

УДК 502/504:621.64

Т. К. КСЕНОФОНТОВА, ЦУЙ ЮЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ОХВАТА ПОДЗЕМНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ТРУБЫ ПРИ ЕЕ ОПОРЕ НА ФУНДАМЕНТ

Составлена расчетная модель подземной железобетонной трубы на фундаменте по методу конечных элементов. Рассмотрена работа подземной железобетонной трубы на фундаменте при различных углах охвата. Сформулированы принципы определения оптимального угла охвата трубы фундаментом и построены графики по его выбору.

Подземная труба на фундаменте, метод конечных элементов, угол охвата трубы фундаментом, армирование трубы.

The estimated model of the underground reinforced concrete pipe on the base according to the method of finite elements is made. There is considered an operation of the underground reinforced concrete pipe on the base under different angles of contact. Principles of defining the optimal angle of pipe contact with the base are formulated and diagrams of its choice are built.

Underground pipe on the base, method of finite elements, angle of pipe contact with the base, pipe reinforcing.

Подземные трубы широко используются в гидротехническом строительстве. Часто эти трубы укладывают на фундамент. Особенность работы подземного трубопровода состоит в его совместной работе с окружающим грунтом. Грунт создает нагрузку и служит основанием для трубы и с фундаментом.

Расчеты труб на фундаменте выполнены методом конечных элементов (МКЭ) при использовании программного комплекса «ЛИРА 9.6». Для этого разработана расчетная модель трубы на фундаменте. При расчете по длине трубы с фундаментом принималось, что геометрические характеристики не меняются, давление от грунта также не меняется, т. е. труба и фундамент работают в условиях плоско-деформированного состояния. С учетом этой предпосылки можно выделить участок длиной 1 п. м. Кольцо трубы моделировалось стержневыми конечными элементами, а фундамент – пластинчатыми конечными элементами. При этом фиксированная связь трубы с фундаментом моделировалась только по краям фундамента. Таким образом, была обеспечена свободная опора лотка трубы на ложе фундамента, а также возможный отрыв оболочки в пределах всей зоны опоры. На рис. 1 показан вид расчетного участка трубы с фундаментом в 3D модели и конечно-элементная модель.

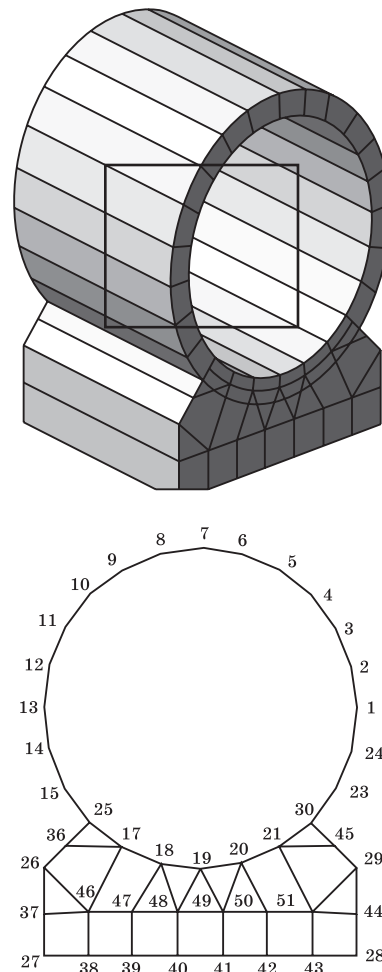


Рис. 1. Расчетный участок опоры трубы на фундамент в 3D модели и конечно-элементная модель

При выборе конструкции фундамента для трубы возникает вопрос о том, какой угол охвата трубы следует принять. Чем больше угол охвата, тем меньше внутренние усилия оболочки трубы и меньше расход арматуры. Вместе с тем, возрастает расход бетона на фундамент. Оптимальным следует считать такой угол охвата трубы, при котором стоимость материалов, бетона и арматуры будет наименьшей.

