugation (SMGT) are presented and discussed. A comparative assessment of the use of corrugated metal culverts and smooth concrete pipes is given. It is noted

that pipes made of MGK have an advantage not only in technical and economic indicators, but also in terms of hydraulic work. To reduce the construction time and the negative impact on the environment, it is proposed to use innovative designs of culverts of corrugated metal with a spiral corrugation form (SMGT). The results of experimental hydraulic studies of MGK pipes on the assessment of depths and velocities at the exit of round pipes for different modes of its operation, in the absence and presence of a protective tray in the bottom of the MGT and SMGT are presented. Determining factors are noted that affect the proper installation of tubular crossings on spawning streams and their effect on fish, ensuring the environmental safety of culverts made of corrugated metal. Recommendations are given to ensure that the fish overcome the differential and high-pressure head when installing pipes from the gas condensate mill. The obtained data on the speed on the transit part of the culvert are of interest in solving problems of the free passage of fish through artificial obstacles upstream and designing culverts. It is noted that modern design solutions of corrugated metal culverts differ from those used previously and did not pass the experimental justification (bottom with different type of attachment and roughness, input and output heads of mixed outlines, different design schemes of downstream devices for multi-point transitions, change in slope, type and dimensions of corrugation MGK, a variety of forms of their cross section, etc.). The necessity of developing advisory and regulatory literature on the calculation, design and operation of MGT and SMGT and compliance with building (geometric, reliability and safety indicators, etc.) and hydraulic indicators for fishery hydraulic engineering facilities is substantiated.

Culverts, metal corrugated pipes with normal and spiral corrugations, spawning watercourse, environmental safety, speed and depth at the pipes outlet.

References

1. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Fedotov M.V.** Vodopropusknye sooruzheniya transportnyh magistralej iz metallicheskih gofrirovannyh struktur. – M.: MADI, 2016. – 304 s.
2. **Suetina T.A., Altunin V.I., Chernyh O.N.** Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti pri stroitelstve vodopropusknyh sooruzheniy iz metallicheskih gofririvannyh struktur. // Academia. Arhitektura i stroitelstvo. – 2015. – № 2. – S. 125-128.
3. Tehnicheskoe sostoyanie gidrouzlov i odopropusknyh perehodov podmoskovnyh rybovodnyh hozyajstv / Altunin V.I., Agranovskiy A.M., Chernyh O.N. i dr. // Voprosy melioratsii – 2008. – № 1-2. – S. 69-80.
4. **Altunin V.I., Chernyh O.N.** Gidravlicheskie usloviya raboty nizhnih bjefov gofririvannyh vodopropusknyh trub // Prirodobustrojstvo. – 2013. – № 5. – S. 40-43.
5. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V.** Povyshenie effektivnosti gidravlicheskoj raboty dorozhnyh vodopropusknyh trub // Prirodobustrojstvo. – 2016. – № 2. – S. 42-46.
6. **Altunin V.I., Burlachenko A.V., Chernyh O.N.** Gidravlicheskie soprotivleniya vodopropusknyh trub iz gofrirovannogo metalla s povyshennoj abrazivnoj ustoichivostjyu // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2016. – № 6. – S. 23-29.
7. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V.** K voprosu vybora raschetnogo gidravlicheskogo rezhima pri proektirovanii metallicheskih gofirovannyh vodopropusknyh trub // Prirodobustrojstvo. – 2014. – № 2. – S. 51-57.
8. **Altunin V.I.** Hydraulic Resistance of a Helically Corrugated Metal Pipe Culvert / V.I. Altunin, O.N. Chernikh // Power Technology and engineering, Volume 50, Issue 2, July, 2016. – P. 125-129.
9. **Altunin V.I.** Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance / V.I. Altunin, O.N. Chernyh, A.V. Burlachenko // Power Technology and engineering. – November 2016, Volume 50, Issue 4. – P. 385-390
10. **Suetina T.A.** Hydraulic calculation features of helically corrugated steel culverts / T.A. Suetina, O.N. Chernykh and A.V. Burlachenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VII International Symposium Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering 1-8 July 2018, Novosibirsk, Russian Federation. Volume 456, Section 4. 31 December 2018. – 5 p.
11. **Kondratjev V.G.** Proektirovanie vodopropusknyh perehodov iz gofririvannyh metallicheskih struktur na nerestovyh vodotokah / V.G. Kondratjev, V.I. Kozlov. – M.: TransIGEM, Tsentr prakticheskoy ekologii – EKOTERRA, 2005. – 115 s.
12. **Chernyh O.N., Khanov N.B., Burlachenko A.V.** Zailenie trubchatyh vodopropusknyh sooruzhenij iz gofrirovannogo

metalla // Prirodoobustrojstvo. – 2018. – № 1. – S. 38-44.

13. Posobie po gidravlicheskim raschetam malyh vodopropusknyh sooruzhenij; pod red. G.Ya. Volchenkova. – M.: Transport, 1992. – 408 s.

14. **Altunin V.I., Suetina T.A., Chernyh O.N.** Gidravlicheskie raschety vodopropusknyh trub na avtomobilnyh dorogah. Ucheb. posobie. – M.: MADI, 2016. – 92 s.

15. **Chernyh O.N., Altunin V.I.** Spetsifika voprosov ohrany okruzhayushchej sredy pri stroitelstve i ekspluatatsii gofirovannyh vodopropusknyh trub iz metalla // Prirodoobustrojstvo. – 2015. – № 2. – S. 33-38.

16. **Leman V.N., Loshkareva A.A.** Spravochnoe posobie po prirodohrannym i meliorativnym meropriyatiyam pri proizvodstve stroitelnyh i inyh rabot v bassejnah lososevyh

nerestovyh rek Kamchatki. – M.: Tov. nauch. izd-v KMK, 2009. – 192 s.

The material was received at the editorial office
19.09.2019 g.

Information about the authors

Chernykh Olga Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Hydraulic Engineering Structures of the Federal State Educational Institution of the Russian Academy of Agricultural Sciences named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; e-mail: chon36@mail.ru

Burlachenko Alena Vladimirovna, specialist AO “Mercedes-Benz RUS”, 125167, Moscow, Leningradsky pr-t, 39A, e-mail: alena.burlachenko@daimler.com