

6. **Kiselev P.G., Altshul A.D., Danilchenko N.V.** Spravochnik po gidravlicheskim raschetam / P.G. Kiselev, A.D. Altshul, N.V. Danilchenko [i dr.]; pod red. P.G. Kiseleva. Izd. 4-e, pererabot. i dop. – M.: Eenergija, – 1972. – 312 s.

7. **Shterenliht D.V.** Gidravlika. 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos, 2004.

8. **Kosichenko Ju.M., Baev O.A., Ishchenko A.V.** Sovremennye metody borby s filtratsiej na orositelnyh sistemah // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2014. – № 3. – 12 s. – Rezhim dostupa: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_91_kosichenko.pdf_55f9154bc5.pdf.

9. **Kosichenko Ju.M., Borodin V.A., Ishchenko A.V.** Instruksija po raschetu vodopronitsaemosti i effektivnosti protivofiltratsionnyh oblitsovok kanalov. – M.: Sojuzgiprovodhoz, JuzhNIIGiM, – 1984. – S. 26-72.

10. **Kosichenko Ju.M., Zolotarev G.A., Evstratov N.A.** Tehnicheskie ukazaniya po primeneniju protivofiltratsionnyh ekranov iz rulonnyh polimernyh materialov na prudah-nakopiteljah stochnyh vod zhivot-

novodcheskih kompleksov. – Novocheerkassk: JuzhNIIGiM, – 1984. – S. 5-8.

11. **Baev O.A.** Primenenie planirovaniya eksperimenta dlja izuchenija vodopronitsaemosti ekrana iz geomembra-ny // Prirodoobustrojstvo. – 2014. – № 3. – S. 46-51.

The material was received at the editorial office
26.02.2018 g.

Information about the authors

Kosichenko Jurij Mihajlovich, doctor of technical sciences, professor, chief researcher, Research Institute of Land Improvement Problems (ROSNIIPM), 190 Baklanovskiy, Novocheerkassk, Rostov region, 346400, Russian Federation; +7(6352)265111; e-mail: Kosichenko-11@mail.ru

Garbuz Aleksandr Jur'evich, Postgraduate Student, Junior Researcher, Research Institute of Land Improvement Problems (ROSNIIPM), 190 Baklanovskiy, Novocheerkassk, Rostov region, 346400, Russian Federation; +7(6352)26508; e-mail: A.Y.Garbuz@mail.ru

УДК 502/504: 621.644: 532.54

DOI 10.26897/1997-6011/2018-4-40-47

О.Н. ЧЕРНЫХ, Н.В. ХАНОВ

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

А.В. БУРЛАЧЕНКО

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

ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЁТА ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ С КРУГЛОЙ ТРУБОЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ СТРУКТУР В ЧАСТИЧНО-НАПОРНОМ И НАПОРНОМ РЕЖИМАХ

Приводятся результаты модельных гидравлических исследований водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур. Рассмотрено влияние условий протекания транзитного потока на надёжность работы гофрированных труб с разной формой гофра (нормальной и спиральной) и повышенной абразивной устойчивостью донной части. Даны рекомендации по оценке длины концевого безнапорного участка транзитной части и пропускной способности равнинных гофрированных труб из металла при их работе в частично-напорном и напорном режимах. Отмечается, что при совершенствовании методики гидравлического расчёта закрытых водопропускных сооружений для внесения в расчётные программные комплексы и в разрабатываемые в настоящее время отраслевые методические рекомендации, необходимо учитывать выявленные особенности гидравлической работы круглых водопропускных металлических гофрированных труб, имеющих по дну дополнительное защитное покрытие в виде гладкого бетонного лотка.

Металлические гофрированные водопропускные трубы, нормальный и спиральный гофр, модельные исследования, безнапорный, полунпорный, частично-напорный и напорный режимы, гладкий лоток по дну, длина концевого участка.