Для определения оптимального угла охвата была рассмотрена работа трубы при углах охвата 60°, 75°, 90°, 120°, 180°. Для расчета были приняты конструкции

типовых безнапорных железобетонных труб. Нагрузками на трубы являлись: давление грунта при глубине заложения 4 м, вес транспортируемой воды внутри трубопровода и собственный вес труб. Расчет выполнялся на программном комплексе «ЛИРА 9.6». Под подошвой фундамента модель грунтового основания была принята, по П. Л. Пастернаку, с двумя коэффициентами постели. Величины коэффициентов постели определялись расчетом по ПК «ЛИРА 9.6». На рис. 2 показана эпюра изгибающих моментов и мозаика величин продольных сил в оболочке трубы.

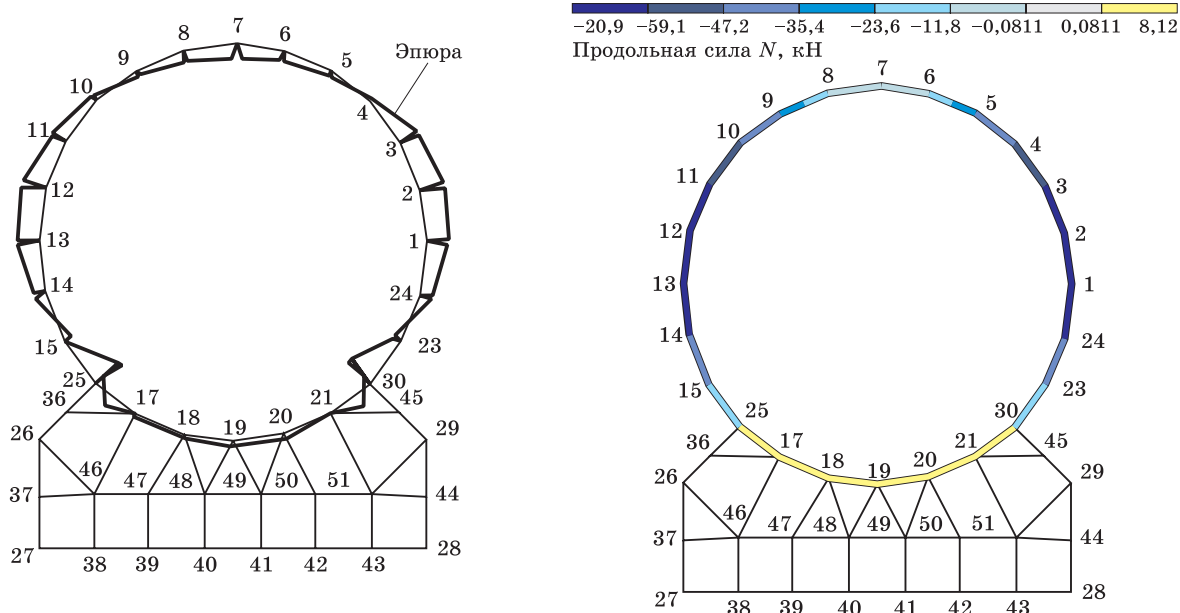


Рис. 2. Эпюра изгибающих моментов и мозаика продольных сил в оболочке трубы

Минимальный расход арматуры определялся в соответствии с принятыми принципами армирования железобетонных труб. Трубы диаметром до 1000 мм армируют одним круговым каркасом; трубы диаметром более 1000 мм армируют двумя круговыми каркасами. Подбор арматуры в кольце трубы производился по модулю «ЛИР-АРМ» программного комплекса «ЛИРА 9.6». При подборе арматуры учитывалось, что трубы должны удовлетворять как прочности, так и условиям трещиностойкости. Расчеты проводились для труб различных диаметров: 500, 1000, 1600 мм. В таблицах 1...3 приведены расчетные площади арма-

туры и введены следующие обозначения: $A_{s,max}$ – максимальное количество кольцевой арматуры, которое соответствует параметрам: минимальному шагу s и максимальному диаметру арматуры $\varnothing 8$; $A_{s,i}$ – площадь растянутой арматуры в зоне шельги или лотка трубы; $A_{s,e}$ – площадь растянутой арматуры в зоне бокового сечения трубы.

