

Экспериментальное изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопровода при больших деформациях

Антонов А.А., Иванов Д.С., Аммосов Г.С., Корнилова В.В.

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск

Актуальность: Магистральные трубопроводы в Республике Саха (Якутия) работают в условиях многолетнемерзлых грунтов. Низкие температуры, высокая влажность и сезонные колебания, такие как промерзание и подтопление, приводят к неравномерным деформациям трубопроводов, вызывая смещения и изгибы, создавая растягивающие и изгибные напряжения.

Существующие модели анализа распределения напряжений часто фокусируются на одиночных арках, в то время как реальные деформации трубопроводов проявляются в виде множественных выпуклостей и вогнутостей. Наиболее адекватная модель была предложена в одном из наших исследований, и для её верификации был разработан экспериментальный стенд. Этот стенд позволит изучить напряженно-деформированное

Основные результаты работы, разработки и предложения :

Магистральные трубопроводы, проложенные на территории Республики Саха (Якутия), эксплуатируются в области распространения многолетнемерзлых грунтов. Экстремальные климатические и инженерно-геологические условия, характеризуются низкими температурами воздуха, высоким уровнем грунтовых вод, заболоченностью и заторфованностью грунтов, глубоким сезонным промерзанием на участках локальных поднятий и подтоплением территорий во время весеннего и осеннего паводков.

В районах, где трубопроводы эксплуатируются и взаимодействуют с многолетнемерзлыми грунтами, часто фиксируются неравномерные деформации, приводящие к смещениям от запланированного положения. Это создает участки с изгибами, возникающие из-за сжимающих напряжений вдоль оси, и может вызвать значительные растягивающие осевые нагрузки. Такие изменения в структуре могут привести к снижению устойчивости, добавлению изгибных напряжений и, в конечном итоге, к разрушению системы. К настоящему времени разработаны модели, учитывающие развитие неравномерных подвижек трубы с вычислением характера распределения напряжений, авторы исследуют только участки с пучинистым грунтом и в результате получают деформации в виде одиночных арок

В отличие от исследованных случаев, на магистральном подземном трубопроводе существуют места, где реальная картина деформации трубопровода является сложной – на участке воздействия морозных пучений деформации получаются в виде нескольких выпуклостей и вогнутостей, следующих друг за другом без интервалов. Наиболее близка к реальным измеренным данным натурного объекта математическая модель, представленная в работе.

Для оценки пределов работоспособности математической модели разработанный авторами нами был изготовлен экспериментальный стенд для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) трубы при больших деформациях.

Нами был подготовлен экспериментальный стенд (рис.1) для изучения напряженно-деформированного состояния трубы при больших деформациях.

На рисунке 2 показана схема экспериментального стенда, для моделирования воздействия больших деформаций на трубопровод. Испытуемая труба 1 опирается на верхние упоры 2 на ее краях. В середине трубы установлен винтовой домкрат 3.

В качестве испытуемой трубы была использована труба из стали марки Ст3кп с внешним диаметром 76 мм и толщиной стенки 3,2 мм. Расстояние между верхними упорами 2,26 м. Посередине между упорами установлен винтовой домкрат с шагом винта 2 мм на 1 оборот.

После нагрузки, создаваемой домкратом, верхнюю образующую трубы измеряли в семи точках с использованием геодезического метода. Для выполнения измерений использовался тахеометр модели СХ-106.

В эксперименте, измеренные координаты семи точек были использованы в качестве входных данных для нашей модели. Исходя из этих данных, модель вычисляла возникшие механические напряжения.

На экспериментальном стенде (рис. 3) для регистрации деформации использовали резистивные тензодатчики BF1K-3AA с сопротивлением $1000\Omega \pm 0,1$ и коэффициентом чувствительности $2,15 \pm 1\%$. Изменение омического сопротивления тензорезистора соответствует деформации в точке поверхности детали, на которую наклеен тензодатчик BF1K-3AA. Данные изменения сопротивления фиксировались с использованием преобразователя сигналов ТС и ТП «Теркон» и регистрировались через установленное программное обеспечение «Теркон» на ноутбуке.

