

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-4.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/27TVN417.pdf>

Статья опубликована 28.08.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Петропавловских О.К., Ананьев А.А., Шаймарданов И.А. Возможность использования гофрированных полипропиленовых труб в насыпи автомобильной дороги // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/27TVN417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 696+69.07

Зиннуров Тагир Альмирович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Казань¹
Старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»
Кандидат технических наук
E-mail: leongar@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=800952

Пискунов Александр Алексеевич

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Казань
Профессор кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»
Доктор технических наук
E-mail: a.piskunov52@mail.ru

Петропавловских Ольга Константиновна

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Казань
Старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»
E-mail: olga_konst@mail.ru

Ананьев Андрей Алексеевич

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Казань
Магистрант направления «Строительство»
E-mail: mvp-star_andrew@mail.ru

Шаймарданов Ильфат Азатович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Казань
Магистрант направления «Строительство»
E-mail: Shaymardanov_ilfat@mail.ru

**Возможность использования гофрированных
полипропиленовых труб в насыпи автомобильной дороги**

Аннотация. Массовое распространение пластмасс во всех отраслях началось в конце 90-ых годов двадцатого века. В строительстве пластмассовые изделия составили хорошую конкуренцию конструкциям из металла и железобетона. Сегодня пластик в виду химической стойкости опережает своих конкурентов в таких направлениях, как водоснабжение и канализация. Но иногда именно в проектировании водопропускных систем инженерам

¹ 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

приходиться работать вслепую, из-за отсутствия полноценной нормативно-документальной базы.

В статье преследуется *цель, исследовать работу полимерных гофрированных двухслойных труб под нагрузкой и убедиться в возможности их использования в насыпях автомобильных дорог*. В рамках данной работы авторами проведены ряд экспериментальных и численных исследований, направленных на изучение несущей способности гофрированных труб из пропилена. Экспериментальная часть доказала, что кольцевая жесткость определяет работу труб под нагрузкой. На основе полученных зависимостей построены численные модели, при помощи которых решались задачи оценки несущей способности гофрированных полипропиленовых труб в насыпи автомобильной дороги. Результатом работы получены рекомендации по размещению полипропиленовых труб в насыпи автомобильной дороги.

Ключевые слова: водопропускная труба; полипропилен; автомобильные нагрузки; кольцевая жесткость; численное моделирование; эксперимент; насыпь

Введение

Современные технологии возведения инженерных систем для сбора и пропуска сточных вод предлагают, наряду с железобетонными и металлическими, использование гофрированных труб из высокопрочных полимеров. Последней разработкой и прорывом в области канализационных труб являются двухслойные гофрированные трубы, изготовленные методом двойной экструзии, состоящие из двух стенок, гофрированной снаружи и гладкой изнутри. Данное решение оказалось легким по весу из-за небольшой толщины стенки, что сокращает время и трудоемкость монтажа, а также более экономичнее по стоимости. Сочетание высокой жесткости гофрированной структуры и способность изгибаться без ущерба несущей способности повышают надежность и срок службы пластиковых труб (по заявлениям заводов-изготовителей от 50 до 100 лет) [4].

История развития труб из синтетических материалов берет начало в 50-х годах, когда во многих развитых странах проводились исследования, связанные с применением их в дорожном строительстве. Неоспоримыми достоинствами для дальнейшего внедрения труб из полимербетонных, стеклопластиков, полимеров являются такие качества, как водонепроницаемость, химическая и биологическая стойкость. В Англии и США предпочтения отдавались трубам из полиэтилена, в Германии из поливинилхлорида со спиральными ребрами. Яркий опыт строительства гофрированных стеклопластиковых водопропускных труб диаметром 1.5 м был осуществлен в России в 1974-1975 гг. по проектам Ленгипротранса, в результате чего срок строительства сократился в 10-15 раз, трудоемкость работ уменьшилась в 4-5 раз [4]. Существует ряд недостатков полимеров, из-за которых выбор останавливали на трубах из проверенных традиционных материалов.

Если говорить о пластиковых трубах большого диаметра, то они были ограничены в применении пока не появились двухслойные гофрированные трубы. На сегодняшний день в России рынок двухслойных гофрированных труб из полимеров находится на этапе своего развития. Двухслойные гофрированные трубы могут быть выполнены из полиэтилена и полипропилена, физические характеристики которых позволяют возводить в различных условиях эксплуатации. Данный факт подтверждают характеристики в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики полипропилена (составлена автором)

Наименование показателя	Значение
1. Плотность, кг/м ³	900-910
2. Прочность при разрыве, МПа, не менее	30
3. Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	14.5
4. Предел текучести при растяжении, МПа,	30.9
5. Модуль упругости при 1 % удлинении, МПа,	1440
6. Ударная вязкость по методу Изода, Дж/м ² , не менее	
• при 0 °С,	9.0
• при -20 °С.	5.0
7. Температура эксплуатации, °С	От -20 до +95
8. Коэффициент линейного расширения	0.00012
9. Температура транспортируемой жидкости, °С	до 80

