

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

Алексеев А.Г., к.т.н., НИИОСП им. Н.М. Герсеванова - АО «НИЦ «Строительство»,
доцент МГСУ, г. Москва, e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

Балашов Д.В., инж., ООО «Гебау», г. Электросталь, МО, e-mail: balashov@gebau.ru

Моденов С.В., к.т.н., ООО «Гебау», г. Электросталь, МО, e-
mail: moser2707@gmail.com

Михалдыкин Е.С., инж. АО «НИИГрафит», ГК Росатом, г.Москва

Шишкин В.Я., к.т.н. АО «НИИГрафит», ГК Росатом, г.Москва, e-mail:
7922044@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается актуальная для прокладываемых на многолетнемерзлых грунтах нефте-газопроводов конструкция теплоизолированных опор (подушек) из модифицированного полиуретана, используемых в качестве фундаментов трубопровода. Представлен сравнительный анализ используемых на сегодняшний день опор трубопроводов при подземной прокладке, таких как грунтовая (песчаная) подсыпка, железобетонные блоки, амортизирующая подкладка из ПКМ. Приведены результаты лабораторных исследований подушек из модифицированного полиуретана на устойчивость при механических воздействиях, в том числе циклических. Даны зависимости нагрузки от относительной деформации образца ППУ, результаты испытания пенополиуретана на стабилизацию механических характеристик, а также результаты исследования гистерезиса сжатия-отпуска образцов. Представлена оценка физико-механических свойств ППУ композиции при условии низких температур заливочной формы и попадании влаги в форму (в момент проведения заливки).

Ключевые слова. Фундаменты, опоры, трубопроводы, полимерный материал, подушка из модифицированного полиуретана.

Освоение месторождений нефти и газа в районах распространения многолетнемерзлых грунтов связано с трудностями вызываемыми транспортировкой продукта на значительные расстояния. Проблема транспортировки решается устройством трубопроводом, по которым продукт доставляется до потребителя. Прокладка осуществляется надземным, наземным и подземным способом [1-5, 7]. В скалистых грунтах трубопровод прокладывают над землей на специально разработанных опорах. Требуется инвентарные опоры на период организации строительства для размещения плетей трубопровода на берме.

Наиболее распространенным является подземный способ прокладки трубопроводов. При подземной прокладке, особенно в районах распространения многолетнемерзлых грунтов важным обстоятельством является выбор основания для укладки труб. Основание или фундамент трубопровода должно обеспечивать проектное положение труб по горизонтали и вертикали при укладке в траншею и после обратной засыпки. На многолетнемерзлых грунтах фундамент должен снижать (исключать)

тепловое влияние от нефти на мерзлые грунты основания, а также обеспечивать устойчивость от сил морозного пучения.

В настоящее время применяются грунтовые подсыпки (рис.1), имеющие значительные недостатки, так как применяются в основном песчаные подсыпки (для исключения морозного пучения), доставка песка на протяженные участки трубопровода требует значительных затрат и вызывает сложности с транспортировкой в труднодоступные места. Кроме того подсыпки не устойчивы и со временем теряют свою форму. Для обеспечения сохранности формы песчаных подсыпок используют мешки, в которые насыпают песок. Однако вопрос цены остается, из-за значительных объемов и веса мешков с песком. В качестве основания применяют железобетонные фундаментные блоки (рис.2). Фундаменты обеспечивают устойчивость трубопровода в пространстве и имеют значительную долговечность. Недостатком таких фундаментов является высокая стоимость самих блоков и стоимость их доставки из-за значительного веса и необходимости использования крановых механизмов, для погрузки-разгрузки и установки.



Рис.1. Грунтовые подсыпка



Рис.2. Железобетонные блоки

Альтернативным вариантом, используемым в качестве основания трубопроводов в Канаде и США применяют амортизирующие подкладки из ПКМ (рис.3-4). Преимуществом данных подкладок является небольшой вес, удобство транспортировки, прокладки могут укладываться одна в другую, кроме того сглаживают неравномерные

деформации грунтов основания при пучении и оттаивании. Значительным недостатком является высокая стоимость изготовления и невозможность применения данных прокладок в России.



