

**О.Н. ЧЕРНЫХ<sup>1</sup>, А.В. БУРЛАЧЕНКО<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва, Российская Федерация

## **МЕЛИОРАЦИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ПЕРЕХОДОВ ИЗ ГОФРИРОВАННЫХ ТРУБ НА НЕРЕСТОВЫХ ВОДОТОКАХ**

*Представлены рекомендации для решения вопросов, возникающих при проектировании и эксплуатации трубчатых транспортных переходов из гофрированных металлических структур через нерестовые водотоки при обеспечении сохранности и естественного воспроизводства рыбных запасов. Обсуждаются результаты экспериментальных исследований водопропускных сооружений из металлических гофрированных труб с нормальной и спиральной формой гофра, дно которых заглублено и заполнено подходящим гранулированным материалом до уровня естественного русла малого водотока. Установлено, что при 10%-ном занятии площади гофрированной трубы каменной отсыпкой пропускная способность ее сокращается примерно на 10-12%. В результате анализа литературы и лабораторных экспериментов приведены данные, позволяющие оценить значения коэффициентов шероховатости композитного сечения одноочкового перехода, и намечены направления будущих исследований по мелиорации кульвертов. Изучение структуры распределения скоростей в водопропускных трубах может привести к улучшению условий прохода рыбы без установки специальных конструктивных элементов в транзитном тракте рыбопропускного сооружения.*

*Водопропускные трубы, металлические гофрированные структуры, нерестовый водоток, коэффициент шероховатости, гравийная отсыпка на дне заглубленного кульверта.*

**Введение.** В мировой рыбохозяйственной гидротехнике существует огромное количество естественных и искусственных водотоков (ручьев, малых рек, каналов и пр.), пересекающих преграды (водоемы, транспортные магистрали и т.д.) при помощи переходов [1-3]. На малых реках и ручьях сборные гофрированные металлические структурные (МГС) элементы (трубы – кульверты, арки, арки-трубы) являются наиболее перспективным и экономичным методом устройства таких водопропускных сооружений в связи с их высокой конструктивной прочностью, достигаемой за счет выбора формы трубы или арки, качества, специальной обработки и толщины стали, размеров и типов гофра, наличия противобразивного оформления придонной области [4, 5].

Гофрированные трубы (из CSP или МГС) используются на любых грунтовых основаниях – как твердых, так и слабых, эффективно заменяют при ремонте малые мосты (с арочными пролетными конструкциями либо рамными мостовыми опорами) или старые железобетонные и каменные трубы [5-8]. Трубы из гофрированного металла и низкопрофильные арки обеспечивают широкий

пролет для прохода рыбы в диапазоне стандартных размеров [9-11]. Гофрированные элементы обеспечивают при проектировании рыбного прохода множество вариантов поддержания естественного русла водотока в естественном природном или природоприближенном состоянии при минимизации возмущений в потоке. Благодаря разнообразию форм и размеров эти более крупные конструкции имеют долгую историю надежности, общепринятую практику проектирования и высокую скорость монтажа [12-14]. Однако возникают противоречия в связи с необходимостью сбалансировать экономичность установки с надлежащим управлением водным потоком в кульвертах и водными ресурсами, прежде всего – для соблюдения правил, связанных с идущей на нерест и обратно рыбой, а также средой обитания рыб на зарыбленных (нерестовых) водотоках. В Российской Федерации законодательно установленные требования к прохождению рыбы изложены в весьма общих чертах [15-18] в отличие от законодательства ряда зарубежных стран. Например, в Канаде водопропускные трубы должны быть запроектированы таким образом, чтобы рыба, намеревающаяся двигаться вверх по течению, не испытывала задержки

более 7 дней подряд 1 раз в течение каждого 50-летнего периода, а руководство ассоциации по мостовой гидравлике считает задержку более 3 дней как допустимую, с частотой 1 раз в 10 лет [19]. Поэтому возникла необходимость в разработке и уточнении критериев проектирования этих инновационных переходов, которые отвечали бы конструктивным требованиям для безопасного и экономичного дизайна без ущерба для потребностей ценных видов рыб с учетом законодательно установленных требований к прохождению рыбы и основных положений законов Российской Федерации в части охраны окружающей среды, охраны и использования водных биоресурсов, ресурсов животного мира, а также анализа наиболее известных отечественных и зарубежных разработок [15, 18-20].