Введение. При проектировании водопропускных сооружений различного назначения практически всегда приходится сталкиваться с довольно сложными конструктивными решениями, требующими точности расчётов и работы с большими объёмами данных [1-3]. По количеству возводимых сооружений и по суммарному объёму работ, выполняемых при дорожном строительстве, наибольшее распространение получили малые и средние водопропускные сооружения (соответственно, через водотоки с водосборной площадью до 100 км² и 100...250 км²). Сейчас частично или целиком в РФ используют импортные, а чаще – отечественные гофросистемы и МГК больших размеров (3...15 м) с разными типоразмерами гофра и формами поперечного сечения труб (круг, горизонтальный и вертикальный эллипс, полигональные, сечения грушевидной формы, арочные, полицентрические и др.).

С 2008 г. в РФ стали широко использоваться и МГК со спиральным гофром (далее по тексту СГМТ) в связи с промышленным освоением Севера и Востока, строительством дорог в Западной Сибири и олимпийских объектов в Сочи [1]. Отсутствие болтовых соединений (для удлинения конструкции используются бандажи) делает СГМТ более прочными, долговечными и легкими в сравнении с железобетонными трубами и практически исключает утечки воды. Средний срок эксплуатации труб из МГК при использовании современных средств защиты от коррозии в виде полимерных покрытий без капитального ремонта составляет 50...70 лет. Однако обеспечивается такой длительный срок только при условии гарантированной защиты МГК от абразивного разрушения водным потоком – устройстве гладкого лотка из бетона, полимербетона или асфальтобетона, укладываемого по дну. По зарубежным данным его устройство увеличивает срок безаварийной эксплуатации МГТ на 25 лет [4].

К водопропускной трубе, как к любому гидротехническому сооружению и другому элементу автомобильной дороги, предъявляются требования по обеспечению надёжности, долговечности, бесперебойности эксплуатации, а также безопасности движения транспортных средств. Обеспечение этих требований закладывается на стадии проектирования при соблюдении необходимой технологии строительства. Отсюда очевидна большая ответственность инжене-

ра при принятии проектных решений, как при строительстве, так и при релининге существующих водопропускных переходов на водотоках, экодюкеров и сооружений инженерной защиты. Согласно действующим нормам основные технические решения, принимаемые в проектах новых и реконструируемых труб, следует обосновывать путём сравнения технико-экономических показателей конкурентоспособных вариантов. Осознанный выбор с учетом всех возможных режимов работы и преимуществ позволит сэкономить на возведении и ремонте объектов и избежать чрезвычайных ситуаций.

Материалы и методы исследований. Бесперебойное функционирование транспортной магистрали обеспечивается при условии гарантированного пропускного расхода поверхностных вод под дорожной насыпью. Поэтому размер и конструкция дорожных перепускных труб из МГК принимаются только на основании их гидравлического расчета, согласно действующих ОДМ 218.2.001 [3] и ОДМ 2182087-2017 [7], который является обязательной и неотъемлемой частью каждого проекта водопропускного сооружения. Для этого существует и ряд программных систем («CREDO Трубы», «Топоматик Robur – Искусственные сооружения», IndorCulvert, которая может использоваться автономно или совместно с системой проектирования автомобильных дорог IndorCAD), где в разной степени реализована поддержка типовыми альбомами водопропускных труб. Однако корректное выполнение такого гидравлического расчета в настоящее время для труб из МГК затруднительно из-за многообразия гофрированных труб, применяемых сегодня в РФ. Например, рекомендации [3] разработаны на основе гидравлических исследований модели МГТ с одним видом гофра размером 130 × 32,5 мм, который применялся на то время в России. При этом исследования проводились без гладкого лотка по дну, устройство которого в настоящее время является обязательным элементом труб из МГК.

Гидравлические исследования спиральновитых труб в РФ начали проводиться лишь в последнее десятилетие под руководством В.И. Алтунина [1, 2, 5]. Поэтому отсутствует и апробированная методика их гидравлического расчета. Продолжающиеся совместные исследования МАДИ и РГАУ-МСХА на модели СМГТ $d = 1,2$ м с гофром 125 × 25 мм, широко используемым

в нашей стране, показывают, что официальные данные для всего ряда типизированных конструкций СГМТ о влиянии гладкого лотка на гидравлические сопротивления и в нашей стране, и за рубежом в настоящее время отсутствуют [5, 6].