На данный момент в распоряжении проектировщиков единственным документом по проектированию и монтажу внутренних и наружных систем водоснабжения и канализации из полимерных труб является СП 40-102-2000 "Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов"². Данный свод правил не удовлетворяет современным требованиям дорожного строительства, основным недостатком являются отсутствие методики расчета на прочность и отсутствие требуемого сортамента двухслойных гофрированных труб особенно больших диаметров [8]. Однако, принятие решения о возможности применения того или иного типа гофрированных труб основывается на несущей способности. Нередко проектировщики перестраховываются, и в теле насыпи под автомобильными дорогами трубы прокладывают в защитных железобетонных футлярах. Отсутствие нормативно-документальной базы по проектированию *определяет цель данной работы в подтверждении возможности использования полимерных гофрированных двухслойных труб под автомобильные нагрузки согласно ГОСТ 52748-2007 "Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения"*³. Для реализации поставленной цели принято решение провести, как экспериментальные так и численные исследования. Экспериментальная часть исследований заключалась в проведении испытаний двухслойных гофрированных труб по ГОСТ Р 55071-2012⁴ для оценки истинной кольцевой жесткости и верификации компьютерных моделей для проведения численных расчетов.

Натурный эксперимент

На базе лаборатории "МиДИС" КГАСУ проведены серии испытаний образцов труб в количестве 5 штук номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм и 800 мм номинальной кольцевой жесткости SN8, длиной 2000мм с раструбом и без него (рис. 1).

² СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов.

³ ГОСТ Р 52748-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения.

⁴ ГОСТ Р 55071-2012 Трубы и детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном. Методы испытаний. Определение начальной удельной кольцевой жесткости.



Рисунок 1. Образцы двухслойных гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм и 800 мм (сделан автором)

На начальном этапе подготовки проведен визуальный осмотр образцов на предмет выявления дефектов и повреждений, а также определены основные геометрические характеристики звеньев гофрированных труб. Результаты осмотра образцов труб с номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм SN8 и DN/ID 800 мм SN8 свидетельствуют об отклонениях размеров в рамках допустимых интервалов установленным согласно техническим условиям на изготовления продукции. Отметим, что смещение и скручивание уплотнителя труб образцов в раструбном соединении встречается практически в каждом образце имеющим данное соединение. Отсутствие полных технологически выверенных рекомендаций, не позволяет производить правильное соединение труб при помощи раструбного соединения. В общем внешний вид и характеристики труб соответствовали заявленным характеристикам и не оказывают влияние на прочность.

В соответствии с ГОСТ Р 55071-2012 принята следующая расчетная схема испытания звена, представленная на рисунке 2. Каждый образец трубы устанавливается горизонтально на лист – 1 (пластина) уложенная на неподвижное основание. Сверху на трубу устанавливается металлическая траверса, выполненная из двутавра №20 $L = 2.0$ м по ГОСТ 26020-83 в основании которой находится пластина из резины шириной $b = 25$ см. Нагрузку прикладывают гидравлическим домкратами ДГ-50 с контролем нагрузки динамометрами ДОСМ-3-50У согласно расчетной схеме. Нагружение образцов выполнялось по методу Б. С постоянной скоростью прикладывали сжимающую нагрузку до достижения удельной кольцевой деформации в $3.0(\pm 0.5) \%$ за $60(\pm 10)$ с. Полученную кольцевую деформацию поддерживают постоянной в течении 2 минут, по прошествии этого времени определяют и фиксируют сжимающую нагрузку и кольцевую деформацию. После завершения 1-го этапа проводят аналогичную процедуру испытания с доведением нагрузки до достижения удельной кольцевой деформации в $6.0(\pm 0.5) \%$.

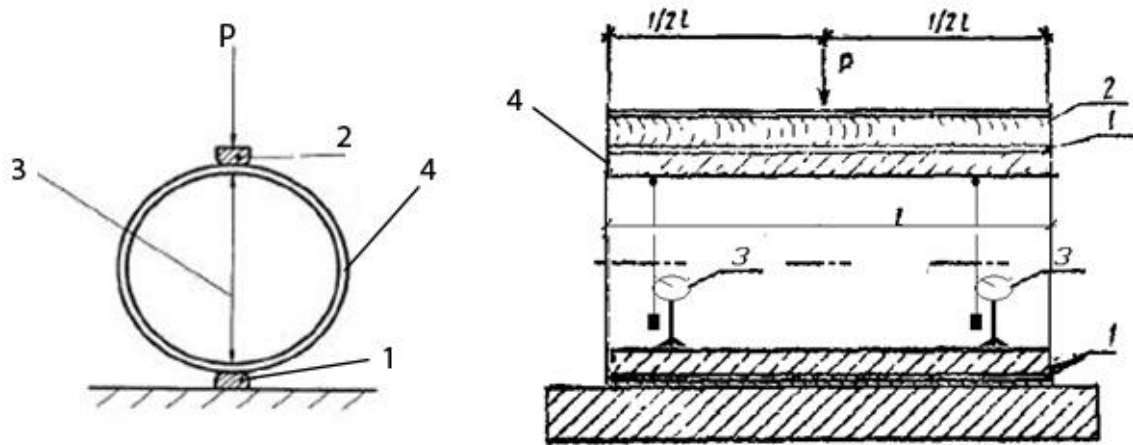


Рисунок 2. Схема испытания звена трубы (сделан автором): 1 – прокладка; 2 – металлическая траверса; 3 – индикаторы деформаций; 4 – звено трубы

При испытании труб DN/ID 800 мм использовались тензометрические датчики (рис. 3а) для измерения напряжений натурным методом для дальнейшего сопоставления с результатами численным моделированием. Датчики устанавливаются на внешней стороне в точках с предполагаемыми максимальными напряжениями.

