

4. **Lemeshko S.B.** Kriterij nezavisimosti Abbe pri narushenii predpolozhenij normalnosti. // Izmeritelnaya tehnika. – 2006. – № 10. – S. 9-14.

5. **Evgrafova I.M., Lavrusevich A.A.** K vo-prosu obosnovaniya korrektirovaniya razmerov sanitarno-zashchitnoj zony // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitelstvo. – 2014. – № 6. – S. 94-100.

The material was received at the editorial office
02.07.2019

Information about the authors

Evgrafov Alexey Victorovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of General and engineering ecology GRAU-NSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; e-mail: Evgrafov-aleksey@mail.ru

Evgrafova Irina Mikhailovna, doctor of technical sciences, professor of the department of Engineering geology and geoecology NIU MGSU; 129337, Moscow, Yaroslavsloe shosse, d. 26, e-mail: irina-sen811@yandex.ru

УДК 502/504: 532.54: 621.644

DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-82-90

О.Н. ЧЕРНЫХ, Н.В. ХАНОВ

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

А.В. БУРЛАЧЕНКО

АО «Мерседес-Бенц РУС», г. Москва

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИНЦИПОВ РАСЧЁТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБЧАТЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ СТРУКТУР С НОРМАЛЬНОЙ И СПИРАЛЬНОВИТОЙ ФОРМОЙ ГОФРА

Приведены результаты модельных гидравлических исследований водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур с нормальной и спиральновитой формой гофра. Даются рекомендации по пользованию блок-схемой алгоритма проектирования и гидравлического расчёта сооружений из стальных гофрированных труб при отсутствии и установке гладкого лотка по дну при разных режимах пропуска водотока: безнапорном, полунанпорном, частично-напорном и напорном для обеспечения бесперебойной работы транспортной магистрали, проходящей по гребню плотины или насыпи, а также гарантированного пропуска поверочного расхода водопропускным сооружением после его реконструкции. Отмечено, что при гидравлическом расчёте для разнообразных видов гофра и угла спиральности, применяемых в мировой строительной практике на сегодняшний день, разница в результатах расчёта основных параметров потока без учёта экспериментальных данных по существующим программным системам может быть значительной.

Водопропускные сооружения из стальных гофрированных труб, экспериментальные исследования, параметр расхода, безнапорный, полунанпорный и напорный режимы, коэффициент шероховатости, глубины потока.

Введение. Обязательной частью экологически ориентированного проектирования водопропускной трубы из металлических гофрированных структур (МГК) является адекватное определение параметров и размеров конструктивных элементов сооружения, которые должны назначаться на основании гидравлического расчёта. Отсутствие такого раздела в проекте нарушает основные

требования по обеспечению безопасности применения на дорогах водопропускного сооружения из металлических труб с нормальным гофром (МГТ), не соответствует требованиям СП 35.13330.2011, СП 34.13330.2012 и других нормативных документов для ГТС [1, 2]. Для этого существует и ряд программных систем («CREDO Трубы», «Топоматик Robur – Искусственные сооружения», IndorCulvert и другие

[7, 9], которые могут использоваться автономно или совместно с системой проектирования автомобильных дорог (IndorCAD), где в разной степени реализована поддержка типовыми альбомами гладких водопропускных труб. Однако выполнить такой расчет корректно в настоящее время для сооружений из МГК разнообразных размеров и форм не только затруднительно, но в подавляющем большинстве случаев для инновационных конструкций водопропускных труб, например, из стальных труб со спиральной формой гофра (СГМТ), просто невозможно из-за отсутствия апробированной методики их гидравлического расчета, подкреплённой

экспериментальными данными лабораторных и натуральных исследований [2-7].