Таким образом, в сложившейся ситуации в настоящий момент размеры и конструкция труб из МГК или вообще не обосновываются гидравлическими расчетами и назначаются условно, или выполняются с грубейшими ошибками. Это касается,

в первую очередь, выбора расчетного режима работы дорожного трубчатого водопропускного сооружения (безнапорный, полунанпорный, частично-напорный, напорный) [1]. Такое положение является недопустимым, противоречит существующим нормативным требованиям и, в конце концов, может способствовать частичному или даже полному разрушению МГТ, что в свою очередь приводит к длительным ремонтно-восстановительным работам на автодорогах и нарушению их функционирования (рис. 1).



Рис. 1. Примеры состояния и использования труб из МГК на автодорогах:
 а – разрушение 2-х очковой МГТ на 24 км дороги Хабаровск-Владивосток в первые годы эксплуатации, 2006 г.;
 б – удлинение железобетонных трубчатых водопропускных сооружений при помощи СГМТ без вскрытия насыпи

Результаты исследований. Наличие гладкого лотка по дну и его размеры уменьшают гидравлические сопротивления, испытываемые водным потоком, делают их значения переменными и зависимыми от наполнения трубы при безнапорном режиме работы МГТ, который является расчетным в России для водопропускных сооружений на дорогах постоянного применения [3]. Однако на временных дорогах нормативные документы позволяют проектировать трубы в полунанпорном и напорном режимах. После проведения капитального ремонта методом релинга (рис. 1б), при котором пропускная способность новой трубы за счёт уменьшения площади поперечного сечения может снизиться до 75%, скорее всего, сооружение будет работать с затопленным входным оголовком, т.е. в полунанпорном, напорном или частично-напорном режимах [1]. Однако, поскольку в нормативных документах работа дорожных труб на магистралях в таких режимах не допускается, то и рекомендации

по выполнению их гидравлического расчёта отсутствуют.

Работа водопропускной трубы в напорном режиме предпочтительнее по сравнению с полунанпорным, поскольку в этом режиме трубы обладают большей пропускной способностью, а растекание потока в нижнем бьефе за трубой и эффективность работы гасителей при расчётном расходе непосредственно связаны с наполнением трубы в выходном сечении. Однако в большинстве случаев не подтопленная со стороны нижнего бьефа труба после зарядки работает напорно только на части своей длины со стороны входного оголовка, а в концевом участке – движение безнапорное (рис. 2). Длина концевого безнапорного участка ℓ_k зависит от расхода Q . При анализе результатов модельных исследований для гладкостенных труб установлено, что труба начинает работать напорно на всей длине, как только параметр расхода $\theta = \frac{Q}{\sqrt{gd_p^{5/2}}}$ достигает величины $\theta_n = 0,7 \dots 1,0$ [1, 2].

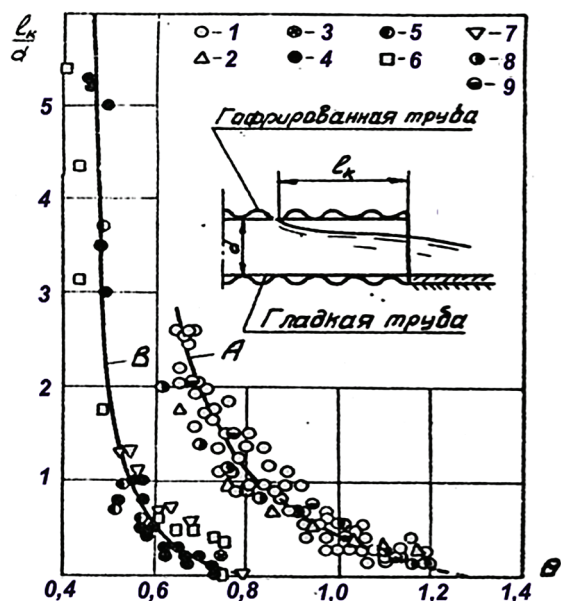


Рис. 2. График зависимости $l_k/d = f(\theta_n)$:
 1, 2, 8, 9 – опытные точки
 соответственно для МГТ диаметром
 $d = 0,19; 0,095; 0,092$ и $0,103$ м;
 3, 4, 5 – опытные точки соответственно
 для гладких труб $d = 0,187; 0,122$ и $0,1$ м;
 6, 7 – опытные точки В.А. Ширченко
 соответственно для гладких труб
 $d = 0,575$ и $0,054$ м;
 А, В – кривые, показывающие
 средние значения опытных точек
 исследованных гофрированной
 ($d = 0,19$ м) и гладкой труб
 соответственно (усредняющие)