Соответствие гофрированных номинальной кольцевой жесткости оценивалась сравнением полученных значений S_0 по результатам испытаний с нормативным значением

$$[S_{0,ном}] = 8.0 \frac{кН}{м^2} \text{ по формуле [11]:}$$

$$S_0 = \left(0.0186 + 0.025 \frac{y}{d_i} \right) \frac{F}{L \cdot y} \geq [S_{0,ном}] \quad (1)$$

где: F – нагрузка при вертикальных деформациях трубы 3 %, кН; y – вертикальные деформации трубы, мм; L – длина образца, м; y/d_i – относительные вертикальные деформации равные 0.03.

Все образцы гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм и DN/ID 800 мм номинальной кольцевой жесткости SN8 выдержали испытание на начальную удельную кольцевую жесткость. Средняя начальная удельная кольцевая жесткость для пяти образцов гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм составила 10.28 кН/м². Средняя начальная удельная кольцевая жесткость для пяти образцов гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 800 мм составила 11.42 кН/м². Результаты превосходят нормативные значения кольцевой жесткости на 28.5 % для труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм и на 42.8 % для труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 800 мм. Замечено, что кольцевая жесткость для образцов гофрированных труб с раструбным соединением на 11% больше чем для образцов без раструба. В общем можно сказать деформации труб имеют линейный характер при нагрузке от 0 до 18 кН для труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм и при нагрузке от 0 до 35 кН для труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 800 мм. Разрушение образцов при испытании не произошло, однако было замечено обесцвечивание стенки в местах с максимальными растягивающими напряжениями (рис. 3б).

Численное моделирование

Для решения сложных научно-технических задач хорошо зарекомендовали численные методы расчёта проверенным представителем является метод конечных элементов. Расчет гофрированных полипропиленовых труб в эксплуатационных условиях предполагает построение расчетной модели системы «подстилающий грунт - грунт засыпки – гофрированная труба» в виде совокупности конечных элементов, связанных друг с другом в дискретных узлах.

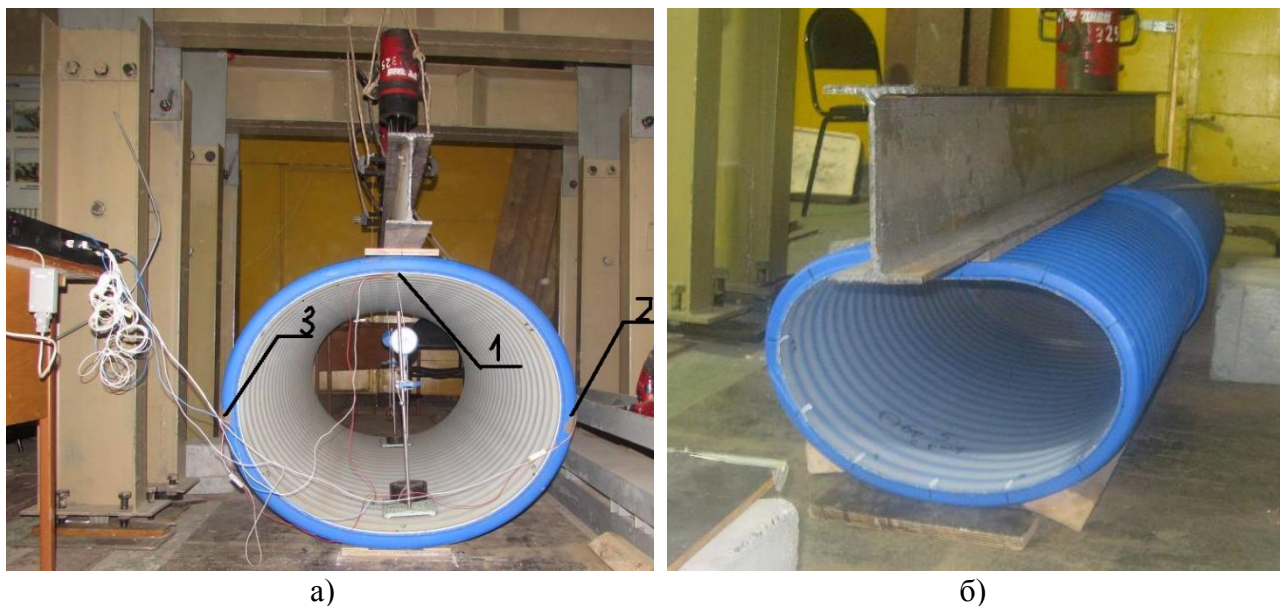


Рисунок 3. Испытания гофрированных труб (сделан автором): а) Крепление индикаторов и датчиков к гофрированной трубе (1 - индикатор часового типа, 2 - гофрированная труба, 3 - тензометрические датчики); б) Деформации гофрированной трубы

