

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ ТРУБАМИ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА

В Украине, по данным Дрозда Г.Я. [1], общая протяженность канализационных сетей, требующих реконструкции, составляет 33,5 тыс. км. Основную массу конструктивных элементов составляют трубы (60%), диаметрами 150...1000 мм (87%). Материалы труб обладают свойствами, указанными в табл. 1, из них потребность по диаметрам: 150–160 мм – 60%, 600–1000 мм – 27% и 12% остальные. По величине давления транспортируемой жидкости: безнапорные – до 40% и напорные на давления 0,4–0,6 МПа – 50%, протяжённость трубопроводов приведена в табл. 1.

В ряде стран (например, Ирак) металл является дефицитным материалом, а для повышения эффективности сельскохозяйственного производства необходимо заменить открытые каналы подземными трубопроводами. Наиболее эффективно эта задача может быть решена путём применения трубопроводов из сборных бетонных труб, изготавливаемых из местных материалов.

В Украине разрабатываются мероприятия по реконструкции трубопроводных сетей: «Программа выведения из кризиса водопроводно канализационного хозяйства Украины», в которой предусмотрено решение следующих задач: обновление нормативной базы проектов, строительства и эксплуатации канализационных сетей; поиск новых экономических способов использования отечественного сырья и материально-технической базы, разработка специализированных машин и технологий для предприятий коммунального хозяйства; научно-техническое исследование проблем реконструкции систем транспортируемых вод [1]; формулирование новой системы образования и подготовки специалистов. Срок службы трубопроводов различен для различных материалов труб (табл. 1). Учитывая значительную протяжённость трубопроводов, снижение стоимости строительства может быть

достигнуто путём экономии сырья, используемого для производства труб. В табл. 1 приведены показатели надёжности трубопроводов в зависимости от материалов, из которых изготовлены трубы.

Данные таблицы показывают, что бетонные трубы имеют наименьшую частоту отказов и в наибольшей степени подходят для решения поставленных задач реконструкции канализационных сетей и для устройства ирригационных водораспределителей Украины. Для устройства ирригационных водораспределителей обеспечение достаточной прочности бетонных труб без металлической арматуры возможно при условии, что стенки труб воспринимают эксплуатационные нагрузки без трещинообразования. На рис.1 представлена схема действия на трубы нагрузки.

Все нагрузки на трубы приводятся к условной линейной равномерно распределённой приведённой нагрузке

$$P = \beta \Sigma P_i,$$

где β – коэффициент приведения нагрузки ($\beta < 1$), который зависит от условий опирания трубы (угла охвата); P_i – фактическая нагрузка (от грунта, транспорта и др.)

Расчёт грунтовой нагрузки на трубы P в конкретных условиях выполняется по формуле Вандоловского А.Г. [2]:

$$P_r = 0,325 \cdot H \cdot \gamma \cdot (1-0,06H) \cdot (d+0,8) \quad (1)$$

где H – глубина закладки трубопровода (от верха трубы), м; γ – объёмная масса грунта, 1,3...1,9 т/м³; (1,7 т/м³ – для увлажнённых песков; 1,8 т/м³ – для увлажнённых супесей и суглинков; 1,9 т/м³ – для глины); d – внутренний диаметр трубы.

Величина нагрузки P , называемая в нормах контрольной, является основным показателем для опреде-

Таблица 1

Долговечность труб из различных материалов

№	Материал	Срок службы		Частота отказов	Относительное кол-во %
		Нормативный	Фактический		
1	Бетонные	27	10,5	0,09	10,5
2	Железобетонные	27	16,06	0,1	17,7
3	Керамические	31	1,96	0,05	28,3
4	Асбестовые	21	0,75	1,05	8,6
5	Чугунные	25	0,64	1,10	20,0
6	Стальные	25	0,68	1,40	4,8

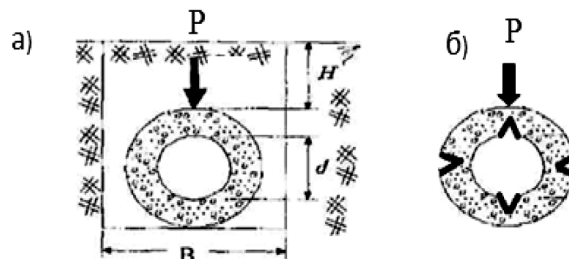


Рис. 1. Внешняя нагрузка P на трубы
а) схема давления грунта и замена распределенной нагрузки сосредоточенной силой P ;
б) схема разрушения трубы при нагружении силой P , H – глубина укладки.