**Материалы и методы исследований.**

Способность к движению рыбы вверх по течению в водопропускной трубе зависит от сложного взаимодействия нескольких факторов включая скорость воды, протекающей

в водопропускной трубе, вида и размера рыбы, длины водопропускной трубы и других биофизических параметров [1, 2, 14, 20]. Если скорость потока в водопропускной трубе слишком высока, она будет служить барьером для рыбы, намеревающейся идти на нерест, за кормом или в другие периоды движения вверх по течению. Скорость потока может быть уменьшена за счет увеличения размера и формы поперечного сечения водопропускной трубы, шероховатости, глубины заглабления дна трубы и уменьшения уклона кульверта [1]. Кроме того, конструктивные мероприятия на входном и выходном участках трубы (форма и конструкция оголовка, наличие противовихревых и мусорозадерживающих устройств перед сооружением, ступенчатого каскада за сооружением и пр.) [1, 14, 17], а также наличие рыбодохода внутри трубы или за выходным оголовком кульверта в отводящем канале могут обеспечить оптимальные условия перехода мигрирующей рыбы через любое препятствие (рис. 1).

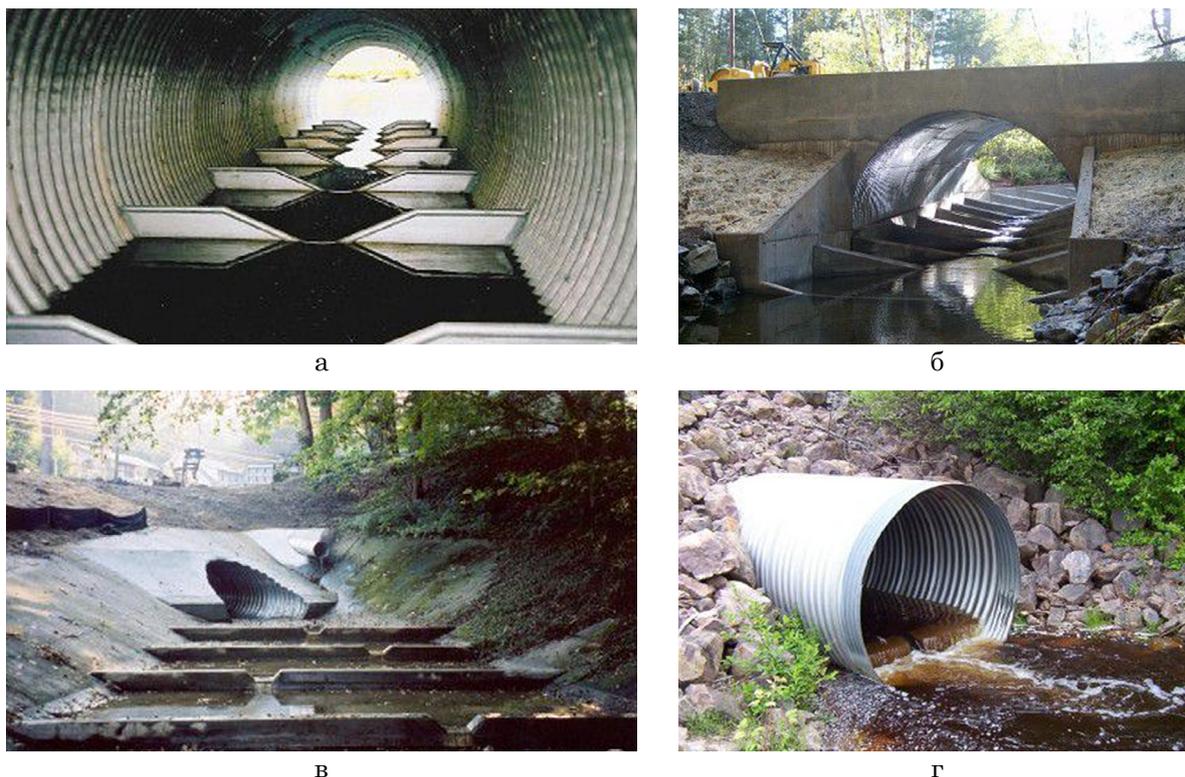


Рис. 1. Кульверты из CSP на зарыбленных водотоках США, 2019 г. [19]:

- а – с внутренним рыбодоходом;
- б – с перегородками в транзитной части кульверта и в отводящем канале;
- в – рыбодоходный канал в нижнем бьефе;
- г – ступень с выпускным отверстием в выходном сечении трубы

Недостатки круглых водопропускных труб из МГС на зарыбленном водотоке заключаются в том, что они концентрируют скорости

потока, заставляя его проходить через меньшую площадь поперечного сечения; их установка приводит к потере среды обитания

и естественного субстрата; устраняются неровности в естественном русле водотока, которые создавали ранее зоны спокойного течения, где рыба могла отдыхать. Но есть ряд мероприятий, которые позволяют компенсировать эти недостатки кульвертов из МГС [17]. Для этого трубы необходимо устанавливать с соответствующим уклоном, как можно ближе к естественному руслу ручья, встраивать в него на 0,3 м в глубину или 10% от диаметра