Рис.3. Вид амортизирующей подкладки из ПКМ

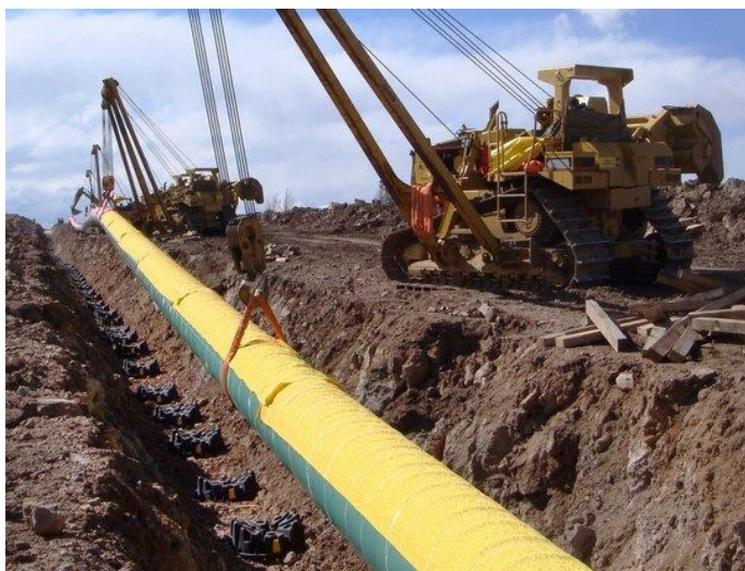


Рис.4. Укладка прокладок в траншею под трубопровод

В результате проведения научно-исследовательских работ предложено использовать в качестве фундаментов трубопроводов опоры (подушки) из полимерных материалов (рис.5.1 и 5.2). Подушка выполняется из пенополиуретана (ППУ), обладающего невысокой массой, устойчивым к химическим воздействиям, имеющим стабильные механические и высокие теплозащитные свойства. ППУ способна деформироваться, подстраиваясь под рельеф основания и обеспечить стабильное положение трубы. ППУ способна воспринимать вертикальные деформации грунтов от пучения, что может быть использовано в условиях многолетнемерзлых грунтов. В таблице 1 приводится сравнительный анализ используемых в настоящее время опор трубопроводов и предложенной авторами конструкции.

Рис.5.1. Подушка из модифицированного полиуретана



Рис.5.2. Подушка из модифицированного полиуретана (иллюстрация крепления к трубе)



Таблица 1. Сравнение опор трубопроводов

Параметр	Грунтовые подсыпки (Рис.1)	Железобетонные фундаменты (Рис.2)	Подушка из ПКМ (производство Канада) (Рис.3-4)	Подушка из модифицированного полиуретана (Рис.5.1 и 5.2)
Доставка на объект	Трудоемкая. Большие затраты на доставку песка (для исключения морозного пучения) в труднодоступные регионы.	Трудоемкая. Большие затраты на транспортировку тяжелых фундаментов в труднодоступные регионы. Требуется погрузо-разгрузочная техника	Удобная. Подушки вставляются одна в одну, что уменьшает занимаемый в транспорте объем.	Удобная. Подушки имеют небольшой вес (13 кг для диаметра 1430мм.) Возможна организация производства подушек на объекте прокладки трубопровода.