Рекомендации различных авторов неоднозначны, что объяснялось раньше исследователями влиянием на θ_n условий выхода потока из трубы и её уклона i_T . Так первоначальные исследования В.И. Алтунина, проводившиеся в МАДИ, как с гладкими, так и с гофрированными трубами, выполненными в масштабе 1:5 из жести, показали, что экспериментальные данные для моделей с гладкими трубами (диаметром $d = 0,187; 0,122; 0,1$ м) и МГТ (диаметром $d = 0,095; 0,092; 0,103$ м) существенно отличаются (рис. 2) [3]. Длина концевого безнапорного участка определялась по количеству гофров от выходного отверстия до места отрыва потока от шелыги трубы. В экспериментах гладкие трубы имели нулевой или положительный уклон ($i_T = 0,01$ и $0,0133$), а МГТ диаметром $d_{\text{вн}} = 0,19$ м были выполнены длиной $l_T = 2,51$ м и $4,94$ м с уклонами $i_T = 0,01; 0,034$ и $0,1$ и гофром $0,013 \times 0,032; 0,026 \times 0,0064$ и $0,039 \times 0,0096$ м (первый размер шаг гофра, второй его высота). Анализ

результатов этих исследований показывает отсутствие заметного влияния уклона МГТ, их диаметра и размеров гофров на значения l_k и θ_n . Все экспериментальные точки достаточно близко располагались к усредняющей кривой «А». При $\theta_n = 1,2$ концевой участок у большинства моделей МГТ отсутствовал, но наблюдались периодические кратковременные отрывы потока от свода на выходе. Это позволяло ранее считать корректным определение длины концевого безнапорного участка МГТ без гладкого лотка по дну по графику, предложенному ЦНИИС [1, 2].

Все опытные точки, отвечающие моделям с гладкими трубами, тоже достаточно кучно располагались около усредняющей линии «В», а напорный режим наступал по всей длине несколько раньше, чем в МГТ – при $\theta_n = 0,8$. Эти результаты согласуются с имеющимися рекомендациями ЦНИИС, а также с опытными точками В.А. Ширченко. Думается, что на величинах длины концевого безнапорного участка в гладких трубах сказывалось явление прилипания потока к гладкой поверхности моделей. Поскольку у водопропускных бетонных труб поверхность шероховатая, то прилипания потока к ней в природе вряд ли будет наблюдаться и следует ожидать, что натурные водопропускные трубы будут работать устойчиво напорно при $\theta_n > 1,3$.

Анализ результатов показывает, что в диапазоне изменения значений параметра $\theta_n = 0,9...1,3$ длина l_k небольшая и не превышает расчётного диаметра трубы $d_{\text{вн}}$. Таким образом, в классические расчётные формулы [1, 5] при расчете пропускной способности гладкостенной и гофрированной круглых водопропускных труб без лотка по дну при частично-напорном и напорном режимах с незатопленным выходным отверстием в качестве расчётной следует подставлять полную длину трубы за вычетом длины концевого безнапорного участка l_k .

