

УДК 629.10.061:531.3.012.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ МОДЕЛЕЙ СТАЛЬНЫХ НАДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В РЕЖИМЕ СВОБОДНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

А.И.Айнабеков, Т.А.Турмамбеков, У.С.Сулейменов,
Н.Ж.Жанабай, Б.А.Айнабеков
ЮКГУ им. М.Ауезова, г.Шымкент

Трубопроводные системы в настоящее время широко распространены в различных отраслях народного хозяйства, особенно в нефтяной и газовой промышленности. Бурное развитие этой отрасли в республике предъявляет определенные требования к прочности и долговечности трубопроводов и повышению их надежности.

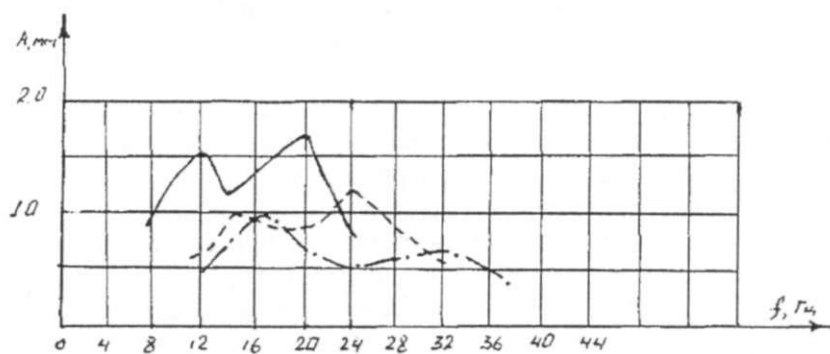
Это, в свою очередь, приводит к необходимости исследований динамики трубопроводов при колебаниях потока транспортируемой жидкости, при очистке полости трубы специальными устройствами, при работе поршневых компрессоров, при воздействии обтекающего ветрового потока и т.д.

Одним из перспективных направлений повышения динамической прочности и надежности магистральных надземных трубопроводов является предварительное напряжение, в результате чего достигается не только повышение прочности, но и снижение материалоемкости и стоимости [1,2].

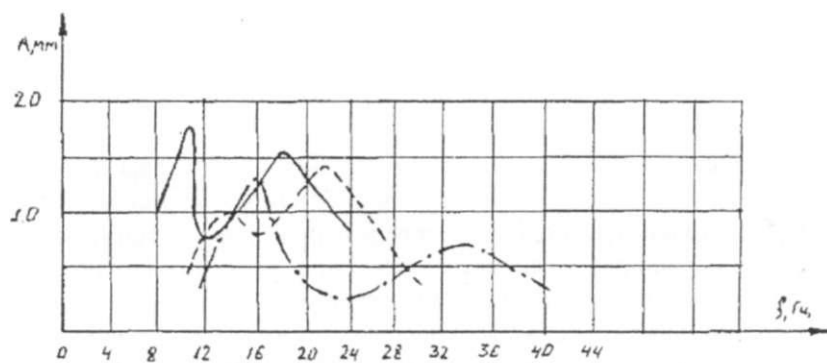
В связи с чем на кафедре «Прикладная механика» ЮКГУ им.М.Ауезова проводятся исследования особенностей работы динамических систем предварительно напряженных надземных магистральных трубопроводов как динамических систем.

В настоящей работе приводятся результаты динамических экспериментальных исследований моделей стальных магистральных трубопроводов при горизонтальных колебаниях.

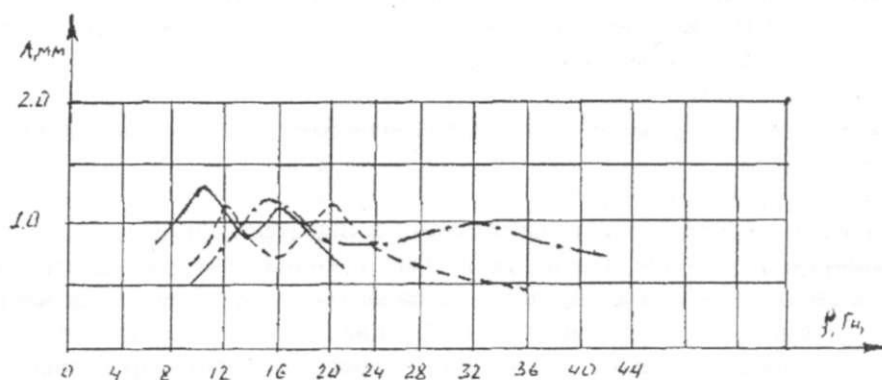
Экспериментальные исследования проводились на моделях надземных трубопроводов, выполненных из малоуглеродистой стали в масштабе 1:5 к натурным конструкциям стальных трубопроводов диаметром 1220 мм [3]. Моделирование геометрических размеров и параметров трубопровода произведено на основе простого механического подобия между моделью и натурой. Согласно этой теории, между параметрами модели и природы устанавливается постоянство масштабов моделирования. Метод основан на анализе размерностей физических величин [4].



