УДК 625.745.2.042.1
Логинова О.А. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: loginova@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Гидравлический расчет заиленных водопропускных труб

Аннотация

В статье представлены основные положения по гидравлическому расчету заиленных труб. Расчеты проведены при различных уровнях заиления. Итоговые результаты свелись к безразмерному виду. В результате этого графики пропускной способности круглых труб различных диаметров совпали, что говорит о верности выбранных в расчетах предположений. Особое внимание следует обратить на 30 % заиление труб, при котором происходит смена гидравлического режима работы с безнапорного на полунапорный режим.

Представленная методика дает возможность прогнозировать работу водопропускных труб при различной степени заиления и выявить вероятность возникновения негативных последствий от эксплуатации заиленных сооружений.

Ключевые слова: водопропускная труба, заиление, автомобильная дорога.

Основными типами водопропускных сооружений, из всего многообразия искусственных сооружений, расположенных на автомобильных дорогах, являются водопропускные трубы. На современных автомобильных дорогах они составляют до 90 % от общего количества искусственных сооружений. В технических нормативах и руководствах по проектированию дорожных труб вопросы, связанные с возникновением заиления тела трубы и режимами их работы при различной степени заиления сооружения, не встречаются. В литературе [1, 2] встречаются только сроки проведения ремонта и службы труб.

Результаты натурного обследования водопропускных труб выявили, что заиление верхнего бьефа водопропускных труб – довольно частое явление в практике эксплуатации. Заиление обнаружено у 17-22 % обследованных водопропускных труб [3]. Поэтому этот вопрос имеет большое значение, и в расчетах необходимо предусматривать возможность заиления водопропускных труб.

В некоторых работах рассматриваются вопросы заиления труб и каналов и дается расчет каналов на незаиляемость [4].

Для гидравлического расчета были выбраны водопропускные трубы наиболее часто встречающихся сечений. Такими оказались трубы диаметрами 1,0 и 1,5 м. Для данных труб был проведен гидравлический расчет [5].

В расчетах приняты следующие допущения и предположения:

- режим работы труб – безнапорный;
- трубы являются «короткими» (у таких труб сжатое сечение не затапливается и на пропускную способность не влияет их длина).

Для расчета принята следующая расчетная схема:

- безнапорный режим сохраняется при условии:

$$H \le (0{,}8...0{,}9)h_m, \quad (1)$$

где H – высота воды перед трубой, м;

h_m – диаметр трубы, м.

В расчетах принято отношение:

$$H / h_m \le 0{,}85. \quad (2)$$

При безнапорном режиме расход определяется по формуле:

$$Q = mb_k \sqrt{2g} H^{3/2}, \quad (3)$$

где b_k – средняя ширина потока в сечении с критической глубиной, м;

H – подпертая глубина на входе относительно лотка трубы, м;
g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с^2;
m – коэффициент расхода при безнапорном режиме.

Для полунапорного режима расход определяется по формуле:

$$Q = \mu_П \omega_{coop} \sqrt{2g(H_o - \varepsilon_П h_m)}, \quad (4)$$

где $\mu_П$ – коэффициент расхода при полунапорном режиме;
ω_{coop} – площадь поперечного сечения сооружения, м^2;
g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с^2;
H_o – напор перед сооружением, м;
$\varepsilon_П$ – коэффициент сжатия;
h_m – высота трубы, м.

Исходя из формулы (2), определяется расчетный расход и подпертая глубина.

Для выяснения возможности перелива воды через дорожную насыпь определяется минимальная высота насыпи:

$$H_{нас\min} = h_m + \delta + \Delta_з + h_{д.о.}, \quad (5)$$

где h_m – высота трубы, м;
δ – толщина звена тела трубы, м.
$\Delta_з$ – минимальная толщина засыпки, $\Delta_з$=0,50 м
$h_{д.о.}$ – высота дорожной одежды, м.

Для дальнейших заиленных водопропускных труб были приняты следующие допущения и предположения. Заиленные трубы работают при тех же режимах, что и незаиленные, но при некоторой корректировке. Для этого решается система уравнений:

$$\frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{\omega_k^3}{B_k}, \quad (6)$$

$$Q = m b_k \sqrt{2g} H^{3/2}, \quad (7)$$

где α – коэффициент Кориолиса, α =1,1;
B_k – средняя ширина потока в заиленном сечении с критической глубиной, м;
Q – расход воды, м^3/с;
ω_k – площадь поперечного сечения водного потока над заилением, м^2;
b_k – средняя ширина потока в сечении с критической глубиной, м;
H – подпертая глубина на входе относительно заиления трубы, м;
g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с^2;
m – коэффициент расхода при безнапорном режиме.