Расчет в программном комплексе "ЛИРА 9.6" производится с использованием трехмерных (пространственных) и двухмерных (плоских) идеализаций системы. Для повторения натурных испытаний образцов выбрана пространственная модель, гофрированная труба рассматривается как единая однородная конструкция, моделирование которой выполняется с использованием пластинчатые трехузловые конечные элементы, которые описывают многоосное напряженно деформированное состояние системы. Для решения задач, связанных с работой системы «подстилающий грунт – грунт засыпки – гофрированная труба», выбрана плоская модель, используются стержневые конечные элементы, которые деформируются в плоскости сечения. Поведение материала гофрированной трубы (полипропилена) ограничивается рассмотрением упругой области работы материала, что соответствует основным принципам проектирования, поэтому напряжения в сечении гофрированной трубы не должны превышать предела текучести σ_T материала [9].

Целью численного моделирования является оценка напряженно – деформированного состояния гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 800 мм SN8, DN/ID 400 мм SN8 в эксплуатационных условиях под дорожным полотном без защитного футляра с учетом результатов испытаний образцов.

Результаты моделирования сопоставлены со средними значениями полученные в ходе испытаний и представлены на рисунках 4а и 4б.

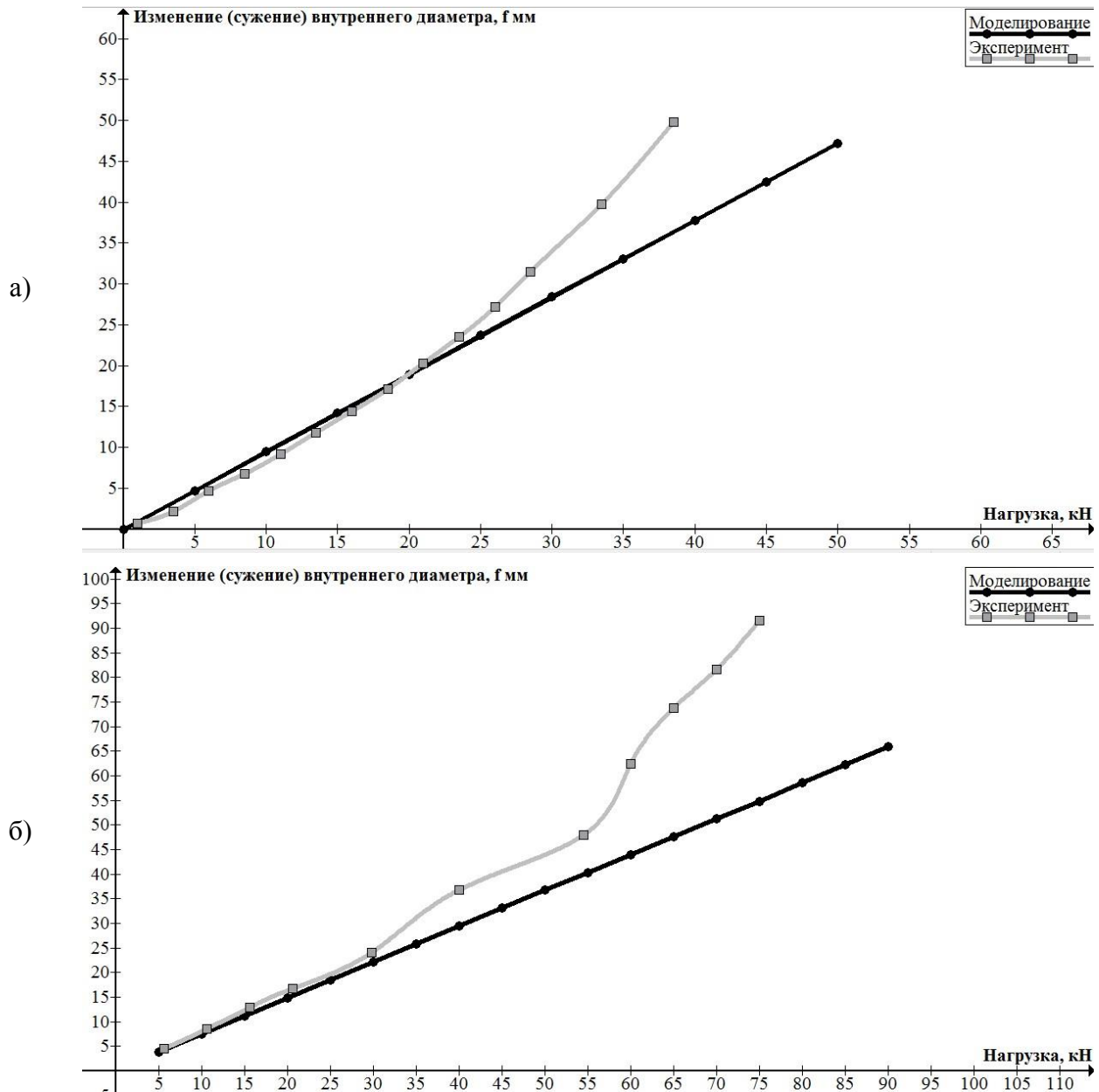


Рисунок 4. График зависимости нагрузки от вертикальных деформаций гофрированной трубы номинальным внутренним диаметром (сделан автором):
а) DN/ID 400 мм SN8, б) DN/ID 400 мм SN8

