

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БЕЗНАПОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ МАЛОГО ДИАМЕТРА

**Б.А. Ракитин, Б.В. Соловьёв**

В статье представлены результаты проектирования и лабораторных испытаний нового вида продукции, изготавливаемого по технологии виброформования с немедленной распалубкой свежеотформованного изделия и набором прочности в естественных условиях. Исследовано напряжённо-деформированное состояние железобетонных труб для прокладки подземных трубопроводов, в зависимости от глубины заложения с учётом свойств массива грунта.

## Введение

Бетон - один из наиболее универсальных, надежных и экономичных материалов, применяемых для ливневой и сантехнической канализации, а также для ирригационных сооружений.

В результате применения передовых технологий и конструктивных решений использование бетонных труб в мире продолжает расти. Проектировщики и службы стандартизации считают их долговечной и рентабельной системой транспортировки жидкостей. Правильно разработанные подземные трубопроводы, будучи однажды проложены, сохраняют свою работоспособность без ремонта или расходов на обслуживание в течение многих лет.

Сегодня в нашей стране появились новые технологические решения, обеспечивающие производство безнапорных железобетонных труб в широком диапазоне диаметров, построены современные заводы для их изготовления.

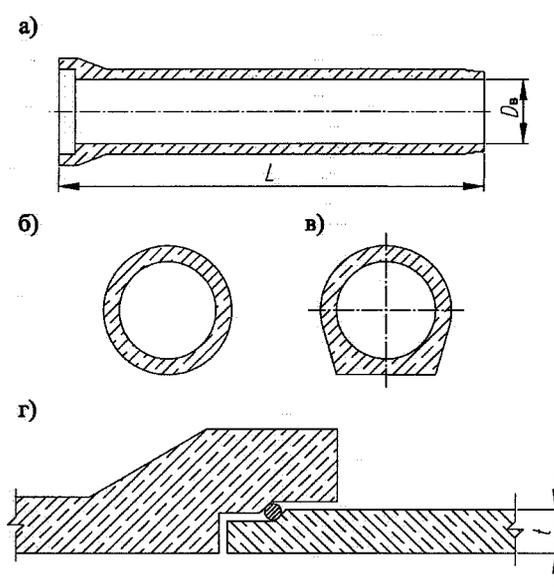
В этой статье рассматривается первый этап работы по внедрению в производство продукции, изготавливаемой по технологии немецкой фирмы «SCHLOSSER-PFEIFFER».

Трубы железобетонные безнапорные предназначены для прокладки подземных трубопроводов, транспортирующих самотеком, не заполняя все сечение трубы, бытовые жидкости и атмосферные сточные воды, а так же подземные воды и производственные жидкости, не агрессивные к железобетону и уплотняющим резиновым кольцам.

Самыми распространёнными являются железобетонные трубы двух типов (рис. 1):

ТС - цилиндрические раструбы со ступенчатой стыковой поверхностью втулочного конца трубы и стыковыми соединениями, уплотняемыми резиновыми кольцами;

ТСП - то же, с подошвой.



**Рис. 1. Конструкция железобетонных безнапорных труб: а – продольное сечение трубы; б – поперечное сечение цилиндрической трубы; в – поперечное сечение трубы с подошвой; г – гибкий раструбный стык; L – длина трубы;  $D_b$  – внутренний диаметр;  $t$  – толщина стенки**

Чтобы увеличить точность расчетов и уменьшить вероятность возникновения ошибок, было принято решение выполнить расчёт двумя различными способами и сравнить полученные результаты с лабораторными испытаниями труб.

## Расчёт железобетонных безнапорных труб по прочности и трещиностойкости в стадии транспортирования

Ручной расчёт железобетонных безнапорных труб по прочности и трещиностойкости в стадии транспортирования, был выполнен по методике, изложенной в [2].

Конструкция рассчитывалась как балка на двух опорах. Общая длина трубы равна 2,6 м, а длина пролета между опорами составляет 1,8 м. Схема, принимаемая при расчёте кольцевого сечения, показана на рис. 2.

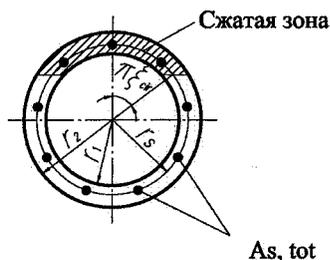


Рис. 2. Схема, принимаемая при расчёте кольцевого сечения

В результате расчёта получили, что коэффициент запаса по прочности в стадии транспортирования равен 9,62. После этого был произведён расчёт по раскрытию трещин в стадии транспортирования.