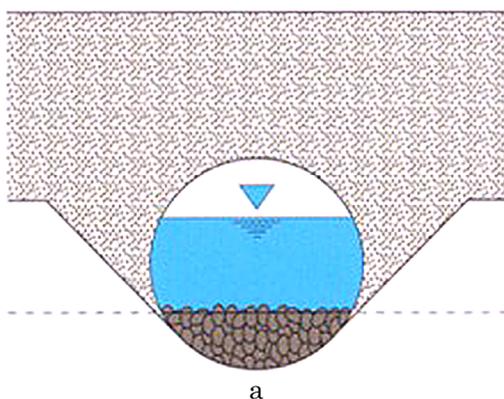


Рис. 2. Оптимальные способы устройства кульвертов в лососевых ручьях:

а – вкопанная и загруженная камнем труба из МГС;

б – в виде арки на существующем и частично укрепленном естественном камнем русле [1]

Анализ работы построенных кульвертов, дно которых заполнено грубым зернистым материалом (крупнообломочным камнем или гравием), даже с заглублением более 10% показывает, что водопропускные трубы с равномерным течением не обеспечивают никаких мест отдыха, и рыбы вынуждены непрерывно плыть, продвигаясь вверх по течению. Чрезмерная скорость воды вымывает рыбу, и если она даже сможет подняться и пройти всю длину транзитного участка, то становится истощенной [15, 17]. Однако устройство различных дефлекторов и рыбоходных бассейнов на транзитной части малых равнинных труб рекомендуется применять на нерестовых водотоках Российской Федерации только в крайних случаях, ссылаясь на необходимость их регулярного технического обслуживания и тенденции заполнения перегородок осадком, крупным мусором и пр., что приводит к повышенному риску размывов и наводнений.

Кроме того, в настоящее время не существует адекватного метода прогнозирования распределений скоростей внутри водопропускных труб [20]. Современные модели прохождения рыбы являются одномерными в том смысле, что они соотносят способность плавания рыбы к средней скорости потока,

трубы  $d$  (в зависимости от того, что больше). Заглубленную часть следует заполнять подходящим гранулированным материалом до уровня естественного русла ручья (рис. 2). Все это должно обеспечить более естественное ложе субстрата и увеличивает шероховатость водопропускной трубы, уменьшая среднюю скорость потока, которая была бы в незаглубленной водопропускной трубе аналогичной площади поперечного сечения.

возникающей в одноочковой трубе. В этой связи возникает необходимость проведения физического моделирования и выполнения детального исследования распределения скорости потока по мере заполнения поперечного сечения трубы и изменения глубин потока по длине водопропускной металлической трубы из МГС с нормальным (МГТ) и спиральным (СМГТ) гофром. Но для этого на первом этапе сначала следует оценить эффективность современных методов расчета шероховатости композита «Гофрированная поверхность трубы-придонная область из каменной наброски» применительно к частично заглубленной водопропускной трубе из МГС (CSP), которая в России пока является практически не исследованной и нормативно не утвержденной.

Экспериментальная методика измерения основных параметров водного потока в моделях труб из МГС, исследованных в МАДИ, программы, разработанные для обработки данных и создания графиков, подробно описаны в ряде ранее опубликованных работ при исследовании МГТ и СМГТ с гладким лотком на дне трубы и без него [1, 16].

**Результаты исследований.** Несмотря на то, что в заглубленных трубах равномерный поток встречается редко, наиболее

приемлемые результаты при оценке расхода воды в трубах из МГС дает использование классического уравнения Маннинга (Шези) с коэффициентом шероховатости Маннинга –  $n$  [12, 20].

Уравнение Маннинга в разной интерпретации используется многими исследователями, в монографиях, справочниках и имитационных расчетных программах (например, таких, как HEC RAS и др., требующих знания  $n$ ). Для естественных каналов наиболее трудной частью использования для расчета уравнения Маннинга является оценка коэффициента шероховатости  $n$ , значение которого обычно колеблется от 0,025 до 0,08 для естественных потоков [13]. При этом на величину  $n$  влияют несколько факторов: шероховатость поверхности; растительность; неровности, дефекты дна и откосов каналов; выравнивание канала; препятствия в канале; размер, форма канала и режим его работы. В некоторых программах по расчету трубчатых сооружений его значение может быть определено путем калибровки по измеренным глубинам водной поверхности, а для большой группы

наиболее часто применяемых конструкций водопропускных труб из бетона, металла, полимерных материалов коэффициенты шероховатости уже достаточно хорошо изучены.