Сравнение результатов численного моделирования с результатами натурных испытаний образцов демонстрирует хорошую сходимость значений в интервале действующих нагрузок от 0 до 26 кН для гофрированной трубы номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 SN8 и в интервале от 0 до 54.5 кН для гофрированной трубы номинальным внутренним диаметром DN/ID 800 SN8. Относительное отклонение значений вертикальных деформаций трубы при численном моделировании и испытании для указанного интервала нагрузок составляет от 0 до 9.28 % для гофрированной трубы номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 SN8, от 5.4 до 11.9 % для гофрированной трубы номинальным внутренним диаметром DN/ID 800 SN8. В итоге можно утверждать, что представленная расчётная модель адекватно описывает работу в упругой стадии гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм SN8 и DN/ID 800 мм SN8. Применение расчётной модели для дальнейших расчётов ограничивается интервалом относительных вертикальных деформаций трубы, f/D от 0 до 4 % (6 % - условия производителя), что соответствует области нормальной эксплуатации конструкции,

установленной нормативным документом⁵. Возможное отклонение результатов моделирования будет учитываться коэффициентом $K = 0.82$.

Оценка несущей способности и эксплуатационной пригодности гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм SN8, DN/ID 800 мм SN8 заключается в анализе напряжений и деформаций, полученных в результате нагружения и сравнение их с предельными значениями по методу предельных состояний:

- предельное состояние возможной дальнейшей эксплуатации устанавливается путем сравнения критичных напряжений, вызывающих потерю устойчивости в результате бокового выпучивания;
- предельное состояние возможности нормальной эксплуатации устанавливается путем сравнения вертикальных деформации от нагрузок с допустимыми деформациями.

Несущая способность подземных трубопроводов должна проверяться путем сопоставления предельно допустимых расчетных характеристик материала трубопровода с расчетными нагрузками на трубопровод, при этом внешние, нагрузки приводятся к эквивалентным напряжениям согласно теориям прочности и должно выполняться условие:

$$\sigma \leq \sigma_m \cdot \gamma_c / \gamma_m, \quad (2)$$

где возникающие эквивалентные напряжения σ ограничиваются пределом текучести полипропилена на растяжение $\sigma_m = 30$ МПа.

Несущую способность или эксплуатационная пригодность подземного трубопровода по условию предельно допустимой величины овализации поперечного сечения трубы (укорочения вертикального диаметра) следует определять по формуле:

$$\frac{f}{D} \cdot 100\% \leq [\varepsilon] \quad (3)$$

где вертикальные деформаций f гофрированной трубы ограничиваются отношением вертикальных деформаций гофрированной трубы к номинальному диаметру D , а $[\varepsilon]$ – предельно допустимая величина овализации поперечного сечения трубы, %, принимаемая для труб, полипропилена – 4 % согласно СН 550-82 "Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб"⁴.

Теоретические основы расчета гофрированной трубы в теле насыпи заключаются в классическом выражение Шпенглера. Сила, с которой грунт вокруг трубы противодействует давлению трубы зависит от вертикальной нагрузки, жесткости грунта и жесткости самой трубы [6].

$$\frac{f}{D_m} = \frac{C_1 \cdot q_e}{C_2 \cdot SN + C_3 \cdot E'_s},$$

где: f/D_m – относительные вертикальные деформации трубы; C_1, C_2, C_3 – коэффициенты условия работы или влияния на деформации соответствующих характеристик; q_e – вертикальная нагрузка; SN – кольцевая жесткость трубы; E'_s – секущий модуль деформации грунта.

⁵ СН 550-82 Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб.

Большинство строительных норм и стандартов различных стран используют выражение (4) в различной форме. Российскими строительными нормами СП-40-102-2000 предлагается следующая разновидность уравнения:

$$\frac{f}{D_m} = \frac{0.1375 \cdot q_{\text{в}}}{0.15 \cdot SN + 0.06 \cdot E'_s}, \quad (5)$$

Для расчёта гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм SN8, DN/ID 800 мм SN8 принимаем следующие значения параметров: относительные вертикальные деформации трубы f/D_m согласно нормативного источника СН 550-82 для полипропиленовых труб принимается равное 4 %. Кольцевая жёсткость SN гофрированных труб принимается согласно паспорту партии 0.008 мПа, которая подтверждается проведенными испытаниями. Секущий модуль деформации грунта E'_s зависит от типа грунта и степени его уплотнения. Основное условие прокладки труб под дорогами равномерная засыпка из песков с послойным уплотнением с минимальным коэффициентом уплотнения 0.95, поэтому $E'_s = 3.5$ мПа [1, 7].