Пошагово задаваясь критической глубиной h_k (рис. 1) при определенной толщине заиления $h_з$, определяется площадь заиления ω_k и расход Q:

$$Q = \sqrt{\frac{\omega_k^3 g}{\alpha B_k}}, \quad (8)$$

Далее определяется средняя ширина потока b_k:

$$b_k = \omega / h_k, \quad (9)$$

Затем находится подпертая глубина на уровне заиления трубы H:

$$H = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{m^2 b_k^2 2g}}, \quad (10)$$

Относительно нижней точки входного сечения трубы определяется подпертая глубина:

$$H_{отм} = H + h_з, \quad (11)$$

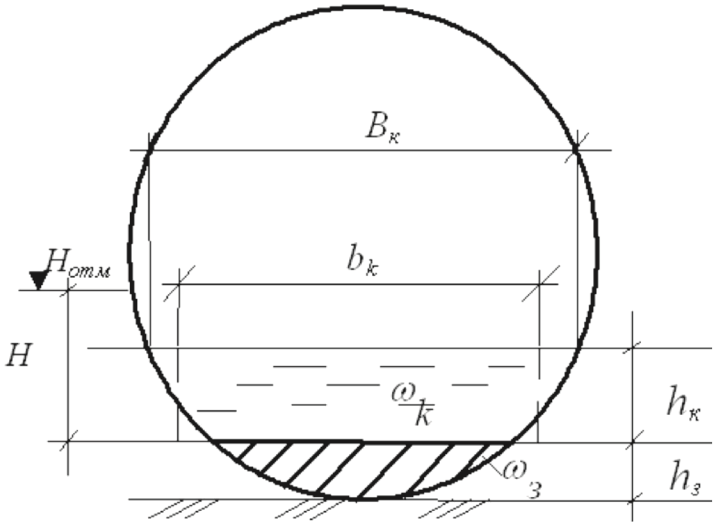

Рис. 1. Схема заиленной трубы круглого сечения

Выполнены расчеты труб различной степени заиленности. Итоговые результаты сведены к безразмерному виду. Гидравлические расчеты при 30 % заиления тела трубы диаметром 1,5 м приведены в табл. 1.

В результате приведения результатов вычислений к безразмерному виду пропускная способность труб диаметром 1,5 и 1,0 м оказалась одинаковой. Результаты представлены в графической форме на рис. 2.

Таблица 1

Гидравлический расчет трубы диаметром 1,5 м и 30 % заилением

$h_к$, м	$B_к$, м	$\omega_к$, м^2	Q, м^3/с	$b_к$, м	H, м	$h_з$, м	$H_{отм}$, м	$H_{отм}/H_р$	$Q/Q_р$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30% заиления $H_р$=1,28, м; Q=2,85 м^3/с Безнапорный режим									
0,05	1,43	0,08	0,06	1,60	0,09	0,45	0,54	0,42	0,02
0,10	1,44	0,15	0,14	1,50	0,16	0,45	0,61	0,48	0,05
0,15	1,47	0,22	0,25	1,47	0,24	0,45	0,69	0,54	0,09
0,20	1,49	0,29	0,38	1,45	0,32	0,45	0,77	0,60	0,13
0,25	1,50	0,36	0,53	1,44	0,40	0,45	0,85	0,66	0,19
0,30	1,50	0,44	0,71	1,47	0,48	0,45	0,93	0,73	0,25
0,35	1,50	0,52	0,91	1,49	0,56	0,45	1,01	0,79	0,32
0,40	1,49	0,59	1,11	1,48	0,64	0,45	1,09	0,85	0,39
0,45	1,47	0,67	1,35	1,49	0,73	0,45	1,18	0,92	0,47
0,50	1,44	0,74	1,58	1,48	0,81	0,45	1,26	0,98	0,55
0,55	1,43	0,81	1,82	1,47	0,90	0,45	1,35	1,05	0,64
0,60	1,35	0,87	2,09	1,45	0,99	0,45	1,44	1,13	0,73
0,65	1,34	0,95	2,39	1,46	1,08	0,45	1,53	1,20	0,84
0,70	1,28	0,99	2,60	1,41	1,17	0,45	1,62	1,27	0,91
Полунапорный режим									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,75	1,20	1,08	3,06	1,44	2,02	0,45	2,47	1,93	1,07
0,80	1,12	1,14	3,43	1,43	2,13	0,45	2,58	2,02	1,20
Перелив через насыпь H_{min} = 2,66 м									
0,85	1,03	1,22	3,97	1,44	2,29	0,45	2,74	2,14	1,39
0,90	0,90	1,24	4,35	1,38	2,47	0,45	2,92	2,28	1,53
0,95	0,74	1,27	4,97	1,34	2,78	0,45	3,23	2,52	1,74
1,00	0,53	1,30	6,08	1,30	3,46	0,45	3,91	3,05	2,13