Материалы и методы исследований. Для формализации видов воздействия типа гофра в МГТ и СГМТ на основе экспериментальных исследований, выполненных в МАДИ и РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева [2, 6], разработан алгоритм гидравлического расчёта ГТС различного назначения (водосбросов, водовыпусков, переходов, ливнеотводов, рыбопропускных и ландшафтных природоохранных сооружений, дренажей, малых и средних перепускных дорожных мостов, труб, галерей, ГТС малой энергетики и пр.) (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Автомобильный трубчатый переход на водотоке в процессе релининга

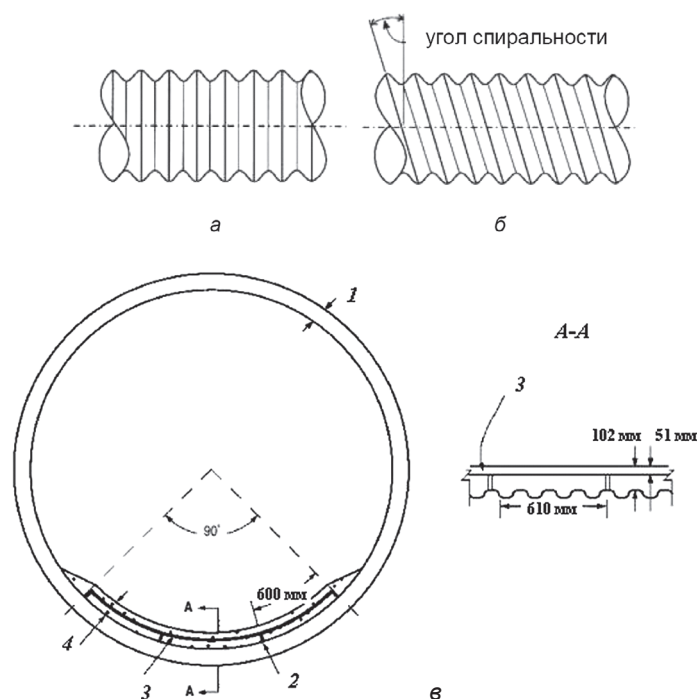


Рис. 2. Схемы транзитной части водопропускной трубы из МГК [2]:

- а – МГТ; б – СГМТ; в – поперечное сечение трубы с гладким лотком и углом 90° кольцевого сектора (США) [8];
- 1 – лист с гофром высотой 51 мм (13,25 «);
- 2 – металлические штыри, приваренные к гофрированному листу;
- 3 – сварная решетка, приваренная к металлическим штырям;
- 4 – лоток из бетона толщиной 100 мм

Обработка опытных данных состояла в определении: коэффициентов расхода, сопротивлений и шероховатости; глубин на входе в трубу и на выходе из неё; критической глубины; критического уклона и нормальной глубины при безнапорном и полунпорном режимах. В процессе обработки опытных данных специально созданная компьютерная программа в автоматическом режиме строила пьезометрические линии, с использованием которых рассчитывались коэффициенты сопротивления λ и на входе $\zeta_{\text{вх}}$ при напорном движении, а при безнапорном движении – нормальные глубины h_0 и коэффициенты шероховатости n . Строились графики зависимости λ от числа Рейнольдса Re [2].

Предлагаемый алгоритм основан на обобщении зарубежного и отечественного опыта в области гидравлических исследований трубчатых сооружений из МГК, анализа особенностей проектирования, строительства и эксплуатации таких сооружений в водохозяйственном строительстве, принципов гидравлического расчёта, оценки состояния водного потока и работы водопропускного сооружения в соответствии с основными положениями существующих нормативно-технических указаний [1, 2]. Он может быть использован при корректировке расчётов по нормативным регламентированным методикам, при проектировании новых и реконструкции действующих или требующих срочного релининга водопропускных ГТС (рис. 1).

Задачей расчёта является запроектировать, например, водопропускную трубу на пропуск расчетного расхода Q в соответствии с гидрографом и графиками пропускаемых паводков при ряде исходных данных: вид водопропускного сооружения из МГК; предварительные параметры круглого сечения трубы (диаметр d , наличие гладкого лотка, тип и размеры гофра, материал трубы, наличие покрытия в соответствии с каталогом завода-производителя МГК или типовым проектом); расчётные уровни воды в верхнем и нижнем бьефе; параметр

расхода $\theta = \frac{Q}{\sqrt{gd_p^{5/2}}}$; характер протекания

воды в транзитной части (безнапорный, полунпорный, напорный либо частично-напорный режимы); уклон дна трубы i_T в соответствии с уклоном местности и её длина l_T ; количество отверстий или ярусов труб; наличие и конструкция входных и выходных оголовков; характеристики подводящего

и отводящего русла; способ укладки трубопровода (открытый или закрытый); средняя высота (отметка гребня), ширина, заложение откосов и характеристики грунтов насыпи (плотины, дамбы) и армогрунтовой обоймы. Расчётные расходы принимаются по гидрографам и графикам расчётных паводков, которые назначаются в соответствии с СП 35.13330.10.2011 и СП 58.13330.2012: для водопропускных труб на автодорогах – в зависимости от их категории, для водосбросов – от класса ГТС и т.д.