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g [H_0 + i_T (l_T - l_k) - \eta d_p]}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент расхода, учитывающий сопротивление водного потока на участке трубы, работающем полным сечением,

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{\text{вк}} + \lambda \cdot (l_T - l_k) / 4R}}; \quad (2)$$

ω – площадь сечения трубы, равная для круглых труб $\omega = \pi d_p^2 / 4$; H_0 – гидродинамический напор в верхнем бьефе перед трубой относительно дна входного сече-

ния; i_t , l_t – соответственно уклон и полная длина трубы; $\zeta_{вх}$, λ – соответственно коэффициенты гидравлического сопротивления на вход и по длине трубы; R – гидравлический радиус, для круглой трубы равный $d_p/4$; η – коэффициент, учитывающий распределение давления в концевом сечении участка трубы, работающего полным сечением [1]; d_p – расчетный диаметр гофрированной трубы, равный её минимальному внутреннему диаметру $d_{вн}$, если она не имеет гладкого лотка по дну.

Если же труба из МГК имеет гладкий лоток, то за расчетный диаметр принимается диаметр цилиндрической трубы, площадь сечения которой равна площади сечения гофрированной трубы, рассчитанной по $d_{вн}$ за вычетом площади, занимаемой гладким лотком.

Дальнейшие лабораторные исследования наиболее часто используемых в Рос-

сии на малых водотоках МГТ диаметром $d = 1$ м с гофром $130 \times 32,5$ мм, а затем СГМТ с $d = 1,2$ м с гофром 125×25 мм на модели из прозрачного пластика, позволявшей с внешней стороны точно регистрировать ℓ_k , показали, что при установке гладкого лотка по дну труб из МГК «зарядка» водопропускного сооружения происходит самопроизвольно [1, 2, 4, 5]. После «зарядки», исследуемые модели МГТ и СГМТ с защитным лотком по дну работали в частично-напорном режиме. Экспериментально установлено, что наличие гладкого лотка приводит лишь к увеличению длины концевого безнапорного участка по сравнению со случаем его отсутствия, особенно при $\theta_n < 1$ (соответственно рис. 3 и рис. 4).

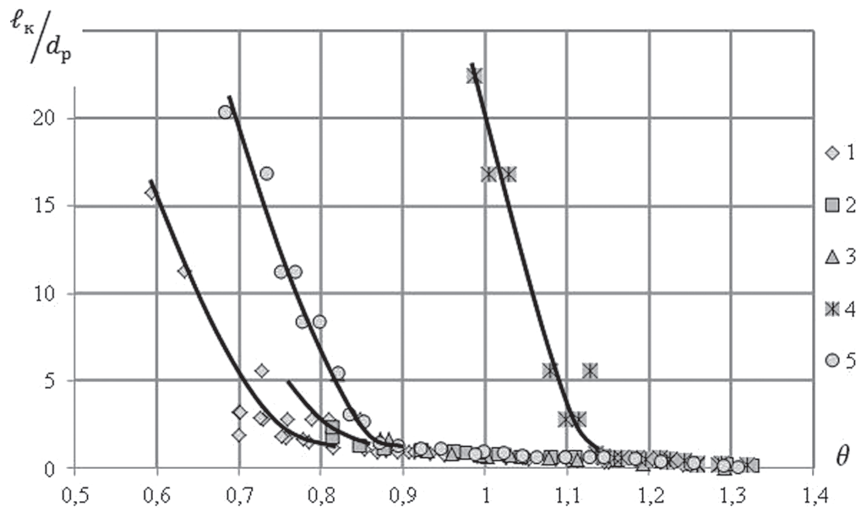


Рис. 3. Относительная длина концевого безнапорного участка $l_k/d_p = f(\theta)$ для исследованных моделей МГТ с гладким лотком по дну:
1, 2, 3, 4 – МГТ без входного оголовка соответственно при уклонах $i_t = 0,01; 0,031; 0,05$ и $0,096$;
5 – МГТ с входным оголовком – порталная стенка при $i_t = 0,05$

Изменение величины l_k/d_p происходит по кривой, имеющей два характерных участка. На первом участке при малых значениях θ , соответствующих начальной фазе частично-напорного режима, происходит существенное уменьшение относительной длины l_k/d_p даже при небольшом увеличении параметра θ . При достижении параметром расхода некоторого граничного значения θ_n относительная длина концевого безнапорного участка уменьшается до $l_k/d_p \approx 1,3$. На нем с увеличением θ происходит плавное уменьшение значений l_k/d_p . Напорное движение воды по всей длине исследованных моделей наступает при практически одинаковом параметре расхода $\theta_n \approx 1,3$. Все модели с различными уклонами имеют

свои характерные первые участки, а вот вторые участки у них при одинаковых параметрах расхода практически совпадают.