В результате выполненного расчёта были получены следующие результаты:

1. Трещины при действии полной нагрузки не образуются и расчёт по раскрытию трещин не нужен;
2. Запас по трещиностойкости составляет 26 %.

### Исследование напряжённо-деформированного состояния безнапорных железобетонных труб

Задача была решена по методике, описанной в [4], и реализована в программном комплексе Lira 9.2 с использованием расчётной модели с постоянным коэффициентом постели (основание Винклера).

Расчётная схема безнапорной железобетонной трубы разбита на 290 конечных элементов типа пластина размером 50x100 мм (КЭ 41 - универсальный прямоугольный элемент оболочки) и 319

узлов. Элементы задаются двумя типами жёсткостей [1].

Основание трубы моделируется элементами с заданным коэффициентом отпора грунта [5]:

для песка -  $C = 70 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^3$ ;

для глины -  $C = 250 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^3$ ;

для скального грунта -  $C = 1000 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^3$ .

Нагрузки на проектируемый трубопровод приняты по результатам статического расчёта, выполненного по методике, изложенной в [4]. Всего в расчётной схеме 5 загрузений (рис. 3):

Загрузка 1 - нагрузка от собственного веса;

Загрузка 2 - нагрузка от вертикального давления грунта;

Загрузка 3 - нагрузка от горизонтального давления грунта;

Загрузка 4 - вертикальное давление грунта от временной нагрузки НК-80;

Загрузка 5 - горизонтальное давление грунта от временной нагрузки НК-80.

Все материалы данной модели считаем сплошными и постоянными по своим механическим свойствам. Данное предположение даёт возможность считать напряжения, деформации и перемещения отдельных точек непрерывными функциями координат. Кроме того, принимаем материалы упругими, поэтому можем решать задачу в рамках линейной теории упругости.

В результате проведённых исследований в программном комплексе Lira 9.2 было рассмотрено 9 расчётных схем сегмента трубы диаметром условного прохода 400 мм в зависимости от расчётной высоты засыпки грунтом: 2 м, 4 м, 6 м и подстилающего основания: песок, глина, скала (рис. 4).

Результаты расчётов позволили установить зависимости численных значений осадок трубопровода от расчётной высоты засыпки грунтом и

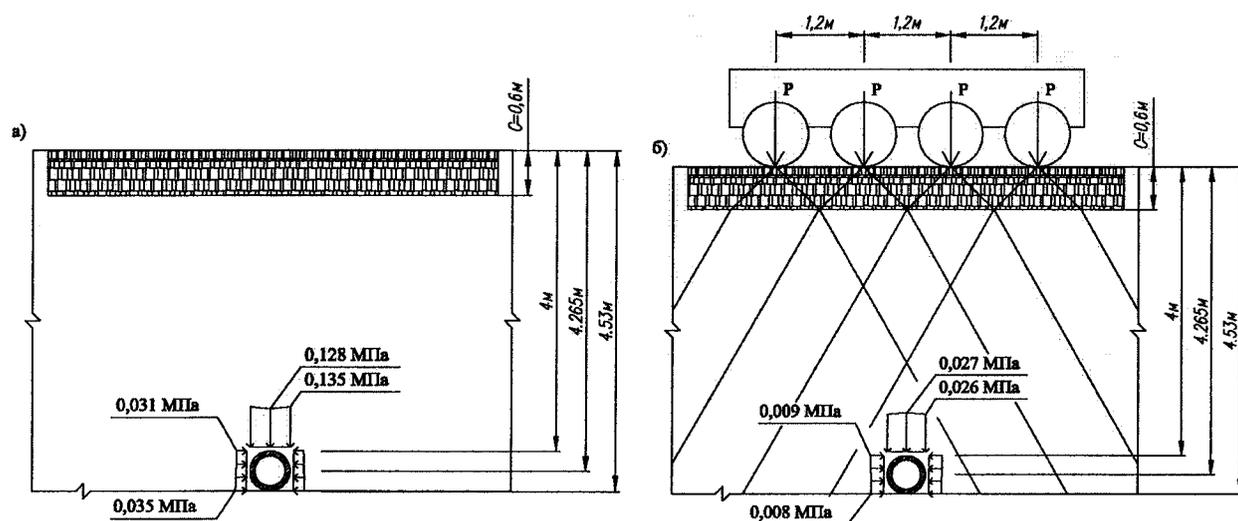
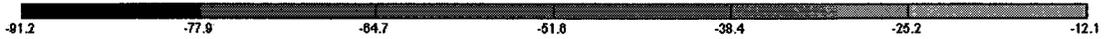