Вертикальная нагрузка $q_{\text{в}}$ складывается из двух составляющих: q_m – нагрузка от транспортных средств и q_n – нагрузка от вышележащего грунта [10]. Нагрузка от транспортных средств принимается согласно ГОСТ 52748-2007. Наиболее неблагоприятное напряженно-деформированное состояние гофрированная труба испытывает при действии негабаритной нагрузки НК100 для расчёта мостовых сооружений и труб на дорогах всех категорий. Влияние транспортных средств определяется согласно теории распределения давления Буссинеска [6].

Подставив значения в выражение (5), выразим предельную вертикальную нагрузку: $q_{\text{в}} = 0.06144 \text{ кН/м}^2$ – при относительной вертикальной деформации трубы 4%. Запишем данное уравнения в виде неравенства:

$$q_{\text{в}} \leq 0.06144 \text{ кН/м}^2. \quad (6)$$

Из данного неравенства через величину $q_{\text{в}}$ находится величина засыпки грунта, при котором будет выполняться условие (6). В таблице 2 представлены коэффициенты запаса для различной величины засыпки грунта.

Таблица 2

Коэффициенты запаса жесткости для различной величины засыпки грунта (составлена автором)

Высота засыпки H, м	Суммарная нагрузка, кН/м	Коэффициент запаса $K_{\text{зап}}$	
		$\frac{f}{D_m} = 4\%$ (требования нормативного документа)	$\frac{f}{D_m} = 6\%$ (требования производителя)
1.0	79.99	1.152	0.768
1.5	56.13	1.642	1.095
2.0	54.01	1.706	1.137
2.5	59.16	1.558	1.039
3.0	64.85	1.421	0.947
3.5	72.68	1.268	0.845
4.0	81.12	1.136	0.757
4.5	89.93	1.025	0.683
5.0	98.97	0.931	0.620

Согласно проведенным расчётам величину засыпки грунта, с учетом высоты дорожной одежды, над гофрированными трубами номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм SN8, DN/ID 800 мм SN8 следует устанавливать в интервале от 1 до 4.5 метров, при этом относительные деформации не превысят 6 % установленные производителем, предложенные производителем труб. Рекомендуемый предел относительных вертикальных деформаций трубы равные 4 % соблюдаются при высоте насыпи от 1.5 до 2.6 метра. Недостатком данной методики является отсутствие в расчёте параметров, связанных с геометрией гофрированных труб. Поэтому для верификации данной теории применительно к гофрированными трубами номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм SN8 и DN/ID 800 мм SN8 используются численные методы расчёта в составе насыпи дороги.

Решение сложных и ответственных задач, связанных с совместной работы грунта и гофрированной трубы требует применение численного моделирование, на основе достоверной и адекватной расчётной модели [1, 6]. Создание такой модели требует введение некоторых расчётных предпосылок [5, 6]. Устанавливаются геометрические размеры области грунта, которая рассматривается как связанная однородная сплошная среда. Взаимодействие грунта, окружающего полипропиленовую трубу, моделируется контактными элементами, учитывающими контактное трение, или введением узкого слоя между ними с низким значением модуля сдвига. Расчет выполняется в нелинейной постановке. Характеристики грунтов принимаются согласно нормативных источников, с учетом возможных наиболее неблагоприятных условий эксплуатации. Гофрированные трубы при построении расчетной конечно-элементной модели рассматриваются как единые однородные конструкции, моделирование которых выполняется с использованием плоских стержневых конечных элементов. Поскольку основной задачей расчетов с использованием МКЭ является анализ совместной работы грунта засыпки и гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм SN8, DN/ID 800 мм SN8, то наибольший интерес представляет область грунта, расположенная в непосредственной близости от конструкции. Размер конечных элементов определяется из условия корректного определения расчетных параметров состояния в области взаимодействия конструкции с грунтом. Размер конечных элементов принимается не более $0.02 \cdot L$, где L – длина образующей сечения трубы.

Оценка прочности гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм SN8, DN/ID 800 мм SN8 производилась с использованием формулы [2]:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y \cdot z_0}{I_y} \leq R(\sigma_m) \cdot \gamma_c \quad (7)$$

где: N и M_y – максимальное сочетание продольного усилия и изгибающего момента, полученные путем анализа результатов расчётной модели (рис. 5), A – площадь сечения, I_y – момент инерции сечения, z_0 – расстояние до расчетной точки относительно центра тяжести, $R(\sigma_m)$ – расчётное сопротивление по пределу текучести (табл. 1).