Таблица 2

Контрольные нагрузки на железобетонные трубы

№ п/п	Диаметр мм	Нагрузка кг/пог. м
1	200	2500
2	300	3000
3	400	3300
4	500	3450
5	600	3600
6	800	4800
7	1000	6000

ления качества труб. Предельная величина P в заводских условиях определяется путём разрушения трубы на прессе по схеме (рис. 1 б). В табл. 2 даны величины контрольных нагрузок на трубы по ГОСТ6482-88

Для решения вопроса о замене железобетонных труб бетонными необходимо обеспечить материалу труб прочность, обеспечивающую возможность восприятия ими нагрузок, представленных в табл. 2. Для труб ирригационных трубопроводов кроме внешней нагрузки P действует также внутреннее давление q . Под действием нагрузки P разрушение трубы происходит по схеме (рис 1. б). Трещины появляются в замке и лотке при напряжении σ_p , которое превосходит прочность материала при растяжении – R_{bt} . При внутреннем давлении q в стенах трубы также опасными являются растягивающие напряжения σ_q . Суммарное максимальное напряжение σ_{max} в стене уложенной в землю трубы, транспортирующей жидкость под давлением q равно сумме растягивающих напряжений $\sigma_{max} = \sigma_p + \sigma_q$. Прочность материала должна обеспечивать условие $R_{bt} > \sigma_{max}$. От нагрузок P и q величины напряжений σ_p и σ_q определяют по формулам [5]:

$$\sigma_p = \frac{1,1 \cdot P \cdot r_c}{v \cdot C^2} \quad (2)$$

где P – приведенная нагрузка, r_c – средний радиус трубы, C – толщина стенки, v – длина.

От внутреннего давления q напряжение σ_q определяется по формуле Ляме:

$$\sigma_p = q \frac{r_H^2 + r_B^2}{r_H^2 - r_B^2} \quad (3)$$

где r_H и r_B – соответственно внутренний и наружный радиусы трубы, см, q – внутреннее давление, кг/см². Учитывая, что для труб различных диаметров отношение диаметра d к толщине стенки C примерно одинаково, т.е. при увеличении диаметра в два раза, соответственно толщина стенки также увеличена вдвое и т.д. Это дало возможность [3] упростить формулы (2) и (3), введя соотношение

$$n = \frac{d}{C}$$

Тогда формула (2) преобразуется к виду:

$$\sigma_p = 0,64 n^2 \frac{P}{d} \quad (4)$$

где σ_p – максимальное напряжение в стенке трубы при растяжении кг/см²; P – разрушающая нагрузка кг/пог.см; d – диаметр трубы см; n – отношение диаметра к толщине стенки трубы.

Формула (3) преобразована:

$$\sigma_p \cdot (0,491 \cdot n + 0,621) \quad (5)$$

где σ_q – внутреннее гидростатическое давление кг/см²; n – отношение диаметра к толщине стенки трубы.

Из приведенных формул 2, 2а, 3 и 3а видно, что в трубах от эксплуатационных нагрузок возникают

Таблица 3

Физико-механические показатели бетонных труб

Внутренний диаметр, (мм)	Толщина стенки(мм)		Контр. нагрузки (т/м)		R_{bt} (МПа)	
	ASTM C 505-04	Модифицированный бетон	ASTM C 505-04	Модифицированный бетон	ASTM* C 505-04	Модифицированный бетон
100		15		2.11		6.00
150	19	20	1.9	2.50	4,89	6.05
200	25	25	1.95	2.97	3.86	6.10
250	32		2.05		3.10	
300	38	30	2.2	2.98	2.83	6.35
375	47		2.4		2.52	
400		40		3.91		6.39
450	57		2.65		2.27	
600	75	60	2.9	6.40	1.91	6.45
800		75		7.32		6.47
1000		90		8.22		6.50
1200		110		10.13		6.43

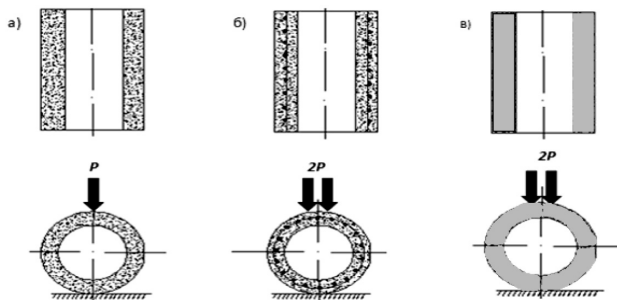


Рис. 2. Конструкция и несущая способность труб
 а) бетонная труба;
 б) железобетонная труба;
 в) труба из модифицированного бетона;
 P- контрольная нагрузка

