

– сброс всех видов сточных вод с использованием рельефа местности (оврагов, карьеров, балок), а также на избыточно увлажненные территории (болота) не допускается.

Литература

1. Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы // Экологический доклад по стратегической экологической оценке по проекту государственной программы. – Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, 2020. – 135 с.

УДК 628.14:628.214

Расчет устойчивости на взвешивание железобетонных труб при производстве тампонажа цементно-песчаным раствором

Михневич Э. И., Развенкова А. Ю.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Предложена поэтапная технология тампонажа железобетонных труб цементно-песчаным раствором: на первом этапе траншея заполняется раствором до глубины h , при которой взвешивающая сила равна весу трубы, разработана методика расчета этой глубины; на втором этапе после затвердения цемента раствором верхнюю часть пространства вокруг трубопровода.

В процессе эксплуатации железобетонных труб, уложенных в специальные траншеи или по дну водного объекта, может произойти повреждение трубопровода. Одним из способов реновации поврежденного трубопровода является тампонаж железобетонной трубы цементно-песчаным раствором [1, 2]. Однако, чтобы предотвратить всплывание трубы под действием взвешивающего давления раствора, необходима балластировка трубопровода для закрепления его в траншее специальными упорами или с использованием различных типов навесных утяжелителей, располагая их равномерно по длине трубы чрез 1,5–2 м.

Другим, менее трудоемким и более экономичным способом является балластировка трубопровода путем поэтапного заполнения траншеи раствором. Зная глубину раствора h , при которой взвешивающая сила равна весу трубы, можно рекомендовать технологию подачи раствора в два этапа, обеспечивающую устойчивое положение трубы. На первом этапе подают раствор до глубины h , а затем выдерживают раствор до затвердения в течение 12–24 часов; при применении ускорителей твердения это время

можно сократить до 1–2 часов. Затем на втором этапе, после того как раствор затвердел, приступают к заполнению раствором оставшейся части пространства вокруг трубопровода. При этом устойчивость трубы будет обеспечена за счет увеличения суммарной массы бетона и дополнительного сцепления грунта с бетоном.

Для практического применения данной технологии сложной задачей является определение глубины раствора h , при которой взвешивающая сила равна весу трубы. Ниже приводится разработанная нами методика ее расчета.

На рис. 1 представлено поперечное сечение железобетонной трубы с параметрами, которые используются в расчетах: внутренний диаметр $D_{вн}$, внутренний радиус r , наружный радиус R и толщина стенки δ , длина хорды a , глубина погружения трубы в раствор h .

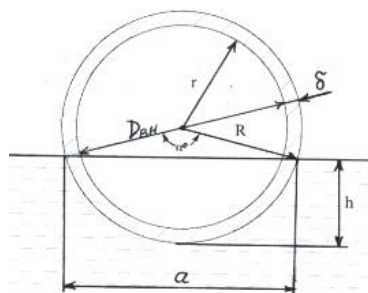


Рис. 1. Поперечное сечение железобетонной трубы, погруженной в раствор

Вначале определяют объем железобетонных стенок трубы по формуле

$$V_{ст} = \pi L (R^2 - r^2), \quad (1.1)$$

где L – длина трубы, м; R и r – соответственно наружный и внутренний радиусы трубы, м.

Далее находят массу железобетонной трубы

$$m_{жб} = \rho_{бет} V_{ст}, \quad (1.2)$$

где $\rho_{бет} = 2500 \text{ кг/м}^3$ – плотность бетона.

Объем трубы по наружному контуру определяют по формуле

$$V_{тр} = \pi L R^2, \quad (1.3)$$

Труба, загерметизированная по торцам, при ее погружении в цементно-песчаный раствор будет испытывать подъемную силу. В соответствии с законом Архимеда подъемная сила на погруженное тело равна весу жидкости в объеме, вытесненного телом:

$$P_z = \rho_p g V_{\text{тр}}, \quad (1.4)$$

где $\rho_p = 1800 \text{ кг/м}^3$ – плотность цементно-песчаного раствора; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $V_{\text{тр}}$ – объем трубы по наружному контуру, м^3 .