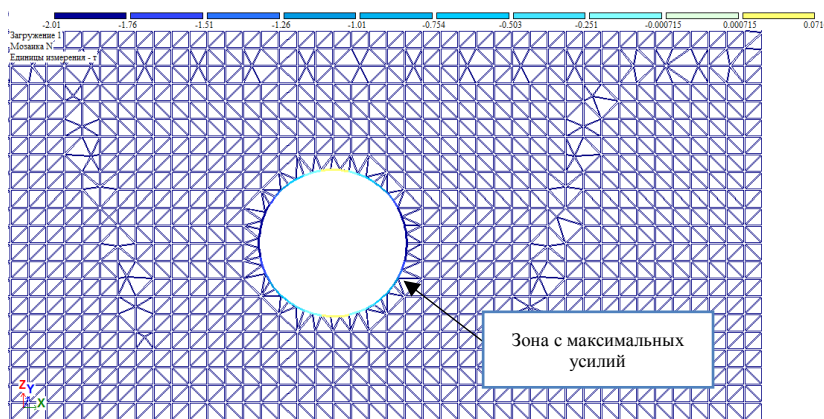


Рисунок 5. Изополя продольных усилий в гофрированной трубе номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм SN8 (сделан автором)

Эксплуатационной пригодности гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 SN8, DN/ID 800 SN8 к нормальной эксплуатации проверялась путем сравнения относительных вертикальных деформаций с предельным значением относительных вертикальных деформаций равным 4 %.

Основной задачей численного моделирования является проверка результатов, полученных по расчетам с использованием нормативной методики СП 40-102-2000. Численное моделирование работы системы «подстилающий грунт - грунт засыпки – гофрированная труба» подтвердило несущую способность (по прочности) и эксплуатационную пригодность гофрированных номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм и DN/ID 800 мм SN8 при величине засыпки от 1 до 4.5 метра для автомобильных дорог с капитальным и переходным типом покрытия дорожной одежды. Минимальный коэффициент запаса несущей способности составил 1.12.

Выводы

1. Эксперимент и численный расчет гофрированных труб номинальным внутренним диаметром DN/ID 400 мм и DN/ID 800 мм номинальной кольцевой жесткостью SN8 доказали, что конструкции удовлетворяют условиям прочности и эксплуатационной пригодности при прокладке под автомобильными дорогами всех категорий без защитного футляра при условии, что величина засыпки от уровня проезжей части до уровня шельги трубы будет находиться в диапазоне от 1.0 до 4.5 метра.
2. Для повышения надёжности конструкций труб связанной с герметичностью соединений секции гофрированных труб, величину засыпки от уровня проезжей части до уровня шельги трубы, рекомендуется принимать в диапазоне от 1.5 до 2.6 метра, в этом случае выполняются условия предельных относительных вертикальных деформаций равным 4 %.
3. Поведение гофрированной трубы под нагрузкой довольно сильно зависит от степени уплотнения грунта и вида грунта в засыпке, следует особо уделять внимание соблюдению технологии возведения конструкций труб, однородности песка в засыпке, а коэффициент уплотнения не должен быть меньше 0.95. Это позволит уменьшить не симметричный характер деформирования гофрированной трубы [3].

4. Отсутствует полноценная технология соединения гофрированных полимерных труб при помощи раструбов, которая бы позволила герметично и точно совмещать торцы секции труб.
5. Остается открытым вопрос возможности применения полимерных труб в качестве водопропускных сооружений, так как негативное воздействия ультрафиолета и огня требует применение конструктивных мер защиты входного и выходного оголовка труб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водопропускные трубы под насыпями / Под ред. Янковского О. А. - М.: Транспорт, 1982. - 232 с.
2. Астрахан А. Х., Брик. А. Л. Расчет на прочность водопропускных труб с учетом бокового отпора грунта засыпки // Вопросы надежности искусств, сооружений в условиях сурового климата, Сб. тр. / ХабИИЖТ; Вып. 44, Хабаровск, 1982. - С. 56-63.
3. Беляев В. С., Яковлев Л. С., Овчинников И. Г., Осокин И. А. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 2. Обзор отечественных экспериментальных исследований. Сопоставление результатов эксперимента с результатами расчетов по разным методикам. Интернет журнал «Науковедение» выпуск 6 ноябрь-декабрь 2013, <http://naukovedenie.ru/PDF/190TVN613.pdf>.
4. Годдард Д. Полимерные трубы в дорожном строительстве: 50 лет эволюции. М.: Журнал Полимерные трубы, №1(43). 2014 - С. 58-61.
5. Новодзинский А. Л., Клевенко В. И. Учет влияния толщины гофрированного элемента на прочность и устойчивость металлической гофрированной трубы. Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. №1 2012. - С. 234-239.
6. Овчинников И. Г., Осокин И. А. О возможности применения теории полубезмоментных оболочек В. З. Власова к расчёту металлических гофрированных конструкций. Интернет журнал «Науковедение» выпуск 4 (23) июль-август 2014 г. <http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN414.pdf>.
7. Кондратюк А. И., Храковский Э. Г., Нечаев Б. И., Щербина К.Б. Опытное строительство гофрированных водопропускных труб // Трансп. стр-во. - № 2, 1978. - С. 5-7.
8. Янин О. А., Бутринов Е. В. Профилированные трубы для водоотведения и канализации проблемы эффективного применения и особенности расчета на прочность. М.: Журнал Полимерные трубы, №2(24). 2009 - С. 34-38.
9. Dhar, A. S., and Moore, I. D. Evaluation of local bending in profile-wall polyethylene pipes. *Journal of Transportation Engineering*, 132(11) 2006. p. 898-906.
10. Suleiman, M. T., Lohnes, R. A., Wipf, T. J., and Klaiber, F. W. Analysis of deeply buried flexible pipe. *Transportation Research Record*, 1849, 2003. p. 124-134.
11. Rajkumar, R., and Pamparuthi, K. "Experimental study on the behavior of buried flexible plastic pipe". *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13(C) 2008. p. 1-10.