При определении параметра расхода θ можно считать, что для гофрированных труб, имеющих малый шаг гофра, d_p – расчетный (эффективный) диаметр трубы из МГК близок к внутреннему [2]. При наличии гладкого лотка d_p принимается равным

$$d_p = \sqrt{\frac{4(\omega_{\text{вн}} - \omega_{\text{г.л.}})}{\pi}}, \quad (1)$$

где $\omega_{\text{вн}}$ и $\omega_{\text{г.л.}}$ – соответственно внутренняя площадь сечения и площадь, занимаемая гладким лотком.

При его отсутствии, учитывая сложность определения объема вихревых зон для плавных выступов и от числа Рейнольдса Re , следует считать в качестве расчетного внутренний диаметр трубы. При этом получаемые экспериментальные результаты можно без пересчета сравнивать с данными зарубежных и отечественных исследований, проведенных ранее [4, 5, 7].

Результаты исследований. Алгоритм включает несколько расчётных моментов, в результате которых получают выходные параметры (гидравлические характеристики потока на основных конструктивных элементах водопропускного сооружения: входном и выходном оголовке, средней водопроводящей части трубчатого сооружения), данные для гидротехнического расчёта всего водного объекта в целом, оценки глубины размыва за сооружением, выбора оптимальных габаритов элементов укрепления верхнего и нижнего бьефа и проверки превышения бровок земляного полотна насыпи или гребня плотины над уровнем воды в бьефах для нахождения основных контролируемых количественных показателей при дальнейшей оценке безопасности грунтовых подпорных сооружений гидроузла.

На предварительном этапе при отсутствии данных о размерах трубы следует сначала подобрать стандартный диаметр отверстия круглой трубы d_p , обеспечивающий

пропуск расчетного расхода Q в безнапорном режиме с допустимой степенью заполнения трубы на входе, и определить напор H перед трубой. Глубины и скорости потока в конкретном сооружении из МГК в основном определяются значением коэффициента шероховатости n . После его нахождения оценивают глубины и скорости на выходе из трубы.

В заключение проверяют некоторые количественные показатели безопасности ГТС, например, запас гребня подпорного сооружения над уровнем верхнего бьефа. Для трубчатых водосбросов при грунтовых плотинах запас минимального превышения гребня плотины над отметкой расчетного уровня воды в верхнем бьефе гидроузла, являющийся одним из критериев безопасности, независимо от режима работы труб из МГК, должен быть не менее 1 м и определяться с учётом наката и нагона волны в соответствии с СП 38.13330.2012. Для дорожных труб – превышение бровки

гребня насыпи над расчётным форсированным уровнем или максимальным уровнем в водотоке с учётом аккумуляции и подпора при работе в безнапорном режиме должно быть не менее 0,5 м, а в полунапорном – 1 м.

Выполненные экспериментальные гидравлические исследования модели металлической гофрированной трубы с нормальной формой гофра на примере МГТ с гофром $130 \times 32,5$ мм [2] и СГМТ с уклонами в диапазоне $i_t = 0,01 \dots 0,096$, длиной $l/d_p = 22 \dots 28$, с гладким лотком по дну, занимающим 1/3 внутреннего периметра трубы, и без него и разными конструкциями входного участка (входом без оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы, порталным и раструбным), работающей по типу равнинной «короткой» водопропускной трубы [1, 5, 6], позволили отметить ряд основных принципиальных моментов расчётного обоснования труб из МГК в соответствии с блок-схемой, приведённой на рисунке 3.

