

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БЕЗНАПОРНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 2000 и 2400мм ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

DESIGN AND INVESTIGATION OF BEARING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE NON-PRESSURE 2000 AND 2400 mm DIAMETER PIPES FOR DEEP BURIAL

Шепелевич Николай Иосифович; кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией конструкций инженерных коммуникаций, РУП «Институт БелНИИС»

Молчан Алексей Евгеньевич, ведущий инженер лаборатории конструкций инженерных коммуникаций, РУП «Институт БелНИИС».

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты работ по конструированию и экспериментальным исследованиям несущей способности железобетонных безнапорных труб диаметром 2000 и 2400 мм с глубиной заложения 4 – 10 м. Трубы испытаны действием трехлинейной нагрузки, также исследовано их напряженно-деформированное состояние после засыпки грунтом. Установлено, что по значениям деформаций кольцевых сечений трубы, полученным при испытании труб нагружением и соответствующим деформациям, полученным после обратной засыпки, можно определить фактические значения нагрузок на трубы от давления грунта засыпки и выявить резервы их несущей способности.

ABSTRACT

This article describes results of design and experimental study of bearing capacity of reinforced concrete gravity flow pipes with 2000 and 2400 mm diameter and depth of burial 4-10 m. The pipes were trilinear load tested and their deflected mode after soil backfill studied. The study showed that results of pipes' load testing and data on deformation of pipe wall ring cross-section after backfill allow to determine actual values of loads acting on pipes and reveal their reserves in bearing capacity.

ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследований являются железобетонные безнапорные трубы диаметром 2000 и 2400 мм для устройства канализационных коллекторов глубокого заложения.

Цель исследований - разработка новых эффективных конструкций железобетонных безнапорных труб диаметром 2000 и 2400 мм, обеспечивающих требуемую эксплуатационную надежность при глубине заложения до 10 м (до верха трубы) без использования монолитных железобетонных обойм усиления.

Гипотеза. Несущую способность железобетонных безнапорных труб конкретного диаметра и группы по несущей способности можно представить в виде графической зависимости $P-\Delta$, характеристические точки которой устанавливаются по результатам стендовых испытаний труб нагружением,

где P - эквивалентная внешняя вертикальная погонная нагрузка на трубу;

Δ - депланация (изменение вертикального или горизонтального диаметра) кольцевого сечения трубы.

Задачи исследований.

1. Получение зависимостей ($P-\Delta$) и характеристических точек по результатам стендовых испытаний труб нагружением.

2. Исследование напряженно-деформированного состояния труб после укладки и засыпки грунтом и построение зависимостей депланации кольцевого сечения трубы от глубины их заложения ($H-\Delta$).

3. Анализ результатов экспериментальных исследований и построение расчетных зависимостей ($P-\Delta$) для конкретного типа труб с указанием на них характеристических точек (момент трещинообразования, значения нормативной и расчетной нагрузки).

Исследования выполнены на натуральных образцах железобетонных безнапорных труб диаметром 2000 и 2400 мм третьей, четвертой и пятой групп по несущей способности по СТБ 1163 [1].

1. КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ТРУБ

До последнего времени в Республике Беларусь и СНГ железобетонные безнапорные трубы диаметром свыше 1600 мм изготавливали методом виброформования. Технические характеристики труб были установлены [2], недостатком которого являлась жесткая регламентация геометрических размеров и параметров арматурного каркаса. Так, полезная длина трубы диаметром 2000 мм составляла 4,5 м при толщине стенки - 130 мм. С целью ограничения количества стыковых соединений и по причине трудоемкости процесса герметизации стыков (зачеканка) ГОСТ 6482 [2] не допускал производство труб длиной менее 3,5 м. Производство же специальных уплотнительных манжет в СССР отсутствовало.

Максимальная глубина заложения (до верха трубы) труб диаметром 2000 мм составляла 4 м (вторая группа по несущей способности). При большей глубине заложения трубы заключали в монолитные железобетонные обоймы по серии 3.008.1-1, с охватом трубы от 180° до 360° или применяли закрытые способы строительства коллекторов [3].

В европейских странах производство железобетонных безнапорных труб диаметром свыше 1500 мм, как правило, осуществляется методом вибропрессования, основанном на использовании жестких бетонных смесей, позволяющих выполнять «немедленную» распалубку изделий. При этом, как правило, нет необходимости в тепловлажностной обработке изделий. Длина данных труб (обусловлена распалубкой) составляет 2-2,5 м. Для герметизации стыковых соединений труб используют специальные манжеты из резины [4].