Сила сопротивления взвешиванию трубы равна ее весу

$$G_T = \rho_{\text{бет}} g V_{\text{ст}} H, \quad (1.5)$$

где $V_{\text{ст}}$ – объем стенок трубы, м^3 .

Соответственно масса цементно-песчаного раствора, создающего взвешивающую силу на трубу, будет $m_z = P_z / g$, а масса железобетонной трубы $m_{\text{тр}} = G_T / g$.

Затем сравнивают полученные значения подъемной силы P_z и силы сопротивления G_T . Если $P_z < G_T$, то труба не будет взвешиваться архимедовой силой. Если $P_z > G_T$, соответственно $(m_z - m_{\text{тр}}) > 0$, то труба взвешивается, и тогда решают задачу, при какой глубине h наполнения траншеи раствором взвешивающая сила будет равна весу трубы (рис. 1).

Площадь сегмента, ограниченного хордой a , определяют по формуле

$$S_{\text{сегм}} = \frac{R}{2} (\alpha - \sin \alpha^0), \quad (1.6)$$

где α – радианная мера дуги, $\alpha = \frac{\pi \alpha^0}{180^0}$.

Взвешивающая масса раствора равна массе раствора в объеме, занимаемом сегментом, т. е.

$$m_{\text{сегм}} = \rho_p V_{\text{сегм}}, \quad (1.7)$$

где $m_{\text{сегм}}$ – масса раствора сегмента, кг; $V_{\text{сегм}}$ – объем сегмента, м^3 .

Очевидно, что сегмент трубы будет в равновесии, если масса раствора сегмента будет равна массе железобетона трубы, т. е. $m_{\text{сегм}} = m_{\text{жб}}$. Так как

для трубы длиной в 1 п. м значение объема сегмента $V_{\text{сегм}}$ и площадь сегмента $S_{\text{сегм}}$ численно совпадают, то можно записать равенство

$$m_{\text{сегм}} = \rho_p S_{\text{сегм}} = m_{\text{жб}}, \quad (1.8)$$

откуда получим

$$S_{\text{сегм}} = \frac{m_{\text{жб}}}{\rho_p}, \quad (1.9)$$

Из формулы (1.6) для площади сегмента можно найти значение $(\alpha - \sin \alpha^0)$:

$$(\alpha - \sin \alpha^0) = \frac{2S_{\text{сегм}}}{R^2}, \quad (1.10)$$

откуда определяют градусную меру дуги α^0 .

Искомую глубину раствора h находят по формуле

$$h = 2R \sin^2 \left(\frac{\alpha^0}{4} \right), \quad (1.11)$$

Длину хорды a можно определить по формуле

$$a = 2R \sin \left(\frac{\alpha^0}{2} \right). \quad (1.12)$$

Результаты расчетов устойчивости на взвешивание железобетонных (ж/б) труб различных диаметров, длиной $L = 5$ м, сведены в табл. 1 и 2, где приведены значения глубины h наполнения траншеи раствором (на первом этапе рекомендуемой технологии) соответственно при толщине стенки трубы $\delta = 0,007$ м и $\delta = 0,10$ м.

Для облегчения расчетов по определению значения глубины раствора h построены графики зависимости отношения $D_{\text{вн}} / h$ от $D_{\text{вн}}$ при толщине стенок $\delta = 0,07$ м и $\delta = 0,10$ м (рис. 2).