Рис. 3. Сбор нагрузок на конструкцию: а - нагрузки, действующие на конструкцию от вертикального и горизонтального давления грунта; б - вертикальное и горизонтальное давление грунта на конструкцию от временной нагрузки НК-80 (при расчётной высоте засыпки грунтом 4 метра)



Изополя напряжений по  $N_x$   
Единицы измерения - т/м<sup>2</sup>

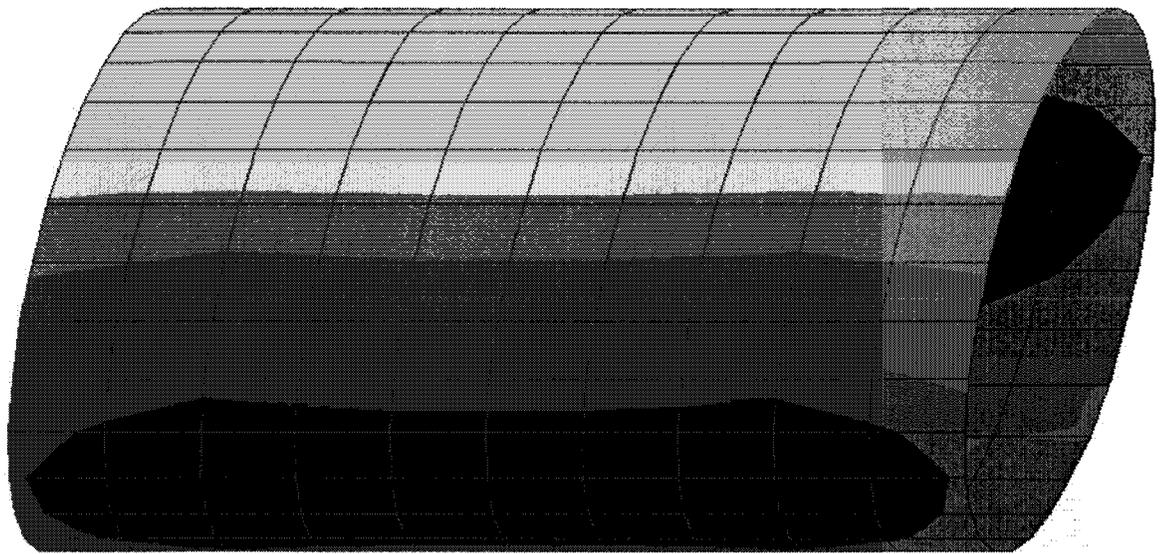


Рис. 4. Пример результата расчёта: изополя напряжений по  $N_x$  (расчётная высота засыпки грунтом 4 метра, подстилающий слой – глина)

типа подстилающего слоя (рис. 5), так у песка она в 3,5 раза больше, чем у глины и в 15 раз больше, чем у скального грунта.

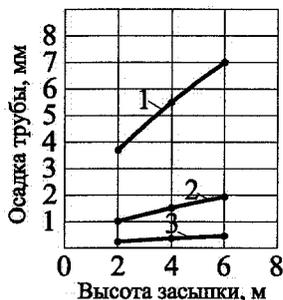


Рис. 5. Осадка трубы в зависимости от типа грунта: 1 – подстилающий слой – песок, 2 – подстилающий слой – глина, 3 – подстилающий слой – скала

В табл. 1 представлены напряжения в конструкции от совместного действия собственного веса массива грунта и временной нагрузки на поверхности земли класса НК-80.

Напряжения, действующие в конструкции, сильно зависят от высоты расчётного слоя засыпки грунтом. При глубине засыпки грунтом 6 метров они примерно в 1,3 раза выше, чем при 4 метрах, и почти в 2 раза, чем при двух метрах.