Как видно из таблиц 1...3, трубы малого диаметра 500 мм можно укладывать при любом угле охвата фундаментом; трубы среднего диаметра 1000 мм можно укладывать при угле охвата 90°, 120°, 180°; трубы большого диаметра 1600 мм можно укладывать только при угле охвата 180°.

Таблица 1

Расчетная площадь арматуры в трубе диаметром 500 мм

Площадь арматуры	Угол охвата			
	60°	75°	90°	120°
$A_{s,max}$ конструктивно: Ø8A400 s = 35 мм 14,59 см ²	14,59	14,59	14,59	14,59
$A_{s,i}$ по краю фундамента:				
по прочности	2,00	1,30	1,10	0,70
по трещинам	2,00	1,48	1,33	0,70
Принятое армирование	8Ø6	6Ø6	5Ø6	3Ø6
$A_{s,i}$ по сечению в шельге:				
по прочности	1,50	0,75	0,70	0,50
по трещинам	1,50	0,75	0,70	0,50
Принятое армирование	8Ø6	6Ø6	5Ø6	3Ø6
$A_{s,e}$ по боковому сечению:				
по прочности	1,50	0,80	0,65	0,40
по трещинам	1,50	0,80	0,65	0,40
Принятое армирование	8Ø6	6Ø6	5Ø6	3Ø6
Условие прочности и трещиностойкости	Выполняется	Выполняется	Выполняется	Выполняется

Таблица 2

Расчетная площадь арматуры в трубе диаметром 1000 мм

Площадь арматуры	Угол охвата			
	60°	75°	90°	120°
$A_{s,max}$ конструктивно: Ø8A400, s = 50 мм	10,06	10,06	10,06	10,06
$A_{s,i}$ по краю фундамента:				
по прочности	7,30	5,35	3,60	1,50
по трещинам	14,68	10,05	5,85	2,55
Принятое армирование		20Ø8	12Ø8	5Ø8
$A_{s,i}$ по сечению в шельге:				
по прочности	4,95	2,85	1,80	1,30
по трещинам	4,95	2,85	1,80	1,30
Принятое армирование		20Ø8	12Ø8	5Ø8
$A_{s,e}$ по боковому сечению:				
по прочности	5,30	2,55	1,80	1,30
по трещинам	5,30	2,55	1,80	1,30
Принятое армирование		5Ø8	4Ø8	3Ø8
Условие прочности и трещиностойкости	Не выполняется	Выполняется	Выполняется	Выполняется

Таблица 3

Расчетная площадь арматуры в трубе диаметром 1600 мм

Площадь арматуры	Угол охвата			
	60°	75°	90°	120°
$A_{s,max}$ конструктивно: Ø8A400, s = 50 мм Принятое армирование	10,06	10,06	10,06	10,06
$A_{s,i}$ по краю фундамента:				
по прочности	Превышен процент армирования. Необходимо увеличить размеры сечения	18,45	11,20	3,50
по трещинам		28,07	18,55	4,70
Принятое армирование				10Ø8
$A_{s,i}$ по сечению в шельге:				
по прочности		7,3	4,90	1,75
по трещинам		12,21	7,60	1,75
Принятое армирование				
$A_{s,e}$ по боковому сечению:				
по прочности		6,90	3,20	3,50
по трещинам		11,44	4,10	4,70
Принятое армирование				10Ø8
Условие прочности и трещиностойкости	Не выполняется	Не выполняется	Не выполняется	Выполняется

В таблицах 4...6 приведены стоимость системы «труба с фундаментом» при разных углах охвата. Как видно из этих таблиц, для

труб 500 мм наименьшая стоимость соответствует углу охвата 60°, для труб 1000 мм – углу охвата 90°, для труб 1600 мм – 180°.