Удобство работы и скорость прокладки трубопровода	Большой объем работ по выгрузке и перемещению песка, а также большое количество ручного труда (непосредственно в траншее). Скорость прокладки трубопровода невысокая	Требуется специальная техника для укладки опоры в траншею и большое количество ручного труда. Скорость прокладки трубопровода невысокая	Удобна в работе благодаря небольшому весу. Скорость прокладки трубопровода невысокая	Удобна в работе благодаря небольшому весу и возможности крепить подушку с помощью ремней непосредственно к трубе (рядом с траншеей). Подушка поглощает неровности траншеи размером до 100мм. (камни, корни деревьев, неровности грунта). Работы в траншее не требуются. Скорость прокладки трубопровода самая высокая (рис.6).
Стабильность формы и механических характеристик с течением времени. Поведение при морозном пучении	Подсыпка со временем меняет форму и несущая способность ухудшается. Требуется использование мешков для улучшения сохранности формы, что приводит к дополнительным работам на объекте. При морозном пучении возможно изменение положения трубы.	Физико-механические параметры фундамента постоянны, но при морозном пучении возможно изменение положения трубы и повреждение оболочки трубы.	Физико-механические параметры фундамента постоянны. При морозном пучении возможно небольшое изменение положения трубы.	Физико-механические параметры фундамента постоянны. При морозном пучении подушка проявляет свои вязко-упругие свойства, положение трубы сохраняется.
Теплоизоляционные свойства	Большая отдача тепла к основанию (фундаменту). Коэффициент теплопроводности до 0,8 Вт/м*°C (когда песок влажный).	Большая отдача тепла к основанию (фундаменту). Коэффициент теплопроводности 2,04 Вт/м*°C .	Теплоизоляционные свойства значительно выше, чем у песка и бетона. Коэффициент теплопроводности 0,175 Вт/м*°C.	Высокие теплоизоляционные свойства. Коэффициент теплопроводности 0,03 Вт/м*°C.
ИТОГИ	Низкая стоимость исходных материалов Высокая стоимость доставки на объект Большое количество ручного труда Общая скорость работ низкая	Высокая стоимость железобетонного фундамента Высокая стоимость доставки на объект Привлечение погрузо-разгрузочной техники	Высокая стоимость подушки Удобная доставка Не требуется большого количества ручного труда Общая скорость работ Высокая	Стоимость невысокая Удобная доставка Не требуется большого количества ручного труда Общая скорость работ самая

	Нестабильная работа фундамента в течении времени (особенно при морозном пучении) Большие теплопотери	Общая скорость работ низкая При морозном пучении положение трубы меняется Большие теплопотери	При морозном пучении положение трубы меняется, но незначительно Теплопотери небольшие	высокая. При морозном пучении положение трубы сохраняется по причине вязко-упругих свойств материала Теплопотери минимальные (за счет пористой структуры)
--	--	--	--	---