только растягивающие напряжения. Поэтому для повышения несущей способности бетонных труб до уровня железобетонных необходимо подобрать состав бетона по показателю: прочность бетона при растяжении R_{bt-max} . В большинстве нормативных документов по технологии труб из бетона рекомендации по составу бетона обычно приводится в виде марки (или класса) по прочности при сжатии. Известно, что прочность при растяжении R_{bt} может быть определена по прочности при сжатии R_b по формуле Ферзэ:

$$R_{bt} = 0,55^3 \cdot \sqrt{R_b^2} \quad (6)$$

По литературным данным прочность при растяжении R_{bt} обычного бетона лежит в пределах 20–40 кг/см². Нами проведены исследования по повышению прочности бетона при растяжении путем его модификации введением минеральных добавок: микронаполнитель из измельченной силикат-глибы, микрокремнезём, зола-унос, неметаллическое волокно (базальтовое, полипропиленовое, стекловолокно), суперпластификатор С-3, пластификатор ПВА (который необходим для обеспечения подвижности смеси при введении волокон). Эталонном служил мелкозернистый бетон, а заполнителем – отходами дробления щебня максимальной крупностью 5 мм, прочность эталона $R_{bt(э)} = 36$ кг/см². Эффективность введения модифицирующих добавок “i” определяли по величине коэффициента упрочнения $K_y = K_i/K_э$, который соответственно имеет следующие значения при введении микрокремнезема 5%, $K_{y(кз)} = 1,35$; пластифицирующей добавки ПВА 5%, $K_{y(кз+пва)} = 1,42$; неметаллических волокон, $K_{y(нв)} = 1,48$; комплексное введение перечисленных модификаторов обеспечивает $K_{y(ком)} = 2,2$. Прочность бетона при растяжении R_{bt} при этом достигла 79 кг/см², этому значению при коэффициенте безопасности 0,86 соответствует расчетное значение $R_{bt.ser} = 68$ кг/см² (6,8 МПа). Используя исходные данные: контрольную нагрузку P для железобетонных труб по ГОСТ6482-88, толщину стенки

$C = 0,1d + 10$ мм, определены величины напряжении – σ_p в стенках труб из модифицированного бетона. Результаты расчётов представлены в табл. 3. В 2004 году в США были разработаны и опубликованы требования к неармированным бетонным ирригационным трубам в виде стандарта ASTM C505-04M [5]. По формулам (4) и (5) и значениям контрольных нагрузок для труб по “ASTM C505” рассчитаны величины требуемой по этому стандарту прочности бетона R_{bt} , данные приведены в табл. 3. Анализ показал, что прочность бетона в американском стандарте по мере увеличения диаметра труб уменьшается с 4,89 МПа до 1,91 МПа. По формулам (4) и (5) выполнен расчет величин контрольных нагрузок на трубы из модифицированного бетона (табл. 3).

В зависимости от глубины укладки (величин P_r) при совместном действии давления грунта (глубина = 2 м) по трубам из модифицированного бетона возможно транспортирование жидкости при напоре 3 ат, в то время как по ASTM C505-04M допустимый рабочий напор 0,9 ат. Экономический расчет показал, что себестоимость железобетонных труб и труб из модифицированного бетона соответственно составляет 370 USD/м³ и 179,5 USD/м³.

Модификация бетона позволяет значительно повысить несущую способность бетонной трубы (рис. 2) и в тоже время позволяет отказаться от арматурного каркаса и работ, связанных с изготовлением каркаса и его установкой. Представленные данные основаны на обработке более 600 образцов бетона различного состава. Некоторые вопросы технологии уплотнения не вошли в данную статью, и авторы предполагают в будущем посвятить вопросу технологии формования труб из модифицированного бетона отдельную статью.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дрозд Г.Я. Про необхідність підвищення рівня надійності каналізаційних мереж України // Будівництво України. – №2. – 1998. – С. 26.
2. Вандоловский А.Г., Юнис Б.Н. Повышение прочности бетона при растяжении путём его модификации // Науковий вісник будівництва. – №57. – Харків, – 2010. – С. 206–212.
3. Семененко Н.В., Юнис Б.Н. Определение прочности материала труб по данным предельных разрушающих нагрузок // Збірник наукових праць Української Державної Академії залізничного транспорту. – №113. – Харків. – 2010. – С. 103–105.
4. Стандарт «ASTM C505M-04» “Standard Nonreinforced Concrete Irrigation pipe with Rubber Gasket Joint.” ASTMInternational, 2004 (“Стандарт на неармированные бетонные ирригационные трубы с резиновым уплотнителем” США 2004г.).
5. Клейн Г.К. Расчёт подземных трубопроводов. – М.: Стройиздат, 1969. – 240 с.