Сравнение значений для однотипных гофр показывает, что они являются весьма близкими [16, 20]. Каждому виду гофра соответствует один коэффициент шероховатости, который несколько меняется с изменением диаметра трубы (рис. 3). С другой стороны, однако, значения коэффициента шероховатости для гофрированных металлических водопропускных труб могут находиться в пределах, указанных в руководствах по проектированию, в диапазоне от 0,011 до 0,035 [21]. Для инновационных конструкций водопропускных труб, например, с встроенными элементами на дне трубы (лотки из габионов, бетона, асфальтобетона, каменной наброски, элементов рыболовных устройств и пр.), прогнозирование значений коэффициента Маннинга  $n$  является проблематичным. Это может привести к повышенному риску отказа конструкции от нормальной работы или сузить размерный ряд применяемых труб из МГС.

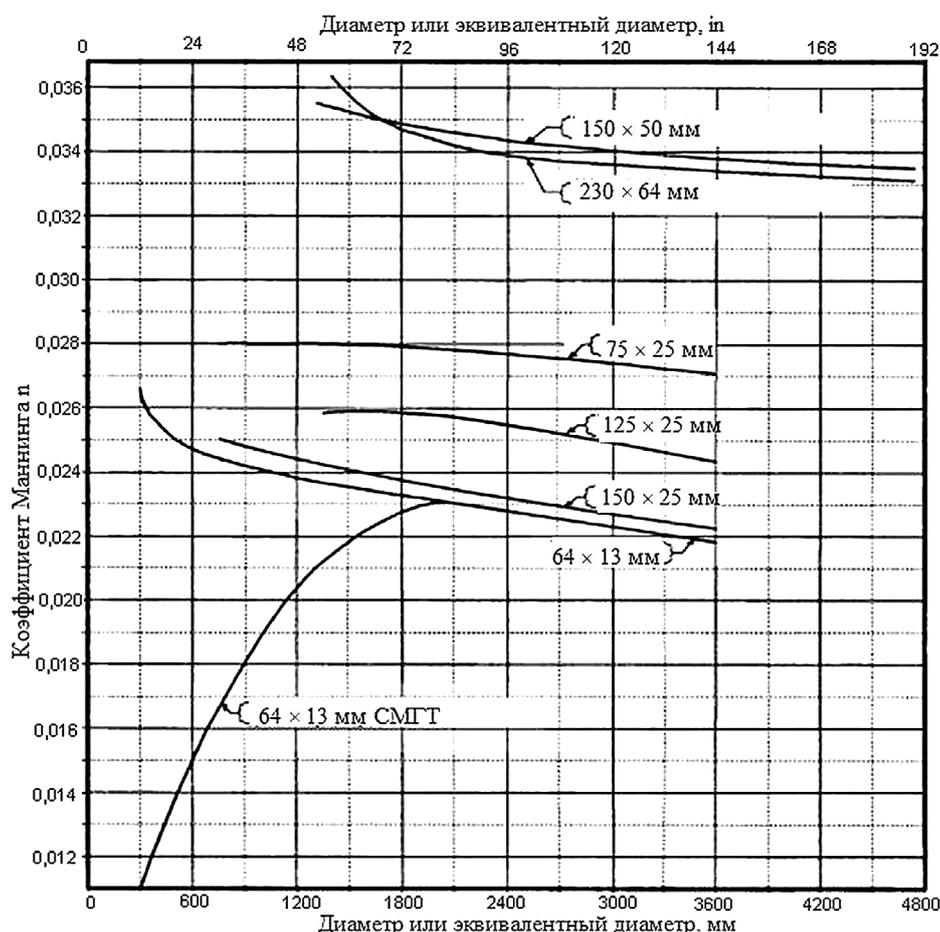


Рис. 3. Влияние диаметра трубы  $d$  из МГС с разными параметрами гофра на значение коэффициента шероховатости  $n$

В свою очередь выполненные в последнее десятилетие под руководством В.И. Алтунина в МАДИ исследования [1-10] свидетельствуют о том, что значение  $n$  при безнапорном и напорном движении для МГТ и СМГТ может быть разным и значительно отличаться от рекомендованных в действующих ОМД [18]. Даже во многих модельных и натурных исследованиях значение коэффициента  $n$  при безнапорном движении меньше, чем при напорном, но имеются данные, по которым соотношение является и обратным. Установка гладкого лотка по дну гофрированных труб, обязательное устройство которого регламентировано ОМД для недопущения абразивного разрушения МГТ и СМГТ, с одной стороны, обеспечивает снижение гидравлического сопротивления, то есть уменьшает значение коэффициента шероховатости  $n$ , а с другой – уменьшает размер проходного сечения и площадь

сечения трубы. Лоток, занимая часть внутреннего периметра трубы из МГС (рис. 4 б), создает дополнительные сопротивления, зависящие от параметров гладкого лотка  $\varphi$  и  $\delta$  ( $\varphi$  – центральный угол сектора, равный  $\varphi = 90^\circ$  и  $120^\circ$  в Российской Федерации [18], и  $\varphi = 90^\circ$  и  $180^\circ$  за рубежом [22], а  $\delta$  – минимальная толщина гладкого лотка, составляющая в США 5 см, в Российской Федерации – 10 см).