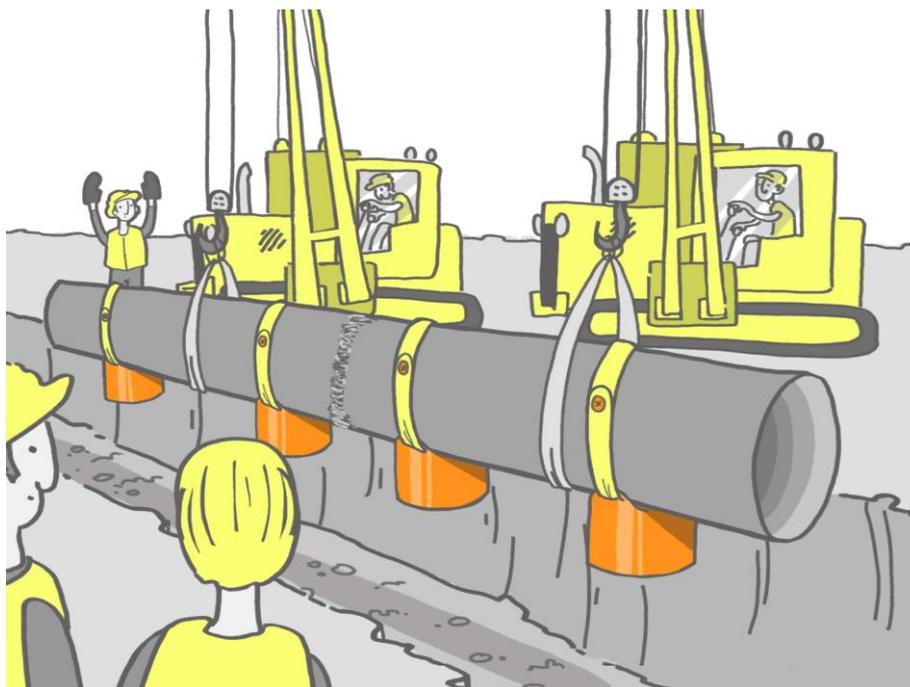


Рис.6. Укладка трубы на подушки из модифицированного полиуретана

Подробнее о полимерной подушке из модифицированного полиуретана.

Состав и свойства материала подбираются в соответствии с технической задачей, также как и конечная форма изделия. Возможные варианты несущей способности до 200 н/см².

1. Материал обладает высокой химической стойкостью, стойкостью к влаге, имеет стабильные физико-механические характеристики, высокие теплоизолирующие свойства.
2. Опора (основание) под трубу имеет вязко-упругие свойства, поэтому способна воспринимать вертикальные нагрузки от пучения грунта и обеспечить стабильное положения трубы (что может быть использовано в многолетнемерзлых грунтах).

Фундамент должен обладать достаточной прочностью для восприятия нагрузок от трубопровода, невысокие остаточные деформации, низкую теплопроводность, высокую долговечность. Для проверки соответствия ППУ указанным требованиям проведены комплексные исследования, которые включали: циклические нагружения вертикальной нагрузкой, оценка физико-механических свойств ППУ при низких температурах заливочной формы и попадании влаги в форму (в момент проведения заливки).

Испытания на сжатие проводились в соответствии с ГОСТ 4651-2014 [6]. Образцы пенополиуретана испытывались размерами 10,0x10,0x10,0 мм (рис.7), скорость испытания - 2 мм/мин, испытаний 20° С. Испытательная машина Zwick BT1-FR2.5 TH.140. Максимальная сжимающая нагрузка на ППУ составила $P_{\text{макс}}=452,5$ кН. Проведенные исследования показали, что запас прочности ППУ составляет до 300% (рис.8) (на системе компонентов с максимальными прочностными показателями). При циклическом нагружении – разгрузке выявлена стабилизация свойств через 2-3 цикла (рис.9).