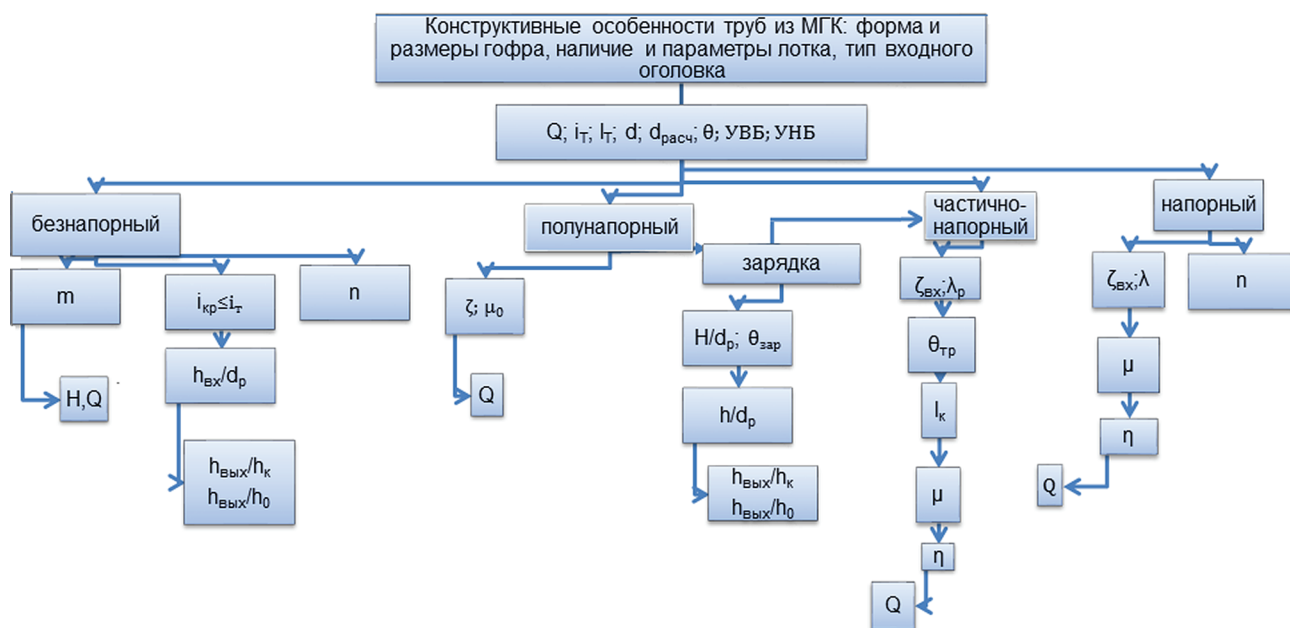


Рис. 3. Блок-схема алгоритма гидравлического расчёта при проектировании водопропускных труб с нормальной (МГТ) и спиральной (СГМТ) формой гофра с обычной и повышенной абразивной устойчивостью донной части

1. При безнапорном движении воды в МГТ, при отсутствии защитного лотка на дне значения коэффициента шероховатости n практически стабильны и не зависят от наполнения трубы ($n_n = 0,035$). При наличии гладкого лотка и при безнапорном режиме работы МГТ и расчетном заполнении на входе $h_{vx}/d_p = 0,75$ можно принимать $n_n = 0,019$, а при $h_{vx}/d_p = 0,9 \dots 1,0$ – $n_n = 0,0205$. Максимальное значение коэффициента

шероховатости при безнапорном движении воды в МГТ может быть установлено по зависимости (2)

$$n_n = 0,02 + 0,034i_t \quad (2)$$

2. При любых конструктивных решениях оголовков в СГМТ без гладкого лотка при наполнениях менее $0,15h_0/d$, значение коэффициента шероховатости для натурной

трубы равно $n_n \approx 0,0248$. При росте наполнения до $0,45h_0/d$ в соответствии с имеющимся уклоном трубы i_t и конструктивным оформлением оголовка значения n_n могут увеличиться до максимального $n_n = 0,0267$ при $i_t = 0,03$ и до $n_n = 0,03$ при $i_t = 0,05$, т.е. примерно на 12,5%. Для СМГТ без входного оголовка и разным исполнении дна трубы значение n может быть найдено по графическим зависимостям, приведённым в [2, 4, 5, 6].

3. При установке гладкого лотка критический уклон i_k МГТ диаметром $d = 1$ м, работающей в безнапорном режиме с заполнением $h_{вх}/d_p = 0,75$, равен $i_k = 0,009$. Для МГТ другого диаметра, с такой же формой гофра и размером лотка, значения i_k определяют в зависимости от параметра расхода θ по предлагаемым графикам [2, 4, 5, 6].