С изменением наполнения гофрированной трубы меняется соотношение между размерами гладкого лотка и гофрированного листа в живом сечении, то есть между смоченными периметрами гладкой и гофрированной частей трубы, поэтому характер изменения коэффициента шероховатости  $n$  зависит от размеров гладкого лотка и наполнения трубы. К сожалению, даже в последнем издании справочника [22] отсутствуют рекомендации по учету этого влияния.



Рис. 4. МГТ с каменной отсыпкой (а) и гладким лотком (б) на дне:

1 – металлическая гофрированная труба; 2 – сборные блоки лотка;  
3 – защитное покрытие; 4 – болты

Прогнозирование значений коэффициента  $n$  для круглых труб диаметром  $d$  из МГС с гравийным слоем на дне (рис. 4 а) является довольно сложной задачей, о чем свидетельствуют существующие многочисленные подходы и исследования (Strickler, 1923; Meyer-Peter и Muller, 1948; Limerinos, 1970; Bray, 1979; Bruschin, 1985; Abt et al., 1987; Julien, 2002; и др.). Эти методы были разработаны в первую очередь для использования в реках с гравийным дном и получили широко варьирующиеся результаты. В основном они приводятся к модельному диапазону  $0,027 < n < 0,031$ , когда материал слоя покрытия линейно масштабируется (табл. 1).

На практике натурные значения  $n$ , используемые для встроенных

водопроточных труб реальных мелиоративных объектов, например, в Манитобе по НЕС-RAS [20], варьировались от 0,035 до 0,041. Шероховатость такого типа можно назвать композиционной. Для достоверной оценки коэффициента шероховатости композита «Гофрированная поверхность трубы-придонная область из каменной наброски» необходимо экспериментально оценить значения  $n$  в разных режимах работы трубчатых переходов из МГТ и СМГТ и верифицировать существующие методы прогнозирования шероховатости подобного композита.

Если учесть, что при 25%-ном размере гладкого лотка, достаточно подробно исследованного в МАДИ ранее (рис. 5) [1, 16],

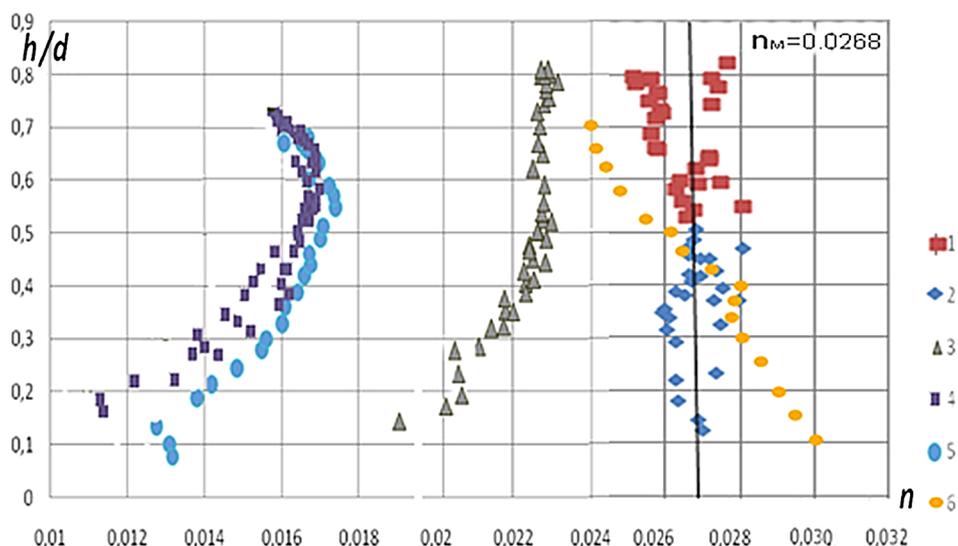
и наполнении менее  $0,6 d$  коэффициент шероховатости  $n$  должен иметь еще большее значение, тогда при 10%-ном размере гравийного ложа и наполнении примерно  $0,15 d$ , соответствующем наполнению лишь зоны гладкого лотка или гравийной наброски, значение  $n$  должно стремиться к значению коэффициента шероховатости для гравийного открытого русла естественного

водотока. Следовательно, приводимых в работах [13, 19-22] рекомендаций недостаточно для корректной оценки изменения коэффициента шероховатости во всем диапазоне наполнений водопропускных металлических труб из МГС при разном размере гравийного оформления ее дна и различных режимах движения воды в сооружении.