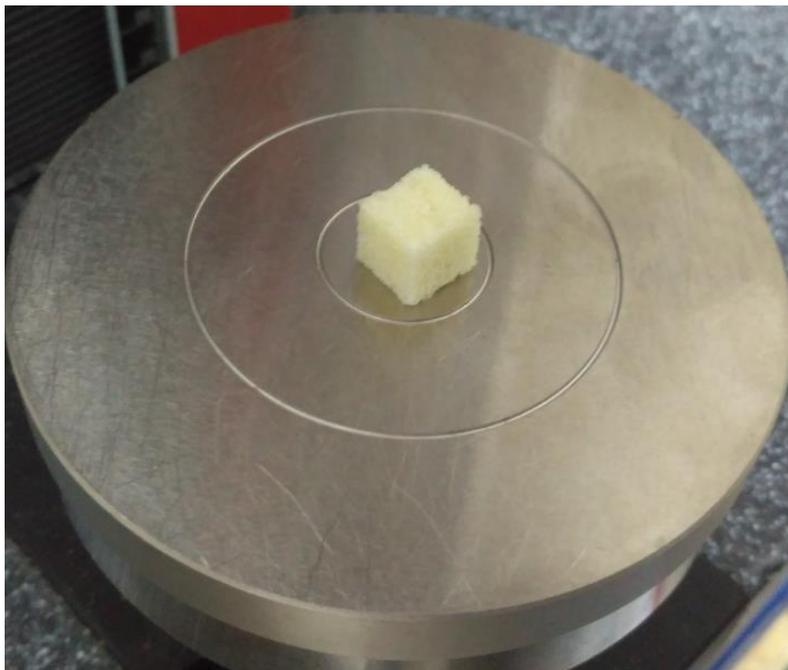


Рис.7. Образец ППУ при испытании на сжатие

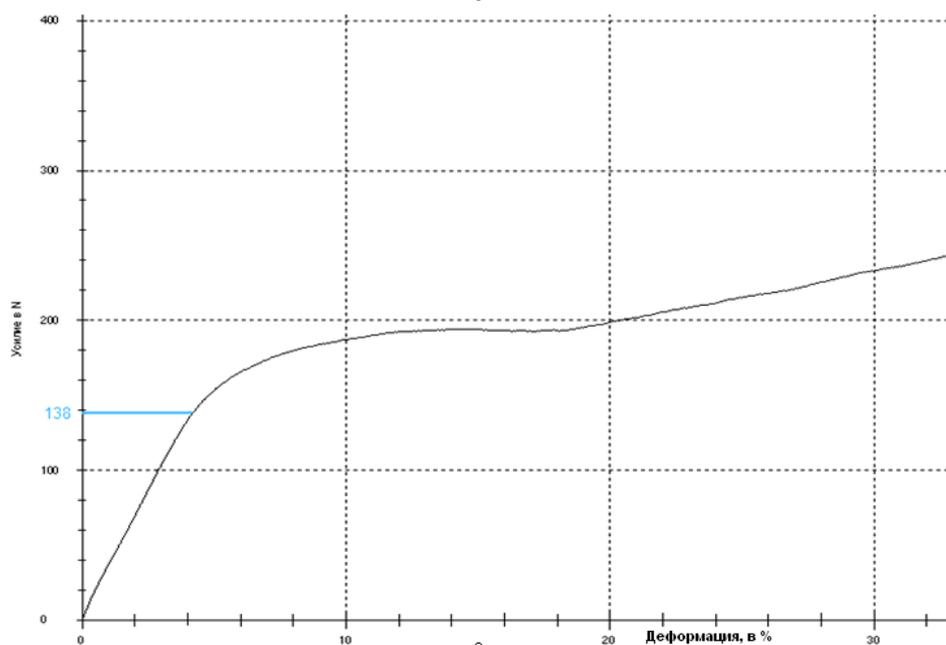


Рис.8. Зависимость нагрузки от относительной деформации образца ППУ

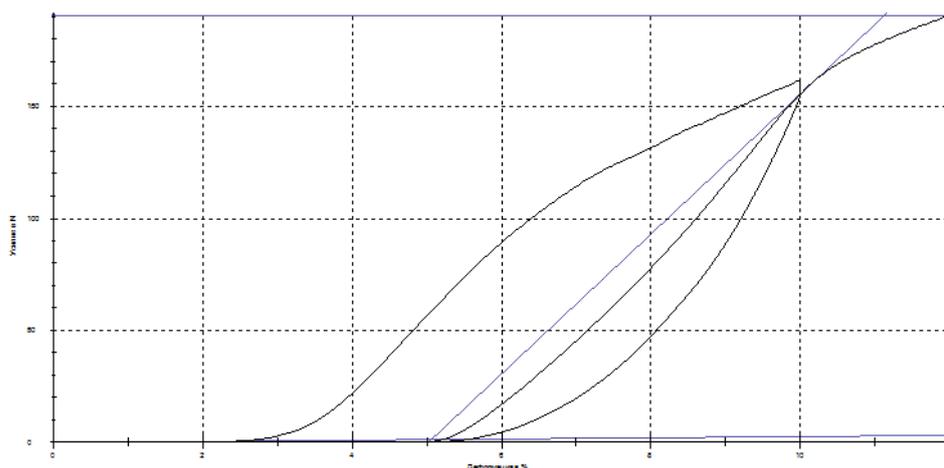


Рисунок 9. Испытания пенополиуретана на стабилизацию механических характеристик (Гистерезис вязкоупругих свойств)

Также проводились исследования гистерезиса сжатия-отпуска образцов (рис.10), гистерезис сжатия образцов (50 циклов) ограничивался нагрузкой 70 н/см^2 (система ППУ с максимальными прочностными характеристиками).