СМГТ с $d = 1,2$ м без входного оголовка и с оголовком – порталная стенка, работающая в безнапорном режиме с расчетным заполнением на входе $h_{вх}/d_p = 0,75$, независимо от уклона i_t пропускает близкие расходы, соответствующие параметру расхода $\theta \approx 0,29$. При этом значение критического уклона i_k изменяется в пределах от 0,016 до 0,019, а при раструбном оголовке можно принимать соответственно $\theta \approx 0,348$ и $i_k \approx 0,017... 0,021$. При установке гладкого лотка критический уклон СМГТ i_k находят по экспериментальным графикам в зависимости от параметра расхода θ [6]. Для труб из МГК другого диаметра с таким же гофром значение i_k можно найти, разделив установленное в зависимости от параметра расхода θ значение i_k на корень квадратный из диаметра трубы (\sqrt{d}), подставляя d в метрах.

4. Значение коэффициента расхода m при безнапорном режиме определяется в соответствии с расчетной зависимостью (3), указывающей на рост его значения при увеличении уклона МГТ с лотком по дну

$$m = 0,37 + 0,15i_t. \quad (3)$$

Значение коэффициента расхода m СМГТ можно принять в зависимости от типа оголовка (для входа без оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы, порталная стенка и раструбный) без лотка на дне соответственно – 0,34; 0,345 и 0,365, а при установке гладкого лотка по дну – на 10% больше.

5. Для расчета коэффициента шероховатости n при напорном движении в МГТ с лотком следует использовать формулу (4),

при этом максимальное значение n_n натурального гофра $130 \times 32,5$ мм равно 0,0238.

$$n_{г.л.} = \left(\frac{\chi_{г.л.} \cdot n_{г.л.}^{1,5} + \chi_{гофр} \cdot n_{гофр}^{1,5}}{\chi_{г.л.} + \chi_{гофр}} \right)^{0,64}, \quad (4)$$

где $\chi_{г.л.}$, $\chi_{гофр}$ – периметры сечения трубы, занимаемые соответственно гладким лотком и гофром; $n_{г.л.}$; $n_{гофр}$ – коэффициенты шероховатости гладкого лотка и гофра.

При нахождении коэффициента шероховатости n_n в СМГТ, работающей в напорном режиме, следует учитывать как i_t , так и модификацию оголовка. Значение коэффициента n_n при входе без оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы, при максимальном значении коэффициента гидравлического сопротивления λ составляет $n_n \approx 0,028$, а при входных оголовках – раструбном и порталная стенка – $n_n \approx 0,027$.

При $i_t = 0,03$ в СМГТ максимальное значение коэффициента шероховатости для всех исследованных режимов практически одинаково $n_n \approx 0,027$, но при $i_t = 0,05$ максимальное значение коэффициента шероховатости при напорном движении воды n_n следует принимать на 11% меньше, чем при безнапорном ($n_n = 0,03$).

6. Глубина на входе в МГТ с гладким лотком находится по зависимостям (5) – (7)

$$h_{вх}/d_p = K_1 + K_2\theta, \quad (5)$$

где для исследованных моделей значения коэффициентов K_1 и K_2 , полученные экспериментально

$$K_1 = 0,242 - 0,233i_t. \quad (6)$$

$$K_2 = 1,656 - 0,58i_t. \quad (7)$$

Трубы из МГК плавно «заряжаются» и устойчиво работают в полунапорном, частично-напорном и напорном режимах [2, 6].

Глубина потока на входе в СМГТ без лотка по дну определяется в зависимости от типа входного оголовка и параметра расхода θ по зависимостям, приведённым в таблице 1, при этом уклон трубы не учитывается.

При входе без оголовка в трубчатое сооружение как из гладких труб, так и из металлических гофрированных труб с любой формой гофра, значения входных глубин достаточно близки.

7. Глубина на выходе из МГТ $h_{вых}$ с гладким лотком по дну находится в долях от критической глубины h_k ($h_{вых}/h_k$)

по зависимостям, приведённым в таблице 2. Если $i_t \geq i_k$, то глубину на выходе можно также устанавливать и в долях от нормальной глубины h_0 , принимая $h_{\text{вых}}/h_0 \approx 0,85$.