### Проведение лабораторных испытаний

Лабораторные испытания труб на прочность, трещиностойкость и водонепроницаемость проводились в испытательном центре строительных материалов, изделий и конструкций ГРЦ «КБ имени академика В.П. Макеева» по методике описанной

Таблица 1

### Перемещения и напряжения в конструкции

Показатели	Расчётная высота засыпки грунтом					
	2 метра		4 метра		6 метров	
	max	min	max	min	max	min
Перемещения по X, мм	-1,14	-1,03	-1,7	-1,53	-2,14	-1,94
Перемещения по Y, мм	-0,0478	0,0474	-0,0732	0,0727	-0,0872	0,0865
Напряжения $N_x$ , МПа	-0,609	-0,0875	-0,912	-0,121	-1,16	-0,213
Напряжения $N_y$ , МПа	-0,0783	0,0269	-0,114	0,041	-0,156	0,0515
Напряжения $T_{xy}$ , МПа	-0,0679	0,0678	-0,102	0,102	-0,128	0,128
Напряжения $M_x$ , кН·м/м	1,85	-1,72	2,62	-2,82	3,4	-3,16
Напряжения $M_y$ , кН·м/м	0,376	-0,354	0,572	-0,538	0,689	-0,65
Напряжения $Q_x$ , кН/м	-18,6	18,5	-28,1	28,1	-34,1	34,1
Напряжения $Q_y$ , кН/м	2,15	-2,15	3,26	-3,26	4,01	-4

Подстилающий слой – глина.

в ГОСТ 6482-88 «Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия» (рис. 6).

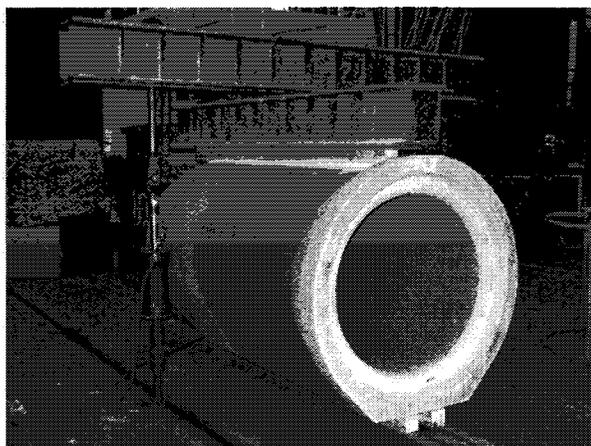


Рис. 6. Испытание раструбной железобетонной трубы на прочность и трещиностойкость в испытательном центре

Результаты испытаний труб на прочность и трещиностойкость приведены в табл. 2.

Так же при помощи программного комплекса Liga 9.2 был проведен машинный эксперимент, в результате были определены самые опасные места в конструкции (рис. 7).

При увеличении нагрузки до разрушающей образовались трещины по всей длине трубы под нагрузочной балкой, под опорами и по обеим боковым поверхностям (рис.8).

Лабораторные испытания показали, что:

1. Характер напряженно-деформированного состояния трубы, полученный при расчёте по разработанной расчётной схеме (см. рис. 4), подтвердился лабораторными испытаниями.

2. Железобетонные трубы, изготавливаемые ООО «ПКО «ЧелСИ» по технологии немецкой фирмы «SCHLOSSER-PFEIFFER», имеют резерв по прочности и трещиностойкости.

Таблица 2

Контрольные и испытательные нагрузки	Марка трубы			
	ТСП 120.25-3		ТС 40.25-3	
	Трещиностойкость	Прочность	Трещиностойкость	Прочность
Контрольная нагрузка, кН/м	66,64	121,17	26,98	49,05
Контрольная нагрузка, $P_{к}$ , тс	16,9	30,9	6,88	12,5
Испытательная нагрузка, $P_{из}$ , тс	17,7	32,0	6,89	12,5
Испытательная нагрузка, кН/м	69,4	125,4	27,0	50,0
Испытательная максимальная (разрушающая) нагрузка, тс	–	40,15	–	18,2
Испытательная максимальная (разрушающая) нагрузка, кН/м	–	157,4	–	71,4
Вид разрушения	–	Трещины по всей длине трубы	–	Трещины по всей длине трубы