а) при $H=0,5$ и $P=0$
 _____ $a=0$: _____ $a=d$: _____ $a=3d$



б) при $H=1,0$ и $P=0$
 _____ $a=0$: _____ $a=d$: _____ $a=3d$



в) при $H=1,0$ и $P=0,5$
 _____ $a=0$: _____ $a=d$: _____ $a=3d$

Рисунок 1 - Амплитудно-частотные характеристики горизонтальных колебаний
 обычного ($a=0$) и предварительно напряженного трубопровода ($a=-d$ и $a=3d$)

Модель надземного стального трубопровода представляет собой фрагмент трубопровода длиной 3980 мм, состоящий из трех равных пролетов длиной 1260 мм.

Динамические испытания модели проводились в режиме свободных и вынужденных (резонансных) колебаний. Для достижения цели экспериментов было изготовлено и испытано три фрагмента модели трубопровода. Труба М-1 базовая, эталонная без предварительного напряжения, М-2 и М-3 предварительно-напряженные, в которых шаг навивки принимался равным $a = d$ и $a = 3d$ (d - диаметр навиваемой проволоки).

Усилие навивки для преднапряженных трубопроводов принималось равным $S_{np} = 0,3-0,7S_{кр}$, где $S_{кр}$ - усилие натяжения проволоки, при котором происходит потеря устойчивости трубы, определенное по формуле Э. Б. Рамазанова [2].

Режим свободных затухающих колебаний модели создавался начальным смещением трубопровода специальной установкой, включающей трос и струну.

При проведении динамических испытаний моделей трубопровода применен электродинамический стенд ВЭДС-10 индуктивного действия.

Амплитуда и частота (период) колебаний определялись по осциллограмме свободных колебаний, а логарифмический декремент колебаний на основе известной формулы:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_1}{A_{n+1}},$$

где n - число колебаний на рассматриваемом участке осциллограммы; A_1 - амплитуда колебаний первой волны на участке; A_{n+1} - амплитуда колебаний последней волны на участке.

Деформации стенки трубопровода определялись тензометрическими средствами измерения. В качестве первичных преобразователей при измерении относительных деформаций применялись одноэлементные петлевые тензорезисторы на бумажной основе типа ПКБ базой 5 мм. Для регистрации динамических перемещений стенки трубопровода использовались тензорезисторные преобразователи - динамические прогибомеры. Для регистрации колебательного процесса в экспериментах использовался 12-канальный шлейфовый осциллограф Н-117 с рабочей полосой частот от 0 до 400 Гц. Для усиления сигналов от тензорезисторов применялся универсальный 10-канальный тензоусилитель "Топаз 3-01". Для записи осциллограмм использовалась светочувствительная осциллографная бумага УФ-100 и УФС-100.

Рассматривались случаи частично заполненного (0,5Н, 0,75Н) и полностью заполненного трубопровода (1,0Н). Одновременно рассматривались случаи отсутствия ($P=0$) или наличия внутреннего избыточного давления ($P=0,2-1,0$ МПа) в трубопроводе.

В результате испытаний были определены амплитудно-частотные характеристики (АХЧ), формы колебаний и напряженно-деформированное состояние, а также формы деформирования стенки трубопровода.