Как видно из приведенных гистерезисов сжатия- отпуска образцов, материал испытывает упругую деформацию (в зоне деформаций до 4 %). Нагрузка на циклах сжатие – отпуск приходит в исходную точку (если смотреть отдельно каждый гистерезис то разница исходной точки испытания на сжатие и конечная точка после «отпуска» материала, составляет в среднем 0.2-0.3 %). То есть при высоте компенсирующей подушки 50 см остаточные деформации составляют 1-1,5 мм в год.

Если рассматривать нагрузку в 700 кПа как основополагающую для проведения расчетов, то упругая деформация составляет 2.2 % или 11 мм для подушки высотой 50 см. Исходя из этого можно посчитать необходимый размер демпферной детали, чтобы она работала в требуемом диапазоне деформации пучения-оттаивания грунта.

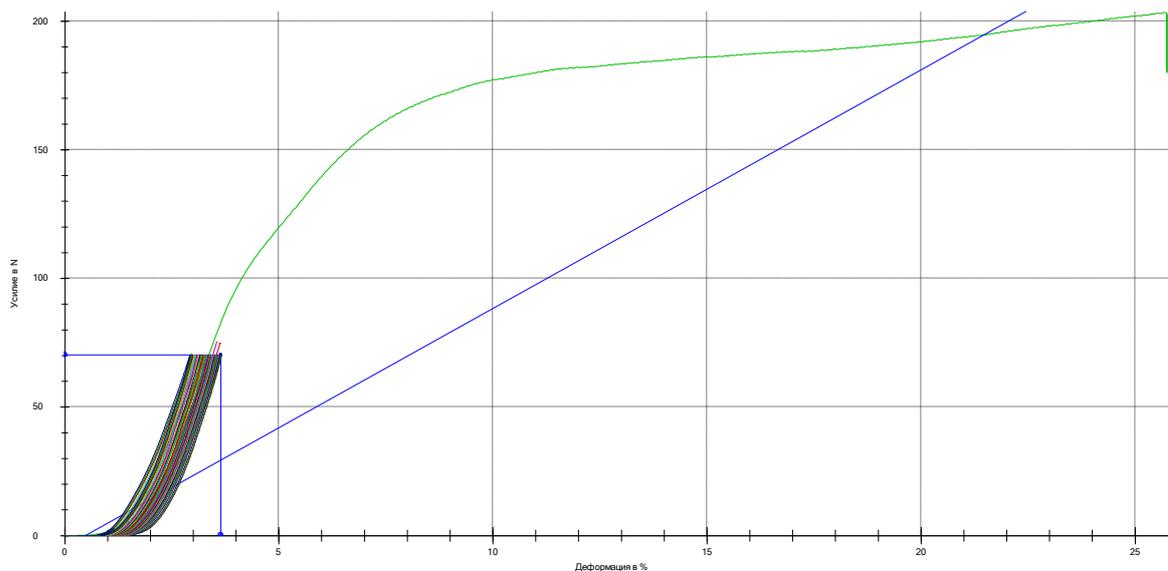


Рисунок 10. Совмещенная диаграмма

Для определения возможности изготовления опор трубопроводов в полевых условиях на месте строительства при низких температурах провели следующий эксперимент.

В рамках научного исследования выполнена оценка физико-механических свойств ППУ композиции при условии низких температур заливочной формы и попадании влаги в форму (в момент проведения заливки).

Условия проведения эксперимента. Соотношение компонентов системы 1:1.1 (полиол: изоцианат). Температура воды 8 °С. Форма для заливки изготовлена из плетеных ПП лент.