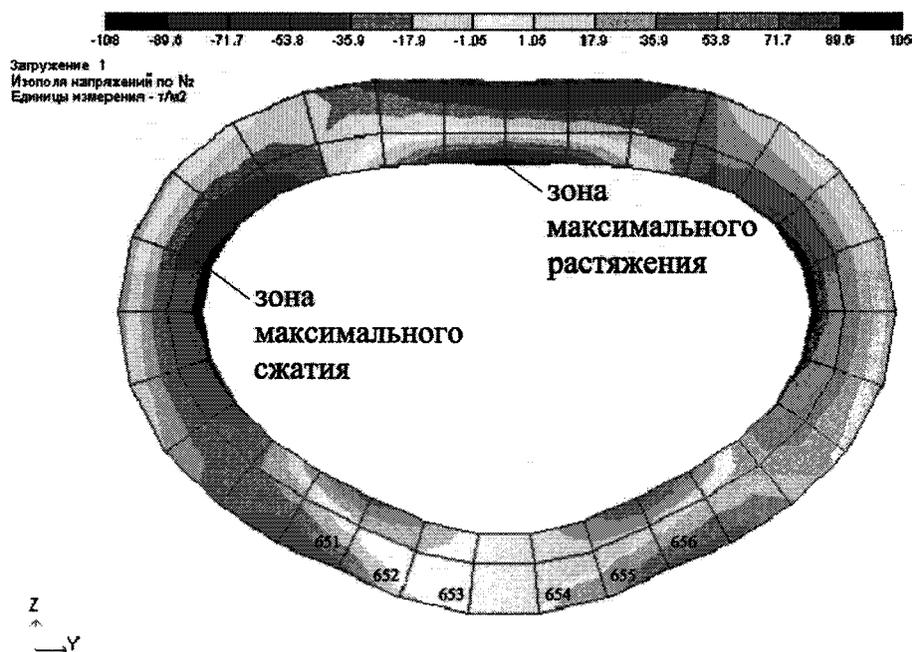


Рис. 7. Напряженно-деформированное состояние поперечного сечения трубы при проведении испытания на прочность

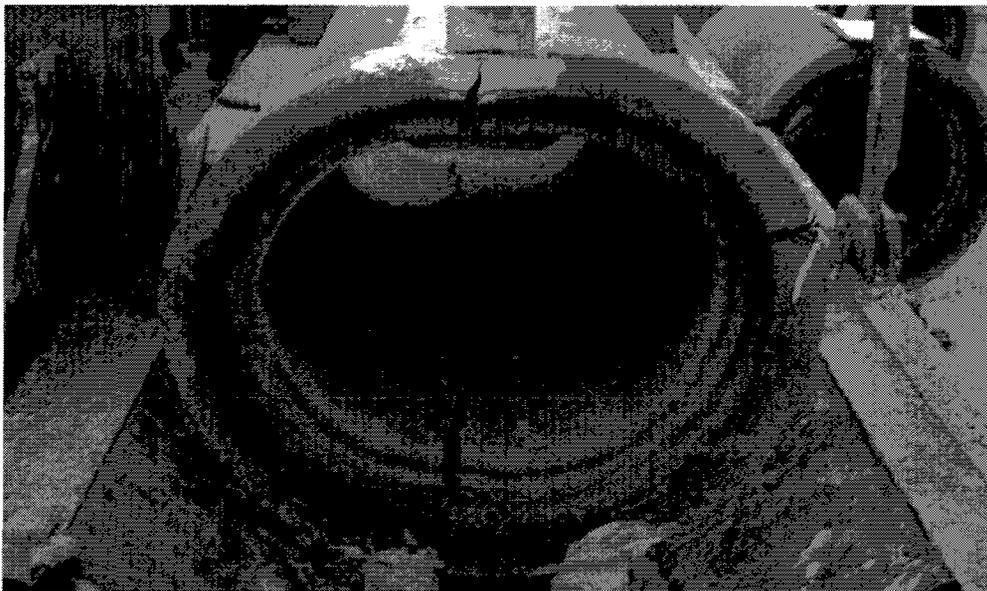


Рис. 8. Разрушение железобетонной трубы при испытании на прочность и трещиностойкость

3. Возможно дополнительное армирование железобетонных труб в тех участках конструкции, где произошло разрушение, с целью экономии арматуры в малонапряжённых местах конструкции.

#### *Литература*

1. Корякин, А.А. *Расчёт конструкций, зданий и сооружений с использованием персональных ЭВМ/ А. А. Корякин.* - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. - 194 с.

2. *Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжёлого бетона без предварительного напряжения арматуры*

(к СП 52-101-2003). ЦНИИПромзданий, НИИЖБ. - М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2005. - 214 с.

3. Сенкевич, Т.П. *Железобетонные трубы / Т.П. Сенкевич, С.З. Рагольский, В.Н. Померанец; под ред. С.З. Рагольского.* - М.: Стройиздат, 1989.-272 с.

4. СНиП 2.05.03-84\* *Мосты и трубы.* - М.: Госстрой России, 2000.

5. СП 32-105-2004 *Метрополитены.*

6. Ракитин, Б.А. *Исследование напряжённо-деформированного состояния безнапорных железобетонных труб с учётом свойств массива/ Б.А. Ракитин, Б.В. Соловьёв // Строительная механика и расчёт сооружений.* -2008. -Вып. 1. - С. 17-22.