На аналогичном графике для СГМТ экспериментальные точки расположились по трем кривым, каждая из которых объединяет точки одного из исследованных уклонов трубы (рис. 4). У каждой кривой точки располагаются по двум участкам, подобно тому, как они расположились на рисунке 3 для исследованной модели МГТ с гладким лотком по дну. Хотя общий вид графиков одинаковый, но экспериментальные точки на них при одинаковых уклонах не совпадают. Так, исследованным моделям со спиральным гофром при уклонах трубы $i_t = 0,01$;

0,03 и 0,05 соответствуют $\theta_n \approx 0,66$; 0,69 и 0,72 при относительной длине концевого безнапорного участка $\ell_k/d_p \approx 1,79$; 1,67 и 1,55. Они больше, чем у МГТ с гладким лотком по дну, для которой θ_n соответствует $\ell_k/d_p \approx 1,3$. Ис-

следованным уклонам модели СГМТ $i_T = 0,01$; 0,03 и 0,05 соответствует заметно меньшее значение параметра θ_n , чем у модели с нормальным гофром и гладким лотком по дну при тех же уклонах $\theta_n = 0,8$; 0,85 и 0,9.

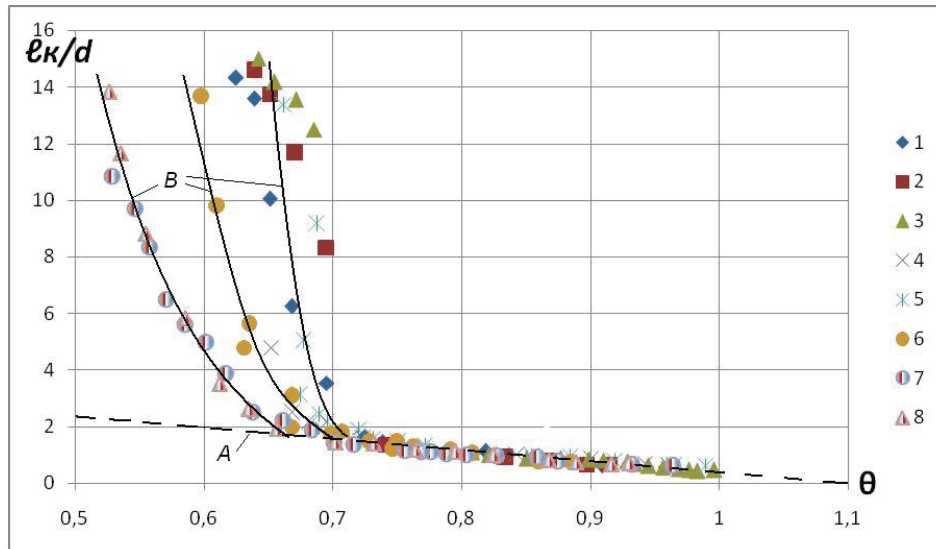


Рис. 4. График зависимости $\ell_k/d_p = f(\theta)$ для исследованных моделей СГМТ: 1, 2, 3 – модель СГМТ при уклоне $i_T = 0,05$ с входом без оголовка, порталный и раструбный соответственно; 4,5,6 – модель СГМТ при уклоне $i_T = 0,03$ с оголовками порталный, раструбный и без входного оголовка соответственно; 7,8 – модель СГМТ при уклоне $i_T = 0,01$ с оголовками порталный и без входного оголовка соответственно

При $\theta \geq \theta_n$ относительная длина концевого безнапорного участка вне зависимости от уклона трубы и типа входного оголовка может быть установлена для СГМТ по зависимости (линия «А» на рис. 4)

$$\frac{\ell_k}{d} = 4,5 - 4,1\theta. \quad (3)$$

При $\theta < \theta_n$ относительную длину ℓ_k/d следует устанавливать по кривым «В» (рис. 4) в зависимости от уклона трубы i_T и параметра расхода θ . При $\theta \geq 1,1$ длину концевого безнапорного участка следует принимать равной нулю, т.е. считать, что в трубе на всей длине движение напорное и СГМТ работает в этом режиме с незатопленным выходным отверстием.