Порядок выполнения работ. Компоненты А (полиол) и В (изоцианат) в соотношении 1:1.1 были завешены на лабораторных весах из расчета общей массы 2,5 кг в двух емкостях. Затем компоненты А и В заливались в лопастной смеситель. Перемешивание проводилось 10 с. Перемешанные компоненты были залиты в форму из плетеных ПП лент. Форма была герметично закрыта и сразу погружена в емкость с холодной водой (температура 8 °С). Форма выдерживалась 24 ч. при низкой температуре с попаданием влаги на внешние слои изделия (внутри формы).

Полученные результаты: 1.ППУ прореагировал без отклонений, плотность в среднем 100 кг/м³ (±10). Исключение составляет внешний слой ППУ полученного изделия толщиной от 5 до 25 мм, где плотность получилась ниже. Данный слой отчетливо виден по периметру всего изделия (Рис. 11).



Рис. 11. Вид ППУ после изготовления

2.Оценили физико-механические параметры на сжатие (сутки после заливки). Полученный результат – несущая способность соответствует заданным прочностным свойствам (от 5 до 6 кг/см²). Разницы по физико-механическим параметрам в центре изделия и в зоне на границе с внешней коркой, не обнаружено.

Выводы

Предлагается использовать опоры из разработанного состава пенополиуретана (ППУ) в скалистых грунтах, когда трубопровод прокладывают над землей и в период организации строительства для размещения и сварки плетей трубопровода на берме. Стоимость таких опор под газопровод диаметром 1420 мм составляет менее 8 000 руб.

При весе менее 13 кг опора выдерживает нагрузку более 24 тонны и удовлетворяет требованиям прочности и надежности трубопроводов диаметром 1420 мм.

Применение опор ППУ для нефтегазопроводов позволит снизить транспортные затраты на доставку из-за их малого веса и возможности изготовления опор непосредственно в полевых условиях тайги и тундры. Имея низкую теплопроводность, ППУ существенным образом снижают тепловое влияние от трубопроводов на мерзлые грунты основания и открывают новые возможности для использования на пучинистых грунтах.

При проектных нагрузках и циклическом нагружении – разгрузке выявлена стабилизация свойств через 2-3 цикла. Из построенных гистерезисов сжатия - разгрузки образцов из разработанного материала ППУ следует, что при высоте опоры 20 см

остаточные деформации составляют 0,4-0,6 мм в год. При сроке эксплуатации 50 лет возможные деформации трубопровода от первоначального состояния составят менее 3 см при этом напряжения в магистральном трубопроводе будут значительно меньше предельно допустимых значений в соответствии с требованиями СП 36.13330.2012 "СНиП 2.05.06-85* "Магистральные трубопроводы"[7].

Используемая литература

1. СП 25.13330-2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». – Введ. 2013-01-01. - М.: Минрегион России, 2011. – 117 с.
2. Иоффе Б.В., Грабовец В.А., Григорян Л.Г., Быков Д.Е. Инновационные технологии ремонта и строительства трубопроводного транспорта в нефтегазовой промышленности. / Электронный научный журнал нефтегазовое дело /Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа. 2012. №4. С: 301-314.
3. Трубобетонные сваи из полимерных композиционных материалов сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Шишкин В.Я., Конусевич В.И., Михалдыкин Е.С., Алексеев А.Г., Зорин Д.В. Современные технологии проектирования и строительства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах. / Сборник докладов международной научно-технической конференции. Международная Ассоциация Фундаментостроителей. 2016. С: 24-26.
4. Руководство по эффективным способам устройства свайных фундаментов на вечномерзлых грунтах в нефтегазовом строительстве / М.: НИИОСП, 1980.-42 с.
5. Гребнев В.Д., Мартюшев Д.А. Хижняк Г.П. Строительство нефтегазопромысловых объектов / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. Пермь, 2012. - 115 с.
6. ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002) Пластмассы. Метод испытания на сжатие. Введ. 2015-03-01. - М.: Стандартинформ, 2014.-15 с.
7. СП 36.13330.2012 "СНиП 2.05.06-85* "Магистральные трубопроводы"