Институт БелНИИС разработал новые конструкции железобетонных безнапорных труб диаметром 2000 и 2400 мм пяти групп по несущей способности, предназначенных для укладки на глубину до 10 м. Конструктивные решения труб разработаны с учетом изготовления их по технологии вибропрессования.

Полезная (без учета раструба) длина труб принята равной 2,5 м. Толщина стенок труб варьируется в зависимости от диаметра и от группы по несущей способности. Для труб диаметром 2000 мм толщина стенки составляет: 150 мм – для круглых труб 1-3 групп по несущей способности, и 200 мм – для труб с подошвой 3-5 групп по несущей способности.

Трубы диаметром 2400 мм 3-5 групп по несущей способности выполнены с плоской подошвой (для укладки на грунтовое основание) и имели толщину стенки 250 мм.

Стыковое соединение труб – раструбное, уплотняемое кольцевой резиновой манжетой типа «ласточкин хвост». Для перемещений и монтажа трубы были снабжены специальными закладными анкерами.

Армирование стенки трубы выполнено двойными цилиндрическими каркасами, симметрично расположенными у внутренней и наружной грани. Расчет труб на прочность и трещиностойкость выполнен по методике [5] как для железобетонных изгибаемых элементов, в которых при действии нормативных значений внешней нагрузки допускается ограниченное (до 0,3 мм) раскрытие трещин. Проектный класс бетона – С 25/30. Схема конструктивного решения трубы с подошвой приведена на рисунке 1.

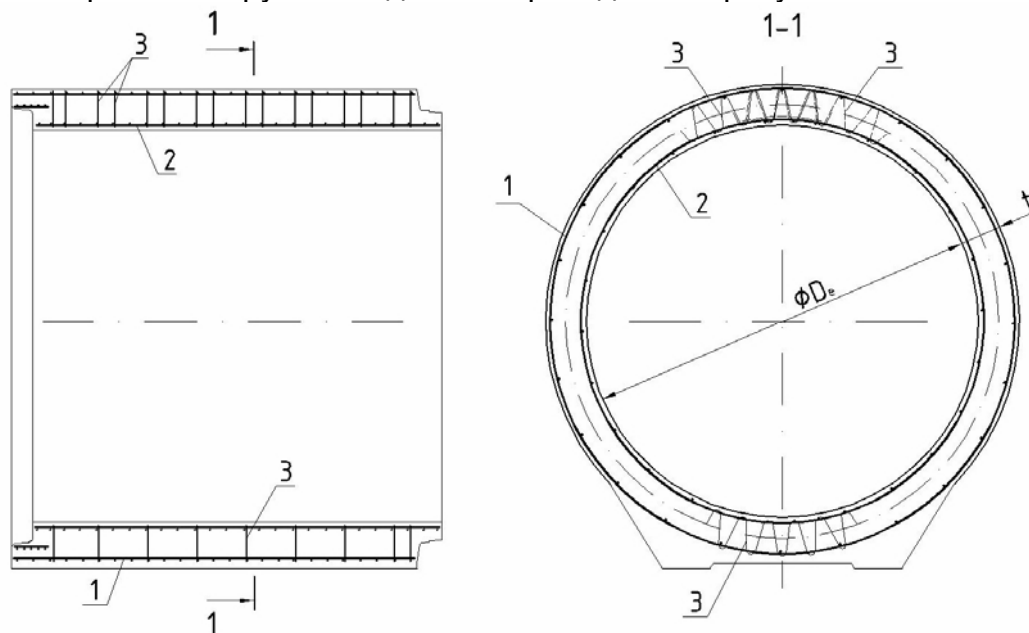


Рисунок 1. Конструктивное решение трубы глубокого заложения
 1 – наружный цилиндрический каркас; 2 – внутренний цилиндрический каркас;
 3 – элемент усиления «гребенка»

Значения внешних нагрузок определены по Инструкции СН 000-75 для усредненных условий укладки, при повышенной степени уплотнения грунта пазух. Значения контрольных испытательных нагрузок назначены с учетом указаний ГОСТ 8829 при коэффициенте безопасности $S=1,5$ [6]. Основные технические характеристики труб приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики труб