Zinnurov Tagir Almirovich

Kazan state university of architecture and engineering, Russia, Kazan
E-mail: leongar@mail.ru

Piskunov Aleksander Alekseevic

Kazan state university of architecture and engineering, Russia, Kazan
E-mail: piskunov52@mail.ru

Petropavlovskih Olga Konstantinovna

Kazan state university of architecture and engineering, Russia, Kazan
E-mail: olga_konst@mail.ru

Ananiev Andrey Alekseevic

Kazan state university of architecture and engineering, Russia, Kazan
E-mail:.mvp-star_andrew@mail.ru

Shaymardanov Ilfat Azatovic

Kazan state university of architecture and engineering, Russia, Kazan
E-mail: Shaymardanov_ilfat@mail.ru

The ability to use corrugated polypropylene pipes in road embankment

Abstract. In the late 90s of the twentieth century began the mass distribution of plastics in all sectors. In the construction of plastic products amounted to good competition designs of metal and concrete. Today, plastic mean chemical resistance ahead of its competitors in areas such as water and sanitation. However, sometimes it is in the design of pipe systems engineers have to work blindly, due to lack of full legal and documentary base.

In the article, the aim is to study the operation of two-layer corrugated polymeric pipes under load and to verify the possibility of their use in embankments of roads. In this work, the authors conducted a series of experimental and numerical studies designed to study the bearing capacity of corrugated pipes made of propylene. The experiments proved that the ring stiffness determines the operation of the tubes under load. The numerical model is constructed based on the received dependences, which was solved the problem of evaluating the bearing capacity of corrugated polypropylene pipes in the embankment of the road. The result of the work received recommendations on the installation of polypropylene pipes in the embankment of the road.

Keywords: culvert; polypropylene; road load; ring stiffness; numerical simulation; experiment; embankment

REFERENCES

1. Culverts under embankment / Red of. O. A. Iankovski. - M.: Transport, 1982. - 232 p.
2. Actrahan A. Kh., Brik. A. L. Calculation of the strength of culverts taking into account the lateral resistance of soil backfill // Questions of Art reliability structures in harsh environments / Pro. KhabIIGT; Vol. 44, Khabarovsk, 1982. - p. 56-63.
3. Beliaev V. S., Iakovlev L. S., Ovchinnikov I. G., Osokin I. A. Analysis of the experimental research of the behavior of metal corrugated structures under static and dynamic loads with account of their collaboration with the surrounding soil. Part 2. Domestic experimental studies. Comparison of experimental results with the results of different methods. Internet magazine "Naukovedenie" Issue 6 November-December 2013, <http://naukovedenie.ru/PDF/190TVN613.pdf>.
4. Goddard D. Plastic pipes in road construction: 50 years of evolution. M.: Journal of Polymer pipes, №1 (43). 2014 - p. 58-61.
5. Novodzinsky A. L., Klevenko V. I. Accounting for the effects on the thickness of corrugated element strength and rigidity of the corrugated metal pipe. Bulletin PNIPU. Construction and architecture. №1 2012. - p. 234-239.
6. Ovchinnikov I. G., Osokin I. A. On the possibility of the application of the theory of shells polubezmomentnyh V.Z. Vlasov to the calculation of corrugated metal structures. Internet magazine "Naukovedenie" Number 4 (23) July-August 2014 <http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN414.pdf>.
7. Kondratyuk A. I., Hrakovoky E. G., Nechayev B. I., Shcherbina K. B. Pilot construction of corrugated culverts // Transp. build. № 2, 1978. - p. 5-7.
8. Yanin O. A., Butrin E. V. Corrugated pipes for sewage disposal and the problem of effective use and features strength calculation. M.: Journal of Polymer pipes, №2 (24). 2009. - p. 34-38.
9. Dhar, A. S., and Moore, I. D. Evaluation of local bending in profile-wall polyethylene pipes. Journal of Transportation Engineering, 132(11) 2006. - p. 898-906.
10. Suleiman, M. T., Lohnes, R. A., Wipf, T. J., and Klaiber, F. W. Analysis of deeply buried flexible pipe. Transportation Research Record, 1849, 2003. - p. 124-134.
11. Rajkumar, R., and Ilamparuthi, K. "Experimental study on the behavior of buried flexible plastic pipe." Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 13(C) 2008. - p. 1-10.