При исследовании деформации необходимо соблюдение технологического процесса подготовки, включающего последовательное выполнение следующих основных операций: выбор и проверка исправности прецизионных резистивных тензодатчиков с целью отбраковки и подбора групп датчиков с допустимым разбросом номинального сопротивления; подготовка поверхности детали с целью обеспечения требований технологии наклейки. Поверхность исследуемой детали в местах наклейки была очищена с использованием абразивной ленты (шкурки) от ржавчины, окалины. После обработки поверхность трубы была обезжирена спиртом с помощью тампона; наклейка тензорезисторов на деталь произведена с использованием клея «Супер-клей» на основе 90% из этил-2 цианоакрилата, порядка 9% полиметилметакрилата. Зная направление главных деформаций, наклейка датчиков производилась под углом 90 градусов друг к другу на одном участке; монтаж тензорезисторов, включающий крепление соединительных проводов и их припайку к выводным электродам;

контроль исправности тензорезисторов и качества выполнения технологических операций.

Сопротивление, указанное в паспорте и измеренное после монтажа тензорезистора на объекте, не изменилось – в процессе полимеризации связующего клея не привело к деформации его решетки.

Далее, после монтажа тензорезистора на объект, в процессе проведения механических испытаний объекта измеряют электрическое сопротивление тензорезистора. Монтаж тензорезисторов проводился на трубу диаметром D86 из стали марки Сталь3кп, на верхней и боковой образующей. Длина трубы составляет 2942 мм, толщина 4 мм от левого края на расстоянии 1610 мм находится место нагрузки (рис. 1). На расстоянии 130 и 545 мм от оси нагрузки P наклеены боковые тензодатчики, а на верхней образующей на 145 и 530 мм.

При измерениях необходимо учитывать изменения сопротивления тензорезисторов по истечении времени.

Измеряя сопротивление, полученные тензодатчиками, определяли удлинение трубы, далее вычисляли напряжение и сравнивали с полученными с помощью нашей математической модели. Цель эксперимента заключалась в определении максимальных значений напряжения, при которых модель демонстрировала приемлемые результаты.

Результаты экспериментов на экспериментальном стенде показали, что оценка напряжений при применении математической модели и показаний тензорезисторов на экспериментальном стенде совпадают в пределах до 40 МПа. Показания можно считать сопоставимыми, так как они не представляют точные значения, а являются оценочными.

При напряжениях, полученных при помощи тензорезисторов около 60 МПа, математическая модель начинает выдавать неустойчивые решения. При более высоких напряжениях решения нашей математической модели существенно расходятся.



Рис. 1. Экспериментальный стенд для изучения напряженно-деформированного состояния трубы

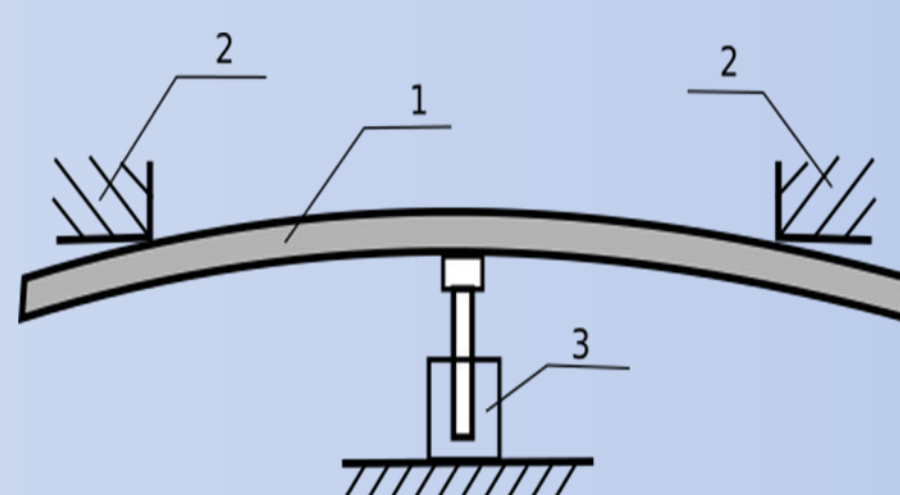


Рис. 2. Схема модели воздействия больших деформаций на трубопровод. 1 – испытуемая труба. 2 – верхние упоры. 3 – винтовой домкрат