В диапазоне применяемых в РФ уклонов дорожных труб ($i_T \leq 0,05$) с достаточной для практических расчетов точностью значение θ_n для МГТ с лотком по дну можно определить по зависимости

$$\theta_n = 0,78 + 2,38i_T. \quad (4)$$

Для СГМТ по зависимости

$$\theta_n = 0,645 + 1,5i_T. \quad (5)$$

При устройстве труб из МГК с уклонами $i_T > 0,05$ более точные значения θ_n следует находить по соответствующим экспериментально найденным графическим зависимостям [1].

Надо обратить внимание на то, что исследованные модели МГТ и СГМТ имели различные типы входного оголовка (без оголовка, порталный, раструбный). При $i_T = 0,05$ тип входного оголовка не повлиял на длину концевого безнапорного участка в СГМТ, т.е. для различных исследованных условий входа величина ℓ_k/d_p оказалась практически одинаковой. При входах без оголовка и с порталной стенкой с уменьшением уклона до $i_T = 0,03$ и 0,01 уменьшилась и величина ℓ_k/d_p . Причем для обоих оголовок длина концевого безнапорного участка практически одинаковая. Однако для раструбного входного оголовка уменьшение уклона трубы с $i_T = 0,05$ до $i_T = 0,03$ не повлияло на изменение ℓ_k/d_p .

Выводы

На основании анализа экспериментальных исследований водопропускных трубчатых сооружений из гофрированного металла можно сделать следующие выводы.

МГТ и СГМТ со стандартными типами входного оголовка при наличии гладкого лотка по дну и без лотка самопроизвольно «заряжаются». «Зарядка» в исследованном диапазоне уклонов дорожных труб $i_t = 0,01 \dots 0,05$ происходит достаточно плавно без резкого изменения напора перед трубой. После «зарядки» труба из МГК устойчиво работает в частично-напорном режиме, который потом плавно сменяется напорным. Это позволяет рекомендовать проектировать МГТ и СМГТ на пропуск расчетного расхода в частично-напорном и напорном режимах.

С увеличением пропускаемого расхода при частично-напорном режиме в водопропускных трубах из МГК любого конструктивного оформления происходит уменьшение длины концевой безнапорного участка, соответственно при этом со стороны входного оголовка длина участка трубы, работающего полным сечением, увеличивается. При работе МГТ с гладким лотком по дну с параметром расхода $\theta \geq \theta_n$ длина концевой безнапорного участка небольшая (не превышает $1,3d_p$), поэтому при оценке её пропускной способности в качестве расчетной длины без большой погрешности можно принимать полную длину трубы. Заметное изменение относительной длины концевой безнапорного участка l_k/d_p происходит при $\theta < 0,9$. Для определения относительной длины концевой безнапорного участка предложены графики $l_k/d_p = f(\theta)$ для МГТ и СГМТ в зависимости от их уклона.

Библиографический список

1. Алтунин В.И., Черных О.Н., Федотов М.В. Водопропускные трубы в транспортном строительстве. Гидравлическая работа труб из металлических гофрированных структур. – М.: МАДИ, 2012. – 269 с.
2. Алтунин В.И. Исследование длины концевой безнапорного участка в круглой водопропускной трубе, работающей напорно. Гидравлика дорожных водопропускных со-

ружений /под редакцией Л.И. Высоцкого. – Саратов: 1985. – С. 63-65.

3. ОДМ 218.2.001-2009 «Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (Дорожно-климатических зон)». – М.: ФДА (РОСАВТОДОР), 2009. – 200 с.

4. 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.

5. Алтунин В.И., Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Экспериментальные исследования металлической гофрированной водопропускной трубы при частично-напорном режиме. // Приволжский научный журнал, – 2015. – № 1. – С. 28-36.