Марка трубы	Толщина стенки трубы, мм	Параметры арматурных каркасов			Контрольные нагрузки Р, кН/м	
		∅ спирали, мм	шаг спирали, мм	масса каркасов, кг	трещиност.	прочность
ТБ200.25-1	150	8	90	164.7	54.5	96.9
ТБ200.25-2			60	240.2	72.8	142.6
ТБ200.25-3			40	389.5	94.6	185.4
ТБП200.25-3	200	10	85	296.2	114.5	208.2
ТБП200.25-4			65	381.9	147.5	268.2
ТБП200.25-5			50	484.7	181.8	330.6
ТБП240.25-3	250	10	85	398.3	158.0	287.2
ТБП240.25-4			65	498.8	204.5	371.9
ТБП240.25-5			50	590.3	252.8	459.6

Трубы диаметром 2000 мм третьей группы по несущей способности (с глубиной заложения до 6 м) запроектированы в двух вариантах: круглые - с толщиной стенки 150 мм и с подошвой – с толщиной стенки 200 мм. При этом в лотке и шельге круглых труб установлены дополнительные элементы усиления («ребенки»). Круглые трубы на 30% легче толстостенных, однако с учетом высокого расхода арматуры и трудоемкости (установка ребенок) они дороже, а также требуют строгой ориентации центров шельги и лотка при укладке, что не всегда соблюдается.

Производство труб налажено на РУП «Спецжелезобетон» (г.Микашевичи) методом вибропрессования с использованием жестких бетонных смесей, что позволяло выполнять «немедленную» распалубку труб и использовать только одну наружную форму. Арматурные каркасы изготавливают на каркасо-сварочной машине конструкции немецкой фирмы MBK [7].

2. ИСПЫТАНИЯ ТРУБ НАГРУЖЕНИЕМ.

Натурные образцы труб испытаны на прочность и трещиностойкость действием трехлинейной нагрузки по методике СТБ 1163. на каждой ступени нагружения производили измерения изменений вертикального и горизонтального диаметров трубы, а также ширины раскрытия продольных и наклонных трещин в шельге (наиболее загруженное сечение). Внешний вид испытаний и характер образования трещин в шельге трубы представлен на рисунках 2 и 3. Всего было испытано более 10 натуральных образцов, включая фрагменты (без раструба), от второй до пятой групп по несущей способности.



Рисунок 2. Испытание трубы марки ТБП 200.25-5



Рисунок 3. Характер образования трещин в шельге трубы нагружением

Результаты измерений изменения горизонтального диаметра Δ и максимальной ширины раскрытия трещин w_k в шельге контрольных образцов труб (см. табл. 1), при действии равномерно-распределенной вертикальной нагрузки P , приложенной по образующей, приведены на рисунках 4 и 5.

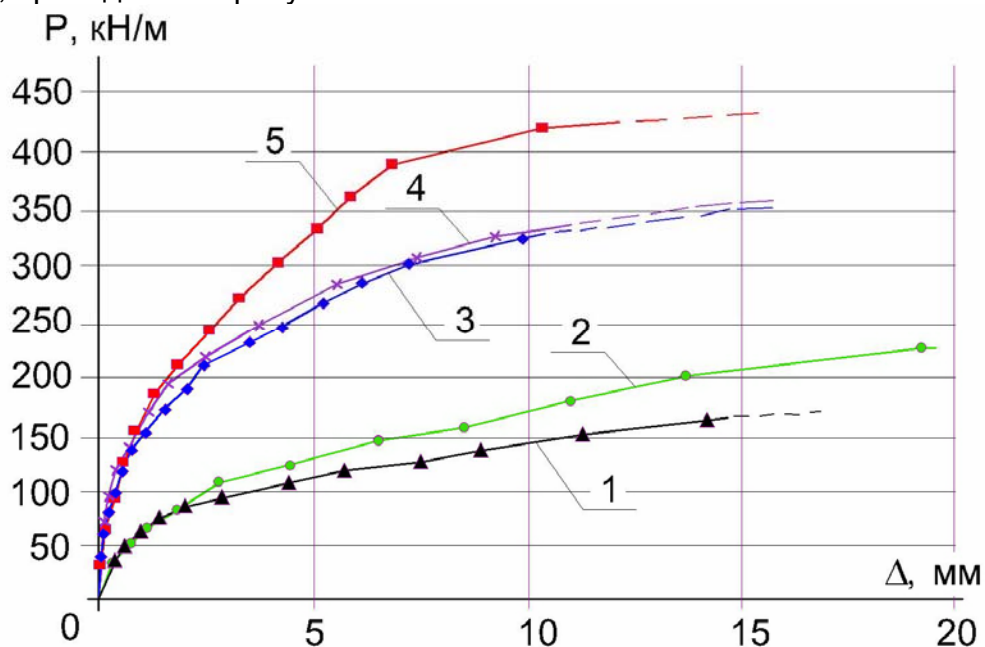


Рисунок 4. Графическая зависимость (P - Δ) для труб марок: 1 - ТБ200.25-2, 2 - ТБ200.25-3, 3 - ТБП200.25-3, 4 - ТБП240.25-3, 5- ТБП200.25-5