Таблица 1

**Значения коэффициента Маннинга, полученные рядом исследователей для моделей с гравийной смесью ( $n_m$ ) и ранжированные в возрастающем порядке для натуральных условий,  $n_n$**

Метод расчета/автор, год	$n_m$	$n_n$
Abt et al. (1987)	0,015	0,012
Julien (2002)	0,031	0,024
Meyer-Peter and Muller (1948)	0,032	0,024
Bruschin (1985)	0,035	0,027
Strickler (1923)	0,036	0,028
Julien (2002)	0,037	0,028
Bray (1979)	0,04	0,031
Julien (2002)	0,047	0,036
Ugarte and Madrid (1994)	0,053	0,041
Limerinos (1970)	0,071	0,054



**Рис. 5. График зависимости коэффициента Маннинга  $n$  от наполнения  $h/d$  для моделей гофрированных труб из МГС при  $i = 0,05$ :**

1, 2 и 3 – соответственно МГТ и СМГТ без лотка по дну; 4 и 5 – МГТ и СМГТ с гладким лотком по дну; 6 – МГТ с гравийной отсыпкой по дну

Предварительные экспериментальные исследования, основанные на измерениях водной поверхности в безнапорном и полупонапорном режимах работы труб, показали уменьшение пропускной способности водопропускной трубы из МГС при добавлении

гравийного слоя, что обусловлено уменьшением площади потока и увеличением шероховатости композита. При этом оказалось, что при 10%-ном занятии площади МГТ каменной отсыпкой пропускная способность ее сокращается примерно на 10-12% для

уклона трубы как  $i = 0,005$ , так и  $i = 0,01$ . Также установлено, что значение коэффициента  $n$  даже в трубах с однородной равномерно уложенной гравийной отсыпкой может варьироваться до 28% просто ввиду изменения глубины потока.

Исследования показали, что поскольку в трубе сечение составное – композитное, то значение  $n$  зависит от глубины воды и варьируется на модели в диапазоне  $0,0230 < n < 0,0256$ , а в некоторых опытах при наполнении от  $0,42 d$  до  $0,76 d$  доходит до  $0,029$  для гравийного русла, то есть примерно  $0,039$  в натуре. Следует напомнить, что для МГТ при отсутствии дополнительных устройств в транзитной части трубы значение коэффициента шероховатости  $n$  не зависит от наполнения трубы (изменение наполнения, а соответственно и режима происходит при безнапорном режиме в диапазоне изменения наполнения  $h/d = 0,12...0,52$ , а при полунапорном –  $h/d = 0,52...0,82$ ). Его средневзвешенная величина примерно одинакова и составляет на модели  $0,0268$ , а в натуре  $n_n = 0,035$ , причем при напорном движении для этой конструкции значение на 12% ниже и составляет в натуре  $n_n = 0,03$ . Для СМГТ без защитного гладкого лотка на дне для оценки устойчивости гидравлической работы водопропускных переходов круглого сечения целесообразно принимать при напорном режиме работы  $n_n = 0,027$ , а при безнапорном –  $0,03$ .

### Выводы

На основе обзора литературы и предварительных результатов модельных исследований предложено несколько рекомендаций. Они позволят устранить миграционные барьеры в верхнем течении малой реки и послужат руководством для будущих исследований водопропускных переходов на нерестовых водотоках из металлических гофрированных структур (МГТ, СМГТ и CSP), дающих самый простой метод поддержания естественных, благоприятных для рыб условий, путем частичного заглубления кульверта ниже дна водотока и заполнения части поперечного сечения трубы гравийной отсыпкой.

Впервые получены значения коэффициента шероховатости в композитной металлической гофрированной водопропускной трубе с гравийной отсыпкой на дне. Установлено, что в зависимости от уклона

и режима протекания воды в заглубленной трубе, дно которой покрыто гравием не менее чем на 10%, значение коэффициента шероховатости  $n$  получается примерно в 1,1...1,4 раза больше значений  $n$  для гофрированных переходов при отсутствии какого-либо лотка на дне. Это дает возможность применять уточненные значения  $n$  на предварительных стадиях проектирования и при расчетах в существующих программных системах НЕС-RAS, CREDO Трубы, TopomaticRobur – искусственные сооружения, IndorCulvert и др., которые могут использоваться автономно или совместно с системой проектирования автомобильных дорог IndorCAD.