Анализ зависимостей между уровнем преднапряжения, частотой собственных колебаний, логарифмическим декрементом и параметрами эксплуатационных режимов работы трубопровода показал, что изменение уровня предварительного напряжения в диапазоне от 0,3 до $0,7S_{кр}$ приводит к увеличению значения частот основного тона колебаний моделей в среднем на 52-59%, а логарифмического декремента колебаний на 20-24%. Сделан вывод о том, что с увеличением уровня предварительного напряжения эффект включения проволоки в совместную работу с трубой увеличивается. При заполнении трубопроводов жидкостью происходит эффект резкого изменения частот собственных колебаний как обычных, так и преднапряженных трубопроводов. Установлено, что при заполнении трубопровода на 0,5Н частота основного тона колебаний уменьшилась почти в два раза. При заполнении трубопровода до 0,75Н частота основного тона уменьшилась до 10% для преднапряженных трубопроводов и на 8% для обычного трубопровода. Дальнейшее увеличение степени заполнения до 1,0Н трубопроводов уже незначительно влияло на частоту основного тона колебаний для всех типов трубопроводов.

Наличие внутреннего избыточного давления уменьшает частоту основного тона колебаний как обычного, так и преднапряженных трубопроводов примерно в 1,3-1,5 раза.

При заполнении трубопроводов жидкостью до уровня 0,5Н значения декрементов колебаний уменьшаются от 0,18 до 0,129 для преднапряженного трубопровода с шагом навивки

проволоки $a=d$ и от 0,168 до 0,128 для преднапряженного трубопровода с шагом навивки проволоки $a=3d$.

Наличие внутреннего избыточного давления как в преднапряженных трубопроводах, так и в обычном трубопроводе привело к незначительному снижению декрементов колебаний: в преднапряженных трубопроводах с $a=d$ от 0,165 до 0,163, с $a=3d$ от 0,160 до 0,155.

Установлено, что в результате предварительного напряжения амплитуда колебаний снизилась от 1,78мм до 1,55мм при первой резонансной частоте и на 20%(1,2мм) при второй резонансной частоте. Это объяснено увеличением общей жесткости трубопровода за счет предварительного напряжения, вследствие чего запаздывает наступление резонансных частот и уменьшаются амплитуды его колебаний.

Сравнение продольных форм колебаний трубопроводов в зависимости от уровня их заполнения и внутреннего избыточного давления указывает на некоторые качественные изменения, проявляющиеся по сравнению с колебаниями обычного трубопровода. Исследования форм горизонтальных колебаний трубопровода показали, что максимальная ордината деформации трубы возникает в середине трубы, а формы колебаний модели качественно схожи с формами колебаний трехпролетной балки с защемленными концами.

Таким образом установлено, что при колебаниях предварительно напряженных трубопроводов наблюдается тенденция к выравниванию их перемещений относительно продольной оси и особенно эта тенденция усиливается с повышением внутреннего избыточного давления в трубопроводе. Выявлено улучшение динамических характеристик преднапряженного трубопровода по сравнению с обычным. Так, частота основного тона собственных колебаний предварительно напряженного трубопровода в среднем на 30-40% выше частоты основного тона колебаний обычного трубопровода, значения логарифмического декремента колебаний повышаются в среднем на 25-30%, а амплитуда колебаний уменьшается на 10-22% в зависимости от уровня преднапряжения, шага навиваемой проволоки и внутреннего давления в трубопроводе.

Литература

- 1 Беленя Е. И. Предварительно-напряженные несущие металлические конструкции.- М.: Стройиздат, 1975. – 416 с.
- 2 Беленя Е. И., Астряб С. М., Рамазанов Э. Б. Предварительно-напряженные металлические листовые конструкции.- М.: Стройиздат, 1979.- 192с.
- 3 Айнабеков А.И., Арапов Б.Р., Сулейменов У. С., Атемова З. К. Моделирование корпуса стального трубопровода при динамических воздействиях // Механика и моделирование процессов технологий.- Тараз. 2003.- №2.-С.149-152.
- 4 Шаповалов Л.А. Моделирование в задачах механики элементов конструкции.-М.:Машиностроение, 1990. -288 с.

Қорытынды

Мақалада алдын ала кернеуленген магистральды құбыр үлгілерін динамикалық сынаудың нәтижелері келтірілген. Қарапайым және алдын ала кернеуленген құбырлардың тербеліс жиілігі, амплитудасы мен тербеліс декременттеріне талдау келтірілген.

Summary

In this article the results of dynamic tests of beforehand strained piping models in regime of horizontal vibration are shown. The comparison of frequency, amplitude of vibration of standard and beforehand strained piping is shown.