Глубина воды на выходе СГМТ ($h_{\text{вых}}/h_k$) достаточно точно определяется в зависимости от уклона трубы, по таблице 3, а конструкцию оголовка при этом можно не учитывать.

Для более точного установления относительных глубин на выходе $h_{\text{вых}}/d$ из СГМТ без входного оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы с защитным бетонным лотком по дну при безнапорном режиме работы с нормативно-максимально допустимой степенью заполнения трубы на входе ($h_{\text{вх}}/d = 0,75$), следует использовать экспериментальные данные, приведенные в [6].

Таблица 1

Относительная глубина на входе в СГМТ $h_{\text{вх}}/h_k$ без лотка по дну

i_t	Тип оголовка	$h_{\text{вх}}/d_p$	№ зависимости
0,03	без оголовка	$0,22 + 1,87 \theta$	(8)
	портальная стенка	$0,22 + 1,8 \theta$	(9)
	раструбный	$0,25 + 1,43 \theta$	(10)
0,05	без оголовка	$0,22 + 1,84 \theta$	(11)
	портальная стенка	$0,25 + 1,75 \theta$	(12)
	раструбный	$0,28 + 1,38 \theta$	(13)

Таблица 2

Относительная глубина на выходе из МГТ $h_{\text{вых}}/h_k$ с гладким лотком по дну

i_t	q	$h_{\text{вых}}/h_k$	№ зависимости
0,01	$0,15 < \theta < 0,85$	$0,49 + 0,3\theta$	(14)
0,096	$0,05 < \theta < 0,95$	$0,35 + 0,23\theta$	(15)

Таблица 3

Значения относительных глубин $h_{\text{вых}}/d$ на выходе из СГМТ при различных уклонах круглых труб i_t

Рекомендации	$h_{\text{вых}}/d$		
	$i_t = 0,01$	$i_t = 0,03$	$i_t = 0,05$
СГМТ без защитного лотка	0,38	0,349	0,341
СГМТ с защитным лотком	0,375	0,314	0,278

8. При полунапорном режиме для МГТ с гладким лотком по дну при $i_t = 0,01 \dots 0,031$ для расчета пропускной способности по формуле (16) следует принимать $\varepsilon = 0,62$ и $\mu_0 = 0,64$.

$$Q = \mu_0 \omega \sqrt{2g(H_0 - \varepsilon d)}, \quad (16)$$

где μ_0 – коэффициент расхода, учитывающий сопротивление, испытываемые потоком при входе в водопропускную трубу, назначаемый в зависимости от типа входного оголовка; $\omega = 0,785d^2$ – площадь сечения; H_0 – гидродинамический напор; ε – коэффициент, определяемый типом входного оголовка.

Обычно скоростным напором перед МГТ пренебрегают, подставляя в формулу (16) вместо H_0 значение H . Значение коэффициента ε больше 0,5, но меньше

1,0 и определяется по данным экспериментальных исследований [2, 6]. При $i_t > 0,031$ – $\varepsilon = 0,66$ и $\mu_0 = 0,71$.

При расчёте СГМТ на работу в полунапорном режиме при уклоне трубы менее 0,1 следует принимать коэффициенты: $\varepsilon = 0,73$ и $\mu_0 = 0,65$ (вход без оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы), $\varepsilon = 0,72$ и $\mu_0 = 0,67$ (портальная стенка), $\varepsilon = 0,7$ и $\mu_0 = 0,68$ (раструбный).

9. Параметры расхода θ , при которых происходит «зарядка» МГТ и СГМТ как с лотком, так и без него, можно найти по графической зависимости $\theta = f(i_t)$. «Зарядка» СГМТ происходит при меньших значениях H/d_p ; θ ; $h_{\text{вх}}/d$, но несколько большем относительном

наполнении h_0/d , чем в МГТ, уточнённые значения их можно определить так же [2].

10. Расчет пропускной способности труб из МГК при частично-напорном режиме выполняется по формулам (17) и (18).

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g(H_0 + i\ell - \eta d)}, \quad (17)$$

где μ – коэффициент расхода, учитывающий потери при напорной работе трубы и равный

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{\text{вх}} + \lambda \frac{\ell}{d}}}, \quad (18)$$

$\zeta_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивлений на входе, определяемый типом входного оголовка; λ – коэффициент Дарси; η – коэффициент, учитывающий распределение давления в выходном сечении трубы.