Необходимо продолжить исследование, варьируя средним диаметром материала наброски ( $D_{50}$ ), заглублением трубы, углом сектора закрепленного участка дна водопропускной трубы и ее размером ( $d$ ) в широком диапазоне значений.

### 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 / В.И. Алтунин, А.М. Аграновский, О.Н. Черных 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 расчетного гидравлического режима при проектировании металлических гофрированных водопропускных труб // *Природообустройство*. – 2014. – № 2. – С. 51-57.

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

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

10. **Suetina T.A., Chernykh O.N., Burlachenko A.V.** Hydraulic calculation features of helically corrugated steel culverts // *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. 2018. – Volume 456. – Section 4. 31. – December. – 5 p.

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

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

13. **Чоу В.Т.** Гидравлика открытых каналов. – М.: Стройиздат, 1969. – 464 с.

14. **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.

15. **Леман В.Н., Ложкарёва А.А.** Справочное пособие по природоохранным и мелиоративным мероприятиям при производстве строительных и иных работ в бассейнах лососевых нерестовых рек Камчатки. – М.:

Товарищество научных изданий КМК, 2009. – 192 с.

16. **Черных О.Н., Суэтина Т.А., Бурлаченко А.В.** Научные основы совершенствования методов гидравлического расчета дорожных гофрированных труб из металла. – М.: МАДИ, 2020. – 234 с.

17. **Черных О.Н., Бурлаченко А.В.** Гидравлическое обоснование оптимального типа трубчатых переходов на нерестовых водотоках // *Природообустройство*. – 2019. – № 5. – С. 70-75.

18. ОМД 218.3.031-2013. Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. – М.: РОСАВТОДОР, 2014.

19. **Neill C.R.** Guide to Bridge Hydraulics. 2nd Ed., Transportations Association of Canada, 2001. – 200 p.

20. **Katopodis C.** Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works. *Journal of Hydraulic Research*. – № 43 (5). – 2005. – P. 451-467.

21. **Liu M., Zhu D.Z. and Rajaratnam N.** Evaluation of ADV measurements in bubbly two-phase flows. *Hydraulic Measurements and Experimental Methods Conference Paper*. American Society of Civil Engineers. – 2002.

22. Hydraulic design of highway culverts. U.S. Department of Transportation. Hydraulic design series number 5. Third edition. Publication No. FHWA-HIF-12-026. – 2012. April. – 326 p.

Материал поступил в редакцию 05.10.2020 г.

#### Сведения об авторах

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

**Бурлаченко Алена Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры гидравлика ФГБОУ ВО МАДИ; 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64; chtara@mail.ru

**O.N. CHERNYKH<sup>1</sup>, A.V. BURLACHENKO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Federal state budgetary educational institution of higher education “Moscow automobile and road state technical University (MADI)», Moscow, Russian Federation

## RECLAMATION AND CULVERT CROSSINGS MADE OF CORRUGATED PIPES ON SPAWNING STREAMS

*Recommendations are presented for solving issues that arise in the design and operation of tubular transport crossings of corrugated metal structures through spawning streams while ensuring the safety and natural reproduction of fish stocks. There are discussed the results of experimental studies of culverts made of metal corrugated pipes with a normal and spiral shape of corrugation the bottom of which is buried and filled with suitable granular material to the level of the natural channel of a small watercourse. It is established that when 10% of the area of the corrugated pipe is occupied by stone filling, its throughput is reduced by about 10-12%. Based on the review of the existing literature and the results of laboratory experiments, data is provided to estimate the values of the roughness coefficients of the composite cross-section of a single-point junction and directions for future research on culvert reclamation are outlined. Studying of the structure of the velocity distribution in culverts can lead to the improved conditions for fish passage without installing special structural elements in the transit path of the fish passage structure.*

*Culverts, metal corrugated structures, spawning water flow, roughness coefficient, gravel filling at the bottom of the buried culvert.*