Таблица 4

Определение стоимости 1 погонного метра трубы диаметром 500 мм на фундаменте

Угол охвата трубы 2α	Расход бетона на трубу, м³	Расход бетона на фундамент, м³	Стоимость 1 м³ бетона, р.	Стоимость бетона, р.	Расход кольцевой арматуры, т	Расход арматуры на фундамент, т	Стоимость 1 т арматуры, р.	Стоимость арматуры, р.	Стоимость 1 п. м трубы, р.
60°	0,117	0,0565	3400	590	0,00313	0,00468	19600	149	739
75°	0,117	0,0798	3400	669	0,00234	0,00555	19600	150	819
90°	0,117	0,1071	3400	762	0,00195	0,00650	19600	160	922
120°	0,117	0,1305	3400	842	0,00117	0,00739	19600	161	1003

Таблица 5

Определение стоимости 1 погонного метра трубы диаметром 1000 мм на фундаменте

Угол охвата трубы 2α	Расход бетона на трубу, м³	Расход бетона на фундамент, м³	Стоимость 1 м³ бетона, р.	Стоимость бетона, р.	Расход кольцевой арматуры, т	Расход арматуры на фундамент, т	Стоимость 1 т арматуры, р.	Стоимость арматуры, р.	Стоимость 1 п. м трубы, р.
60°	0,345	0,293	3400	2169	–	0,0090	19300	–	–
90°	0,345	0,398	3400	2526	0,0338	0,0124	19300	884	3410
120°	0,345	0,547	3400	3033	0,0212	0,0153	19300	693	3726
180°	0,345	0,630	3400	3315	0,0120	0,0171	19300	562	3877

Таблица 6

Определение стоимости 1 погонного метра трубы диаметром 1600 мм на фундаменте

Угол охвата трубы 2α	Расход бетона на трубу, м³	Расход бетона на фундамент, м³	Стоимость 1 м³ бетона, р.	Стоимость бетона, р.	Расход кольцевой арматуры, т	Расход арматуры на фундамент, т	Стоимость 1 т арматуры, р.	Стоимость арматуры, р.	Стоимость 1 п. м трубы, р.
60°	0,648	–	3400	–	–	–	19300	–	–
90°	0,648	–	3400	–	–	–	19300	–	–
120°	0,648	–	3400	–	–	–	19300	–	–
180°	0,648	1,69	3400	7949	0,0423	0,0292	19300	1362	9311

На основе результатов расчета был построен график для выбора оптимального угла охвата трубы фундаментом, по которому для труб любого диаметра можно выбрать оптимальный угол охвата.

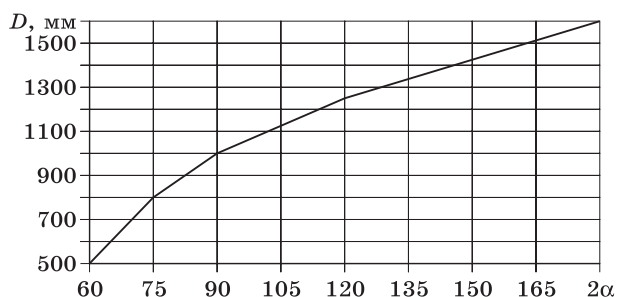


Рис. 3. График для выбора оптимального угла охвата трубы 2α фундаментом (D – диаметр трубы)

Выводы

В статье предложена конечно-элементная модель работы подземной трубы

на фундаменте, которая учитывает реальные условия ее опоры с учетом возможности отрыва оболочки трубы от ложа фундамента.

В удобной форме в виде графика даны рекомендации по выбору оптимального угла опоры трубы на фундамент.

1. Клейн Г. К. Расчет подземных трубопроводов. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1969. – 240 с.

2. Ксенофонтова Т. К. Влияние жесткости основания на работу подземных труб, уложенных на фундамент: Расчет конструкций мелиоративных сооружений: сб. науч. статей. – М.: МГМИ, 1990. – С. 56–62.

Материал поступил в редакцию 18.06.12.
Ксенофонтова Татьяна Кирилловна, кандидат технических наук, профессор
 Тел. 8 (499) 976-26-43
Цуй Юй, магистр