Анализ результатов испытаний показывает, что на первых ступенях загрузки (до образования трещин) изменение (увеличение) горизонтального диаметра в круглых (тонкостенных) трубах второй и третьей групп по несущей способности, как и в трубах с подошвой (с толстой стенкой) существенно не различались. Расхождения же начали наблюдаться после образования трещин. При дальнейшем увеличении нагрузки

наблюдалось ускоренное изменение горизонтального и вертикального диаметров трубы, образование новых и рост ширины раскрытия имеющихся трещин в шельге, лотке, а затем и на наружной боковой поверхности труб. Образование же первых трещин (во всех трубах) было зафиксировано при нагрузках превышающих контрольную нагрузку по трещиностойкости, что обусловлено высокой прочностью вибропрессованного бетона на растяжение [8].

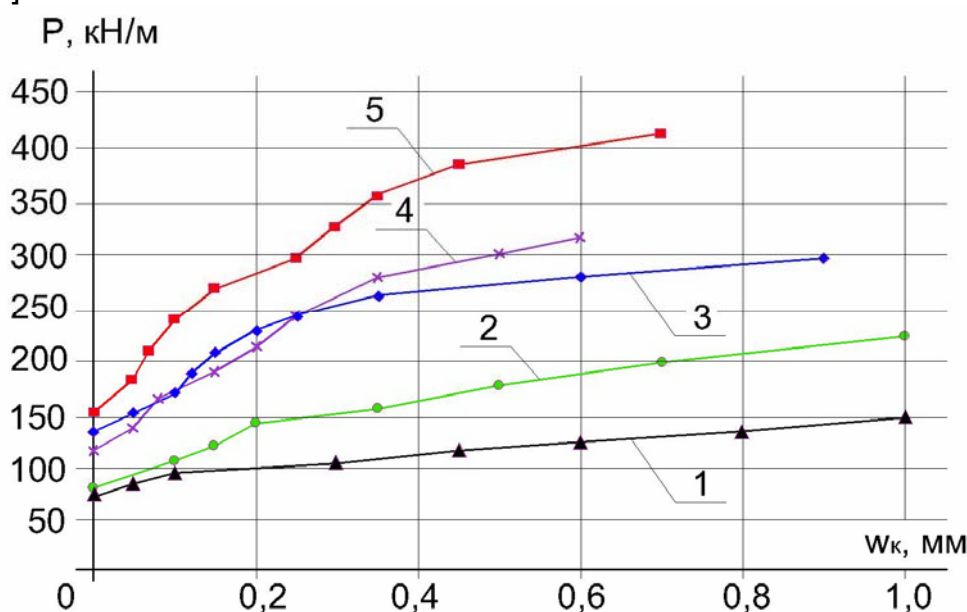


Рисунок 5. Графическая зависимость ($P-w_k$) для труб марок:

1 - ТБ200.25-2, 2 - ТБ200.25-3, 3 - ТБП200.25-3, 4 - ТБП240.25-3, 5- ТБП200.25-5

Рисунок 6 Внешний вид коллектора при выполнении изменений деформаций кольцевых сечений

Исчерпание несущей способности тонкостенных, круглых труб характеризовалось тем, что трубы начинали плавно «садиться» при достижении нагрузкой предельных значений. Такой характер деформирования обусловлен статической неопределенностью данных конструкций (образованием пластических «шарниров» в шельге и лотке трубы и перераспределение изгибающего момента на боковые грани).

Характер деформирования труб с подошвой (толстостенных) существенно отличается от тонкостенных. Изгибная жесткость стенки шельги данных труб в ≈ 2 раза больше чем у тонкостенных. При этом жесткость стенки лотка (за счет подошвы) существенно выше, чем шельги. Разрушение данных труб при испытаниях происходит по наклонной трещине, проходящей через один из углов упорного бруса и направленной под углом $\approx 45^\circ$ к вертикали. Причем данный характер разрушения не соответствует реальной работе конструкции в грунте, а для того чтобы трубы четвертой и пятой групп по несущей способности выдерживали контрольные нагрузки в данной области необходимо устанавливать дополнительные каркасы усиления («ребенки»).