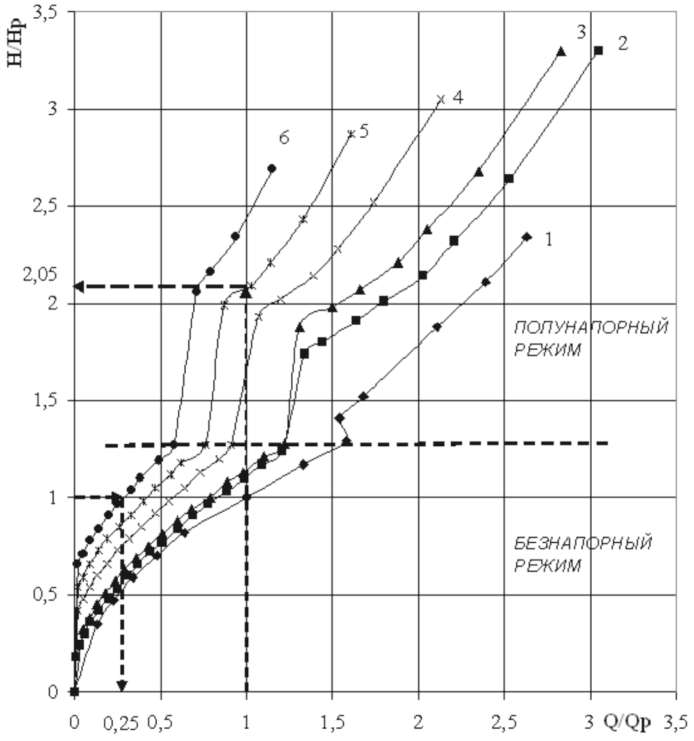

Рис. 2. График пропускной способности круглых труб:
1 – незаиленной трубы; 2 – 10 %-е заиление тела трубы; 3 – 20 %-е заиление тела трубы;
4 – 30 %-е заиление тела трубы; 5 – 40 %-е заиление тела трубы; 6 – 50 %-е заиление тела трубы

Как видно из графика, заиленные трубы имеют существенно меньшую пропускную способность, чем незаиленные.

Данные ОАО «Институт «Татдорпроект» показывают, что для трубы диаметром 1,0 м расчетный расход стока составлет Q=1,07 м^3/с при вероятности превышения 3 %, безнапорном режиме работы и высоте насыпи 2,10 м. Величина расчетного подпора перед трубой составляет Hр=0,85 м. По графику на рис. 2 определяется значение подпертой глубины на входе в трубу при различной степени заиления тела трубы при Q/Qр=1. И находится значение расхода Q при H/Hр=1. Результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные значения для круглой трубы

Заиление трубы	H/Hр	H, м	Q/Qр	Q, м^3/с
10 %	1,1	0,94	0,83	0,89
20 %	1,15	0,98	0,78	0,83
30 %	1,68	1,43	0,55	0,59
40 %	2,05	1,74	0,4	0,43
50 %	2,4	2,04	0,25	0,27

Как видно из табл. 2, при расчетном наполнении происходит уменьшение расхода в 1,2 раза при 10 % заилении; в 1,3 раза при 20 % заилении; в 1,8 раза при 30 % заилении; в 2,5 раза при 4 0% заилении и в 4 раза при 50 % заилении. При расчетном расходе (Q/Qр=1) величина подпора перед трубой увеличивается в 1,1 раза при 10 % заилении тела трубы; в 1,15 раза при 20 % заилении; в 1,68 раза при 30 % заилении, в 2,05 раза при 40 % заилении и в 2,4 раза при 5 % заилении тела трубы. Следовательно, водопропускные трубы при 30 %, 40 %, 50 % заилении продолжает свою работу уже в полунапорном режиме.