Таблица 1

Устойчивость ж/б труб на взвешивание с толщиной стенки $\delta = 0,07$ м

Параметры	Внутренний диаметр $D_{вн}$, мм					
	300	400	500	600	750	900
Глубина раствора h , м	0,30	0,32	0,34	0,35	0,38	0,39
Хорда a , м	0,41	0,53	0,64	0,74	0,88	1,0
Градусная мера дуги α^0	222	200	187	175	163	152
Подъемная сила P_z , Н	13 420	20 218	28 253	37 965	54 926	75 046
Сила сопротивления G_T , Н	9933	12 630	15 328	18 050	22 122	26 119
Масса раствора m_z , кг	1368	2060	2880	3870	5600	7650
Масса трубы $m_{тр}$, кг	1010	1287	1560	1840	2260	2660
Масса сегмента 1 п. м трубы $m_{сегм}$, кг	200	260	310	370	450	530
Площадь сегмента трубы $S_{сегм}$, м ²	0,110	0,140	0,174	0,204	0,251	0,296

Таблица 2

Устойчивость ж/б труб на взвешивание с толщиной стенки $\delta = 0,10$ м

Параметры	Внутренний диаметр $D_{вн}$, мм					
	300	400	500	600	750	900
Глубина раствора h , м	0,42	0,43	0,45	0,47	0,49	0,52
Хорда a , м	0,37	0,54	0,67	0,79	0,95	1,1
Градусная мера дуги α^0	264	232	213	200	184	173
Подъемная сила P_z , Н	17 305	24 986	31 784	44 145	62 582	83 876
Сила сопротивления G_T , Н	15 451	19 252	23 054	26 978	32 741	38 504
Масса раствора m_z , кг	1,76	2,55	3,24	4,50	6,38	8,55
Масса трубы $m_{тр}$, кг	1,58	1,96	2,35	2,75	3,34	3,93
Масса сегмента 1 п. м трубы $m_{сегм}$, кг	0,32	0,39	0,47	0,55	0,67	0,79
Площадь сегмента тру- бы $S_{сегм}$, м ²	0,175	0,218	0,261	0,306	0,371	0,436

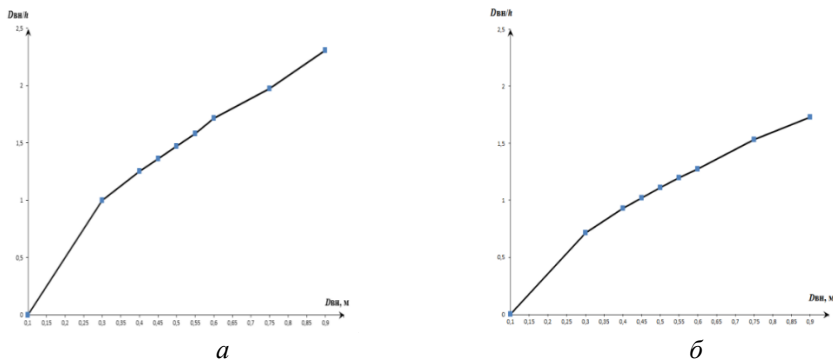


Рис. 2. График зависимости $D_{вн} / h = f(D_{вн})$:
 $a - \delta = 0,07$ м; $б - \delta = 0,10$ м

Литература

1. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник / под ред. В. Д. Дмитриева, Б. Г. Мишукова. – Л.: Стройиздат, 1988. – 383 с.

2. Михневич, Э. И. Водопроводные сети: учебное пособие / Э. И. Михневич, С. В. Андreyuk. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 256 с.

УДК 504.453/556.53

Теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию размещения водорегулирующих гидротехнических сооружений на реке Уборть Лельчицкого района Гомельской области

Корнеев В. Н., Титов К. С., Булак И. А.

Республиканское унитарное предприятие

«Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

Минск, Республика Беларусь

Выполнен анализ гидрологического режима реки Уборть, проведены экспедиционные полевые исследования, разработана цифровая модель рельефа прилегающей местности и математическая модель реки Уборть. Проведены многовариантные гидравлические расчеты для естественных условий гидрологического режима реки Уборть и с учетом обоснования размещения на реке Уборть в русле реки четырех водоподпорных гидро-