Анализ зависимостей приведенных на рисунках 4 и 5 показывает, что характер деформации труб ТБП200.25-3 и ТБП240.25-3 (на графиках - ветви 3 и 4) практически не различается. Это обусловлено тем, что у данных труб отношение толщины стенки к среднему радиусу отличаются несущественно.

В целом, испытания показали, что прочностные характеристики труб обеспечивают восприятие проектных нагрузок, а трубы с подошвой имеют еще и резервы как по трещиностойкости, так и по прочности (см. графики на рисунках 4-5 и контрольные нагрузки в таблице 1).

Как уже отмечалось выше, при проектировании, расчет труб на прочность и трещиностойкость производят на усредненные условия укладки. При этом важное значение имеет не только вид грунта засыпки, но и степень его уплотнения в зоне укладки трубы в траншею («пазух»). Так, практика показывает, что при несоблюдении требований

к степени уплотнения (до $K_u \geq 0,95$) грунта пазух, может произойти значительная деформация кольцевого сечения с образованием трещин в шельге (и лотке у тонкостенных) с шириной раскрытия свыше 1 мм. Т.е. в шельге и лотке образуются пластические шарниры, которые свидетельствуют о приближении внешней нагрузки к предельной.

Трубы марки ТБ200.25-2 и ТБ200.25.3 впервые были использованы при строительстве дождевых коллекторов м-на «Дружба» г. Минск в 2007...2008 г. При этом, разработчики (в т.ч. авторы статьи) вели наблюдение за техническим состоянием труб как сразу после засыпки, так и в процессе эксплуатации. Степень нагружения трубы определяли путем измерения приращения ее горизонтального диаметра (см. фото на рисунке 6), а также по наличию и ширине раскрытия трещин в шельге.



Рисунок 6. Внешний вид коллектора при выполнении измерений деформации кольцевого сечения труб.

На рисунке 7 приведены графические зависимости (получены по результатам измерений деформаций труб после обратной засыпки) изменений горизонтального диаметра Δ и максимальной ширины раскрытия трещин w_k при различной высоте засыпки (Н) труб марки ТБ200.25-2 (применялась при высоте засыпки до 4 м) и ТБ200.25.3 (применялась при высоте засыпки от 4 м и до 7 м). На оси ординат приведена также расчетная вертикальная (эквивалентная) погонная нагрузка Р. Аналогичные графические зависимости для труб марок ТБП240.25-3 и ТБП240.25-4 приведены на рисунке 8. Анализ показывает, что полученные зависимости экстраполируются с результатами испытаний контрольных образцов труб (см. графики на рисунках 4 и 5).

Следует указать, что при производстве труб методом вибропрессования, все трубы изготавливались на одном вибросердечнике и в одной наружной форме и являются «близнецами» (по геометрии). То есть, по значению изменения горизонтального диаметра и максимальной ширине раскрытия трещин в шельге можно судить о значении внешней нагрузки на трубу и резервах ее несущей способности, если имеются соответствующие зависимости, полученные по результатам ее испытаний нагружением.

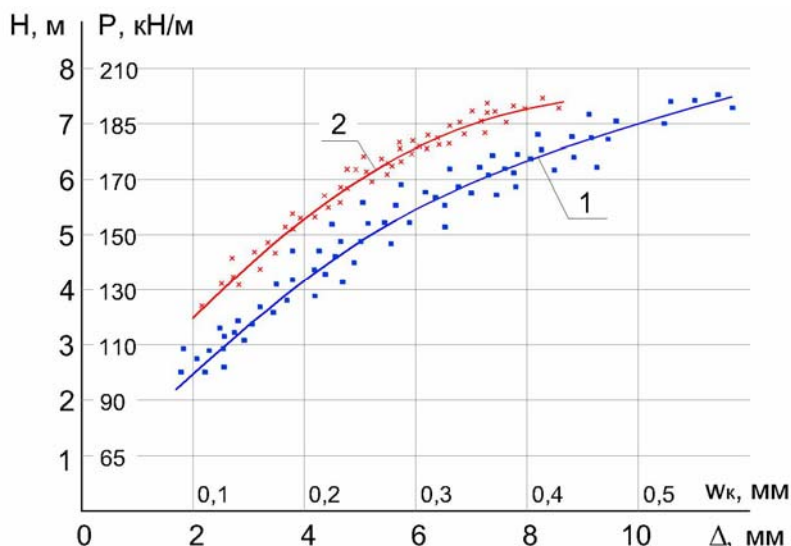


Рисунок 7. Графические зависимости изменения горизонтального диаметра Δ трубы - 1 и ширины раскрытия трещин w_k – 2 для труб ТБП200.25