На основании анализа проведенных расчетов пропускной способности заиленных труб можно рекомендовать увеличение отверстия водопропускных труб, расположенных в зоне наибольшего эрозионного влияния. На дорогах Татарстана в зонах с наименьшей эрозионной прочностью грунта и возможного заиления рекомендуется применять трубы диаметром не менее 1,5 м. Также рекомендуется в этих зонах избегать многоочковых труб малых диаметров и по возможности применять одноочковые трубы большого диаметра. Если же выполнение данных рекомендаций по каким-либо причинам невозможно, предлагается увеличить высоту бровки земляного полотна и укрепить откосы насыпи от возможного размыва.

Список библиографических ссылок

1. Исследование гидравлической работы дорожных водопропускных сооружений и разработка рекомендаций по улучшению их эксплуатации на а/д МКАД–Волоколамск (20-103 км): Отчет о НИР / МАДИ; Руководитель В.И. Климешов. Тема № М090789; Инв. № 02910 034045. – М., 1989. – 176 с.
2. Провести исследования и разработать рекомендации по предотвращению и борьбе с заилением дорожных водопропускных труб: Отчет о НИР / МАДИ; Руководитель Н.М. Константинов. Тема № 480/8; № Гос. рег. 81023634; Инв. № 0284 0046489. – М., 1984.– 150 с.
3. Логинова О.А. Влияние противоэрозионной устойчивости склонов на работу водопропускных труб [электронный ресурс] / Электрон. дан. – Казань: КГТУ им. А.Н. Туполева, 2008. – 1 электрон. опт. диск (CD - R). (Труды V Международной Юбилейной науч.-прак. конф. «Автомобиль и техносфера». – Казань, 28-30 ноября 2007 г.). Минимальные систем. требования: ПК; MS Windows 98; CD-ROM дисковод. – С. 625-626.
4. Угинчус А.А. Гидравлические и технико-экономические расчёты каналов. – М.: Изд-во лит-ры по стр-ву, 1965. – 274 с.
5. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений. Главное управление проектирования и капитального строительства /ГУПиКС/. Минтрансстрой СССР. – М.: Транспорт, 1992. – 408 с.

Loginova O.A. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: loginova@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Hydraulic calculation of silted culverts

Resume

The article presents the main provisions of the hydraulic calculation of the silted pipes of round and rectangular cross-section.

Silting of headwater culverts is quite a common phenomenon in the practice of exploitation of motor roads. Therefore, the question of calculating silted culverts able to skip the current flood, is of great practical importance. Silted constructions work differently, than clean pipes. Assumptions and adjustments adopted in the calculations allow to take the hydraulic calculations for silted structures.

Calculations were carried out for different levels of silt pipes. The final results were used to without size mind. As a result of the graphics bandwidth of round pipes of various diameters matched that says about the correctness of the chosen assumptions in the calculations.

Special attention should be paid to 30% silting of pipes, in which the change of the hydraulic regime of work with the gravity of the semi-pressure head operating mode. This entails additional costs on the strengthening of slopes embankment and may affect negatively to the operation of the pavement, causing frost heave.

This article gives the opportunity to predict the work of flume pipes for the different measure of silting and identify the likelihood of negative consequences from the operation of silted structures.

Keywords: hydraulic calculation, culvert, siltation, the highway.

Reference list

1. The study of hydraulic road culverts and develop recommendations to improve operations in an a/d MKAD. – Volokolamsk (20-103 km): Research report / MADI, Head V.I. Klimeshov. Topic number M090789, Inv. number 02910 034045. – M., 1989. – 176 p.
2. To study and develop recommendations for the prevention and control of sedimentation of road culverts: Research report / MADI; Head N.M. Konstantinov. Subject number 480/8; № State. reg. 81023634; inv. № 0284 0046489. – M., 1984. – 150 p.
3. Loginova O.A. Influence of erosion on the slope stability work culverts [electronic resource] / Electron. dan. – Kazan: Kazan State Technical University A.N. Tupolev, 2008. 1 electron. optical disc (CD-R). (Proceedings of the V International scientific Jubilee. Practice conf. «Automobile and technosphere». – Kazan, 28-30 November, 2007). Minimum systems. requirements: PC; MS Windows 98; CD-ROM drive. – P. 625-626.
4. Uginchus A.A. Hydraulic and technical-economic calculations channels. – M.: Publishing literature on construction, 1965. – 274 p.
5. Manual for hydraulic calculations of small culverts. The main design and management of capital construction /GUPiKS/ Mintransstroy USSR. – M.: Transport, 1992. – 408 p.