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

7. ОДМ 218.2.087-2017 «Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из спиральновитых металлических гофрированных труб» – М.: ФГУП «Информавтодор», 2017. – 129 с.

Материал поступил в редакцию 15.12.2017 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; тел.: +7(499)9762460; 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; тел.: +7(499)9762187; e-mail: nvkhanov@yahoo.com

Бурлаченко Алена Владимировна, специалист АО «Мерседес-Бенц РУС»; 125167, г. Москва, Ленинградский пр-т, 39А; тел.: +7(499)6180514; e-mail: alena.burlachenko@daimler.com

O.N. CHERNICH, N.V. KHANOV

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

A.V. BURLACHENKO

AO «Mercedes-Benz RUS», Moscow, Russian Federation

FEATURES OF HYDRAULIC CALCULATION OF CULVERTS WITH A ROUND PIPE MADE OF METAL CORRUGATED STRUCTURES IN PARTIALLY-PRESSURE AND PRESSURE MODES

The results of model hydraulic studies of culverts of metal corrugated structures are presented. The influence of transit flow conditions on the reliability of corrugated pipes with different shapes of corrugations (normal and spiral wound) and increased abrasion resistance of the bottom is considered. There are given recommendations on assessment of the length of the end non-pressure part of the transit part and flow capacity of plain corrugated metal pipes during their operation in partial pressure and pressure regimes. It is noted that the revealed features of the hydraulic operation of circular culvert metal corrugated pipes having an additional protective coating on the bottom in the form of a smooth concrete tray should be taken into account when improving the methodology for hydraulic calculation of closed culverts and to introduce them into computational software complexes and into currently developed industrial methodological recommendations.

Metal corrugated culverts, normal and spiral corrugations, model studies, non-pressure, semi-pressure, partial-pressure and pressure regimes, smooth tray on the bottom, length of the end section.

References

1. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Fedotov M.V.** Vodopropuskiye trubyy v transportnom stroitel'stve. Gidravlicheskaya rabota trub iz metallicheskih gofrirovannykh struktur. – M.: MADI, 2012. – 269 s.
2. **Altunin V.I.** Issledovanie dliny kontsevogo beznapornogo uchastka v krugloy vodopropuskoj trube, rabotayushchej naporno. Gidravlika dorozhnykh vodopropusnykh sooruzhenij / pod redaktsiej L.I. Vysotskogo. – Saratov: 1985. – S. 63-65.
3. ODM 218.2.001-2009 «Rekomendatsii po proektirovaniyu i stroitel'stvu vodopropusnykh sooruzhenij iz metallicheskih gofrirovannykh struktur na avtomobilnykh dorogah obshchego pol'zovaniya s uchetom regionalnykh uslovij (Dorozhno-klimaticheskikh zon). – M.: FDA (ROSAVTODOR), 2009. – 200 s.
4. 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.
5. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V.** Experimental'nyye issledovaniya metallocheskoj gofrirovannoj vodopropuskoj trubyy pri chastichno-napornom rezhime. // Pri-volzhskij nauchnyj zhurnal. – 2015. – № 1. – S. 28-36.
6. **Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V.** Povyshenie aktivnosti gidravlicheskoj raboty dorozhnykh vodopropusnykh trub. // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 2. – S. 42-46.
7. ODM 218.2.087-2017 «Rekomendatsii po proektirovaniyu i stroitel'stvu vodopropusnykh sooruzhenij iz spiral'novitykh metallicheskih gofrirovannykh trub». – M.: ФГУП «Informavtodor», 2017. – 129 c.

The material was received at the editorial office
15.12.2017 g.

Information about the authors

Chernyh Olga Nikolaevna, candidate of technical sciences, professor of the chair of hydraulic structures, FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Akademicheskaya, 44; tel.: +7(499)9762460; e-mail: gtsmgup@mail.ru

Khanov Nartmir Vladimirovich, doctor of technical sciences, head of the chair of hydraulic structures, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

Burlachenko Alena Vladimirovna, specialist AO «Mercedes-Benz RUS», 125167, Moscow, Leningradsky pr-t, 39A, tel.: +7(499)618054; e-mail: alena.burlachenko@daimler.com.