### References

1. Altunin V.I., Chernykh O.N., Fedotov M.V. Vodopropusknyye sooruzheniya transportnyh magistralej iz metallicheskih gofirovannyh struktur. – M.: MADI, 2016. – 304 s.
2. Suetina T.A., Altunin V.I., Chernykh O.N. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti pri stroitelstve vodopropusknyh sooruzheniy iz metallicheskih gofirovannyh struktur // Academia. Arhitektura i stroitelstvo. – 2015. – № 2. – S. 125-128.
3. Tehnicheskoe sostoyanie gidrouzlov i vodopropusknyh perehodov podmoskovnyh rybovodnyh hozyajstv / Altunin V.I., Agranovskiy A.M., Chernykh O.N. i dr. // Voprosy melioratsii. – 2008. – № 1-2. – S. 69-80.
4. Altunin V.I., Chernykh O.N. Gidravlicheskie usloviya raboty nizhnih bjefov gofirovannyh vodopropusknyh trub // Prirodoobustrojstvo. – 2013. – № 5. – S. 40-43.
5. Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Povyshenie effektivnosti gidravlicheskoj raboty dorozhnyh vodopropusknyh trub // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 2. – S. 42-46.
6. Altunin V.I., Burlachenko A.V., Chernykh O.N. Gidravlicheskie soprotivleniya vodopropusknyh trub iz gofirovannogo metalla s povyshennoj abrazivnoj ustojchivost'yu // Gidrotehnikheskoe stroitelstvo. – 2016. – № 6. – S. 23-29.
7. Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V. K voprosu vybora raschetnogo gidravlicheskogo rezhima pri proektirovanii metallicheskih gofirovannyh vodopropusknyh trub // Prirodoobustrojstvo. – 2014. – № 2. – S. 51-57.
8. Altunin V.I., Chernykh O.N. Gidraulik Resistance of a Helically Corrugated Metal Pipe Culvert // Power Technology and engineering, Volume 50, Issue 2, July, – 2016. – P. 125-129.
9. Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Gidraulik Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering. – November 2016, Volume 50, Issue 4. – P. 385-390.
10. Suetina T.A., Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Hydraulic calculation features of helically corrugated steel culverts // 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., Kozlov V.I. Proektirovanie vodopropusknyh perehodov iz gofirovannyh metallicheskih struktur na nerestovyh vodotokah / – M.: TransIGEM, Tsentr prakticheskoy ekologii – EKOTERRA, – 2005. – 115 s.

12. **Chernykh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V.** Zailenie trubchatykh vodopropusknykh sooruzheniy iz gofirovannogo metalla // Prirodoobustroystvo. – 2018. – № 1. – S. 38-44.

13. **Chou V.T.** Gidravlika otkrytykh kanalov / – M.: Strojizdat, 1969. – 464 s.

14. **Chernykh O.N., Altunin V.I.** Spetsifika voprosov ohrany okruzhayushchej sredy pri stroitelstve i gofirovannykh vodopropusknykh trub iz metalla // Prirodoobustroystvo. – 2015. – № 2. – S. 33-38.

15. **Leman V.N., Lozhkareva A.A.** Spravochnoe posobie po prirodoohrannym i meliorativnym meropriyatiyam pri proizvodstve stroitelnykh i inykh rabot v bassejnakh lososevykh nerestovykh rek Kamchatki / – M.: Tov. nauch. izd-v KMK, 2009. – 192 s.

16. **Chernykh O.N., Suetina T.A., Burlachenko A.V.** Nauchnye osnovy sovershenstvovaniya metodov gidravlicheskogo rascheta dorozhnykh gofirovannykh trub iz metalla. – M.: MADI, 2020. – 234 s.

17. **Chernykh O.N., Burlachenko A.V.** Gidravlicheskie obosnovanie optimalnogo tipa trubchatykh perehodov na nerastovykh vodotokakh // Prirodoobustroystvo. – 2019. – № 5. – S. 70-75.

18. OMD218.3.031-2013 Metodicheskie rekomendatsii po ohrane okruzhayushchej sredy pri stroitelstve, remonte i sodержanii avtomobilnykh dorog. – M.: ROSAVTODOR, 2014.

19. **Neill C.R.** Guide to Bridge Hydraulics. 2nd Ed., Transportations Association of Canada. – 2001. – 200 p.

20. **Katopodis C.** Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works. Journal of Hydraulic Research, 43(5) – 2005. – P. 451-467.

21. **Liu M., Zhu D.Z., and Rajaratnam N.** Evaluation of ADV measurements in bubbly two-phase flows. Hydraulic Measurements and Experimental Methods Conference Paper. American Society of Civil Engineers. – 2002.

22. Hydraulic design of highway culverts. U.S. Department of Transportation. Hydraulic design series number 5. Third edition. Publication No. FHWA-HIF-12-026. April. – 2012. – 326 p.

The material was received at the editorial office  
05.10.2020

#### Information about the authors

**Chernykh Olga Nikolaevna**, candidate of technical sciences, professor of the department of hydraulic engineering structures of FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Akademicheskaya, 44; gtsmgup@mail.ru

**Burlachenko Alena Vladimirovna**, candidate of technical sciences, professor, MADI; 125167, Moscow, Leningradsky pr-t, 64, chtara@mail.ru