Значение коэффициента η для гофрированных труб принимается переменным в зависимости от значения параметра расхода θ [2, 6]: при $\theta \geq 1,35$ – $\eta = 0,5$, а при $\theta \leq 1,35$ подсчитывается по зависимости

$$\eta = 1,35 - 0,63\theta. \quad (19)$$

Для расчёта по ним длину концевого безнапорного участка $\ell_{\text{к}}$ находят в зависимости от θ и $i_{\text{т}}$, используя соответствующие графики для МГТ и СГМТ [2, 5, 6]. Значение коэффициента η , учитывающего распределение давления в концевом сечении участка труб из МГК с лотком по дну и без него, работающего полным сечением, в диапазоне изменения $\theta = 0,7 \dots 1,4$ находят по зависимости (20), а при $\theta \geq 1,4$ – можно считать $\eta = 0,5$.

$$\eta = 1,37 - 0,62\theta. \quad (20)$$

Выводы

Выполнена оптимизация схемы гидравлических расчётов для повышения уровня безопасности работы комплекса «металлическая гофрированная водопропускная труба – грунтовая обойма – подпорное перегораживающее сооружение» при пересечении с транспортными магистралями разных категорий. Условия внедрения приведенных рекомендаций ограничены круглой формой поперечного сечения транзитной части трубчатого сооружения. При гидравлическом расчёте водопропускных сооружений из инновационных спиральновитых гофрированных металлических труб (СГМТ) по разработанному алгоритму, следует учитывать, что на водотоках РФ

большинство СГМТ в настоящее время пока имеют диаметр от 1 м до 3,6 м и выполняются в основном с гофром 125×25 мм при угле спиральности $9^\circ 21'$, поэтому при расчёте параметров потока в транзитной части сооружения и на его концевых участках с другими конструктивными элементами необходима корректировка их значений с использованием данных, полученных на основе модельных исследований таких трубчатых сооружений.

Алгоритм расчётного обоснования водопропускных трубчатых сооружений из МГК с нормальной и спиральновитой формой гофра учитывает геометрические и гидравлические характеристики основных конструктивных элементов водопропускных сооружений и должен облегчить правильный выбор инновационных технических решений при проектировании, сравнении вариантов, реконструкции ГТС комплексного назначения и строительстве лёгких, быстровозводимых конструкций из сборных металлических гофрированных элементов.

Реализация полученных рекомендаций позволит повысить эффективность применения как МГТ с гладким лотком по дну, так и СГМТ с повышенной абразивной устойчивостью, только начинающих активно использоваться в водохозяйственном и транспортном строительстве РФ; уточнить действующие методики по оценке режимов работы и пропускной способности таких трубчатых сооружений, определить параметры потока на выходе из них. Это даст возможность корректно выполнять расчёты для реальных конструкций трубчатых переходов различного назначения при обеспечении их функциональной, конструктивной и информационной надежности.

Библиографический список

1. ОДМ 218.2.087-2017 «Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из спиральновитых металлических гофрированных труб» – М.: ФГУП «Информавтодор», 2017. – 129 с.
2. Алтунин В.И., Черных О.Н., Федотов М.В. Водопропускные сооружения транспортных магистралей из металлических гофрированных структур. – М.: МАДИ, 2016. – 304 с.
3. Алтунин В.И., Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Повышение эффективности гидравлической работы дорожных водопропускных труб // Природообустройство. – 2016. – № 2. – С. 42-46.

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

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

6. **Ханов Н.В., Бурлаченко А.В.** Гидравлические аспекты обеспечения надёжной и безопасной работы трубчатых водопропускных сооружений из гофрированного металла // Природообустройство. – 2016. – № 5. – С. 32-40.

7. **Suetina T.A., Chernykh O.N. and 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 pp.

8. Service life of culverts. NCHRT. Synthesis of Highway Practice 474 / Transportation Research Board of the National Academies. – Washington, 2015. – 145 p.

9. **Орлов В.А., Зоткин С.П.** Компьютерная обработка и моделирование результатов

гидравлических экспериментов на безнапорных трубопроводах и их защитных покрытиях, используемых при строительстве и реконструкции систем водоотведения VII Междунар. симпозиум «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений (APCSCE2018)», VII International Symposium APCSCSE, July, 1-8, 2018, Novosibirsk, Russia, тезисы докладов, – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2018. – 268 с.