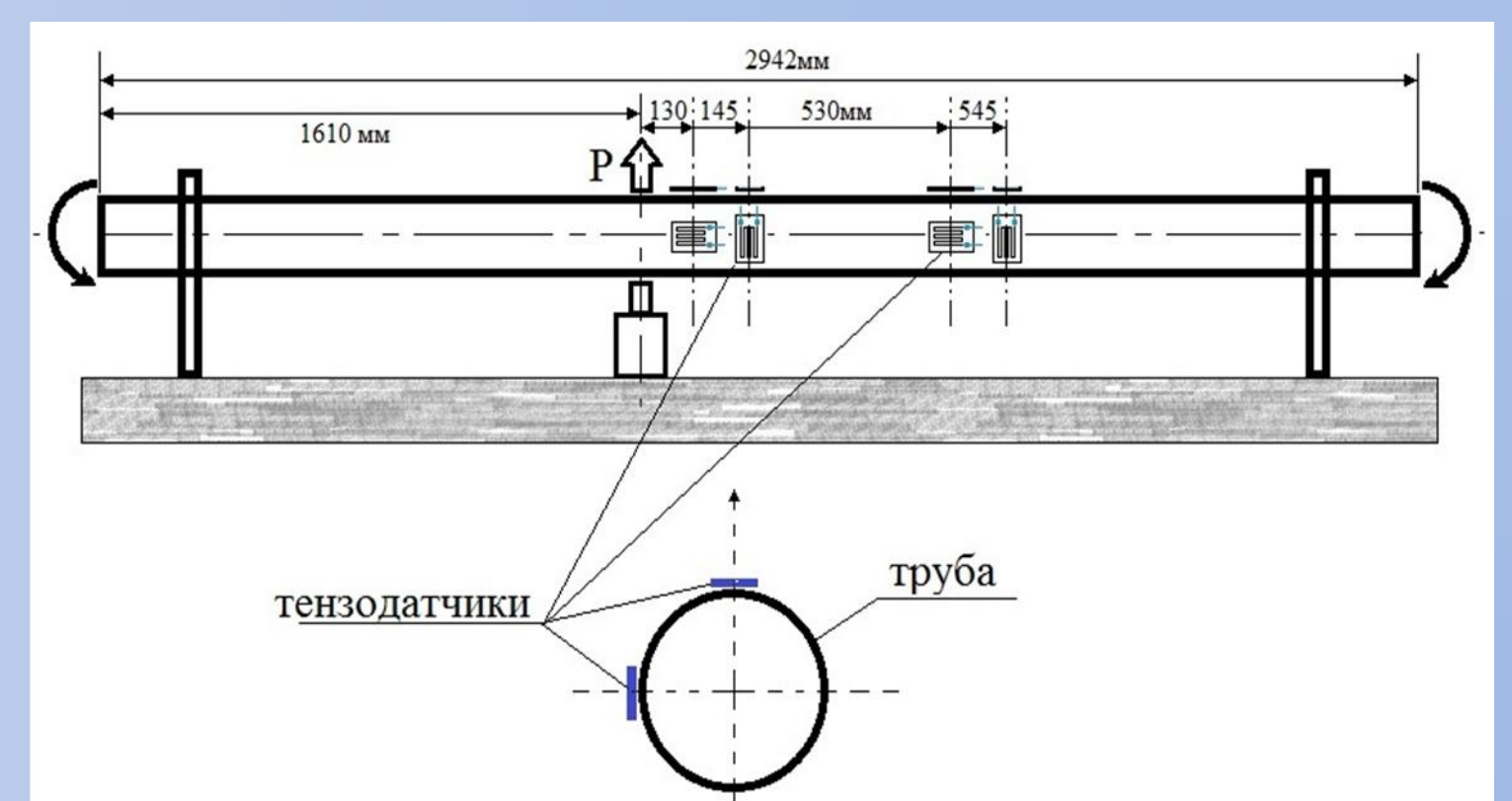


Рис. 3. Экспериментальный стенд по исследованию напряженно-деформированного состояния трубы