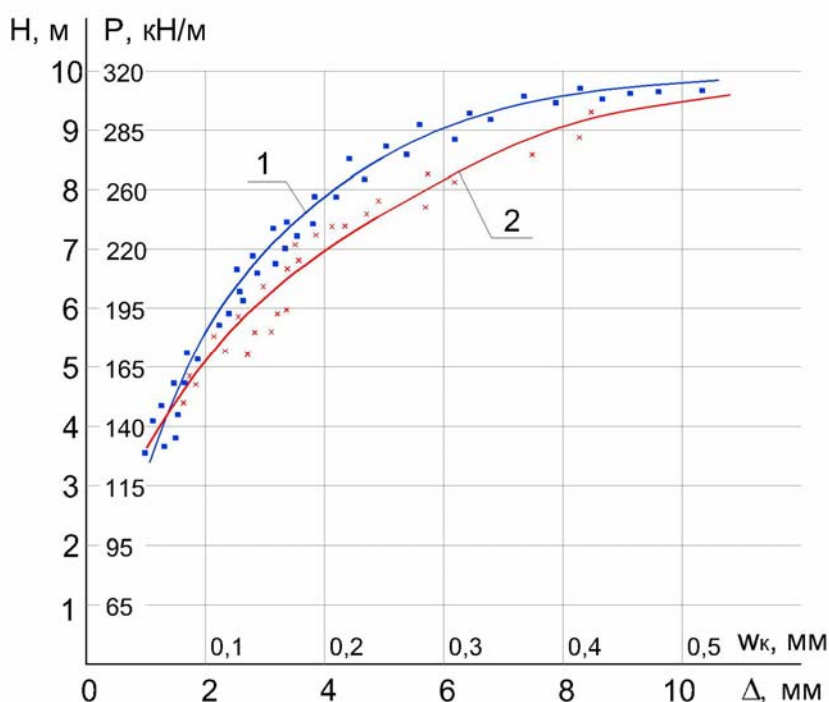


Рисунок 8. Графические зависимости изменения горизонтального диаметра Δ трубы - 1 и ширины раскрытия трещин w_k – 2 для труб ТБП240.25

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. По результатам стендовых испытаний труб нагружением и значениям деформации кольцевого сечения стенки трубы в условиях объекта строительства можно определить фактические значения внешних нагрузок на трубы и получить расчетные зависимости ($P-\Delta$) с характеристическими точками, позволяющими судить о несущей способности трубы в условиях эксплуатации.

2. Технические характеристики железобетонных безнапорных труб диаметром 2000 и 2400 мм, позволяют производить их укладку на глубину до 10 м без дополнительного усиления.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трубы бетонные и железобетонные. Общие технические условия: СТБ 1163-99.
2. Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия: ГОСТ 6482-88. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 77 с.
3. Трубы железобетонные безнапорные. Выпуск 0. Материалы для проектирования трубопроводов из труб диаметром 400-2400 мм. Серия 3.008.1-7. – М.: Мосинжпроект, 1983. – 86 с.
4. Беккер, Гюнтер. Различные концепции производства труб. / Гюнтер, Беккер // Бетонный завод. – 2005. - №1. – С.35-40.
5. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Введ. 01.07.2003. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2003. – 144с.
6. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-94 Введ. 01.01.1998. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1997. – 26с.
7. Шепелевич, Н.И., Басевич, В.П. Новые конструктивные решения и технологии производства железобетонных безнапорных труб / Н.И.Шепелевич, В.П.Басевич // Строительная наука и техника. – 2007. - № 5(14). – С.46-51.
8. Шепелевич, Н.И. Об использовании показателей прочности бетона при осевом растяжении при проектировании бетонных труб / Н.И.Шепелевич // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров республики Беларусь. сб. тр. XVI Международного научно-методического семинара. – Брест: БрГТУ, 2009. – Ч.1 – С. 54-58.