Материал поступил в редакцию 15.05.2019 г.

Сведения об авторах

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

Ханов Нартмир Владимирович, доктор технических наук, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; e-mail: vkhanov@yahoo.com

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

O.N. CHERNYKH, N.V. KHANOV

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

A.V. BURLACHENKO

JSC «Mercedes –Benz Rus», Moscow

HYDRAULIC ASPECTS OF THE PRINCIPLES OF ESTIMATED JUSTIFICATION OF PIPE CULVERTS MADE OF METAL CORRUGATED STRUCTURES WITH A NORMAL AND SPIRAL GOFRA FORM

There are presented results of model hydraulic studies of culverts made of metal corrugated structures with a normal and spiral corrugation form. Recommendations are given on the use of a flowchart of the design algorithm and hydraulic calculation of structures made of steel corrugated pipes in the absence and installation of a smooth tray along the bottom for different flow modes: non-pressure, semi-pressure, part-pressure and pressure to ensure uninterrupted operation of the transport main passing along the dam crest or embankment, as well as a guaranteed passage of the calibration flow through the culvert after its reconstruction. It is noted that with hydraulic calculations for various types of corrugations and helicity angle used in world construction practice today, the difference in the calculation results of the main flow parameters without taking into account the experimental data on existing software systems can be significant.

Culverts of steel corrugated pipes, experimental studies, flow parameter, non-pressure, semi-pressure and pressure modes, roughness coefficient, flow depths.

References

1. ODM 218.2.087-2017 «Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из спиралловых металлических гофрированных труб» FGUP «Информавтдор», 2017. – 129 с.
2. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Fedotov M.V.** Vodopropusknye sooruzheniya transportnyh magistralej iz metallicheskih gofirovannyh struktur. – M.: MADI, 2016. – 304 s.
3. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V.** Povyshenie effektivnosti gidravlicheskoj raboty dorozhnyh vodopropusknyh trub. // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 2. – S. 42-46.
4. **Altunin V.I., Chernikh O.N.** Hydraulic Resistance of a Helically Corrugated Metal Pipe Culvert // Power Technology and engineering, Volume 50, Issue 2, July, 2016. – P. 125-129.
5. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V.** Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance. // Power Technology and engineering. – November 2016, Volume 50, Issue 4. – P. 385-390.
6. **Khanov N.V., Burlachenko A.V.** Gidravlicheskie aspekty obespecheniya nadezhnoj i bezopasnoj raboty trubchatyh vodopropusknyh sooruzhenij iz gofirovannogo metalla // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 5. – S. 32-40.
7. **T.A. Suetina, O.N. Chernykh and A.V. Burlachenko.** 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 pp.
8. Service life of culverts. NCHRT. Synthesis of Highway Practice 474 / Transportation Research Board of the National Academies. – Washington, 2015. – 145 p.
9. **Orlov V.A., Zotkin S.P.** Kompyuternaya obrabotka i modelirovanie rezul'tatov gidravlicheskih experimentov na beznapornyh truboprovodah i ih zashchitnyh pokrytyah, ispol'zuyuemyh pri stroitel'stve i rekonstruktsii system vodootvedeniya VII Mezhdunarodny symposium «Aktual'nye problemy kompyuternogo modelirovaniya konstruktsij i sooruzhenij (APCSCE2018)», VII International Symposium APCSCE, July, 1-8, 2018, Novosibirsk, Russia, tezisy dokladov, – Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2018. – 268 s.

The material was received at the editorial office
15.05.2019 г.

Information about the author

Chernykh Olga Nikolaevna, candidate of technical sciences, associate professor of the department of hydraulic engineering structures of the Federal State Educational Institution of Higher Education of RGAU – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; tel.: 8 (499) 9762460; e-mail: gtsmgup@mail.ru

Khanov Nartmir Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Hydraulic Structures; FGBOU IN RGAU – MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; tel.: 8 (499) 9760015; e-mail: vkhanov@yahoo.com

Burlachenko Alena Vladimirovna, specialist of JSC «Mercedes-Benz RUS», 125167, Moscow, Leningradsky pr-t, 39A, tel.: 8 (499) 618054; e-mail: alena.burlachenko@daimler.com