

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО ТРУБОПРОВОДА В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

У Вэйпэн, Лян Юэ

**Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор С.Н. Харламов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

Введение. Хорошо известно [1-3], что, несмотря на внешнюю конструктивную простоту, магистральные трубопроводы (МТ) принципиально отличаются от других объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) любой экономически развитой страны наличием в его составляющих (элементах, узлах и соединениях со сложной конфигурацией поверхности конструкции) силовых факторов. Включение в состав МТ разнообразных объектов (в частности, по технологическому назначению) способно обострять процессы переноса в местах соединений, неоднозначно распределять действующие нагрузки на стенку, а также приповерхностный слой грунта. Все это **актуализирует** проблемы многомасштабного и многопараметрического предсказания процессов в узлах и секциях трубопровода, требует детального анализа картины изменений параметров, определяющих напряженно-деформируемое состояние (НДС) стенки и окружающей внешней среды. И здесь особенно ценными для практики представляются: рекомендации по эксплуатации и увеличению вероятности возникновения отказов при неблагоприятных внешних условиях; поиск путей адекватного функционирования трубопровода под действием эксплуатационных и внешних воздействий по принятой расчётной схеме, рекомендуемым нормативным документам к надёжности МТ. В силу вышесказанного видно, что на всех этапах проектирования, сооружения и эксплуатации трубопроводных систем при неблагоприятных климатических условиях вопросы корректного прогноза процессов в линейной части трубопроводов в рамках комплексного физико-математического и численного моделирования становятся **актуальными**. Последнее ценно и прикладной и с фундаментальной точек зрения.

Учитывая данные обстоятельства в работе поставлена **следующая цель** - исследовать конструктивную надёжность МТ при комплексном влиянии нелинейных эффектов, связанных с пластической деформацией, возникающей в процессе производства и транспортировки труб к месту назначения, а также при выполнении строительно-монтажных (ремонтных работ), интенсифицирующих процессы износа и разрушения материала стенки трубопровода. Полученная в результате оценки НДС линейной части МТ информация позволит надёжно предсказывать размеры участков с предаварийной ситуацией (в том числе до появления дефектов) и предпринимать все необходимые меры для повышения надёжности функционирования всей трубопроводной системы.

Физическая модель и замыкающие связи к исследованию трубопровода. Предполагается, что размещение трубопровода производится в части местности со сложным рельефом и низкими температурами окружающей среды. Причем в отдельных областях окружающего грунта вследствие его неоднородности, особенностей уплотнения под трубопроводом, имеются зоны повышенного внешнего давления. Размеры областей выраженного изменения давления и утрамбованного приповерхностного слоя под основание трубопровода иллюстрируют данные рис. 1, (а, б). Из схемы области исследования видно, что неоднородные нагрузки на трубу локализованы в приповерхностном слое длиной порядка $(1-5)D$. При моделировании распределения нагрузок в системе "трубопровод - внешняя среда" учитывается пространственный характер деформационных процессов, который выполняется в рамках "стержневой" модели сплошной среды для стенки и массива грунта. Причем связи конечной жесткости устанавливаются в каждом узле системы по трем взаимно перпендикулярным направлениям [см. рис. 1, (б)].

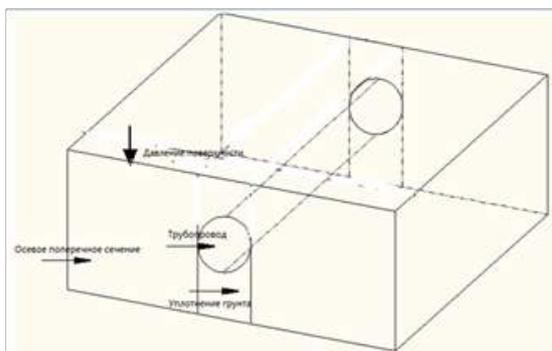


Рис. 1,а. Область моделирования нагрузок в системе "трубопровод - внешняя среда" при ориентации объекта согласно координатам (см. рис.1,б).

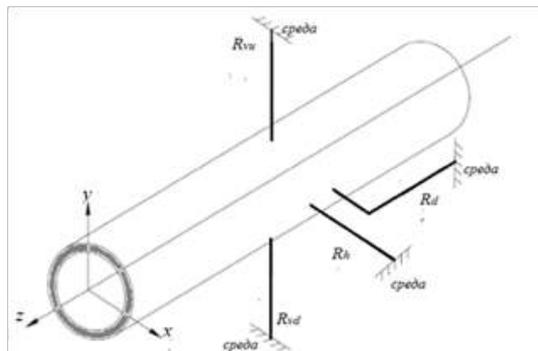


Рис. 1,б. Схема стержневой модели участка трассы подземного магистрального трубопровода со связями конечной жесткости. Здесь обозначено: R_d - жесткая связь в осевом направлении; R_h - соответствующая связь в радиальном направлении; R_{vt} , R_{vd} - соответствующие связи в азимутальном (верх, низ) направлениях

В рамках выбранной физической модели (подобно подходу [1]) видно, что сопротивление массива грунта несимметрично из-за различий в значениях параметров, определяющих структуру и мощность грунта при засыпке (сверху) и под трубопроводом (снизу). С учетом сказанного *предполагается*, что в модели деформационных процессов в почве учитываются нелинейные эффекты в реологической связи для напряжений и скоростей деформаций, определенные в рамках расширенной модели Drucker-Prager, Ramberg-Osgood. Заметим, что в работе также проведены оценки НДС системы “трубопровод-почва” в рамках упрощенной модели с нелинейным тангенциальным контактом, в которой учитывается влияние трения грунта на внешнюю стенку трубы.

Результаты и их обсуждение. Исследование НДС системы “трубопровод-грунт” проводилось при следующих значениях определяющих параметров: длина трубопровода – $D=10\text{m}$; материал – сталь МХ65; Прямоугольная область размещения трубопровода определялась параметрами - (длина \times ширины) = $(10\text{m} \times 100\text{m})$. Предполагается, что имеет место распределенная нагрузка трубопровода на грунт с величиной 5 МПа. Почва представляет собой пространство, окружающее объект изучения – трубопровод с параметрами: (длина \times ширина \times высота) = $(100\text{m} \times 100\text{m} \times 50\text{m})$. Параметры почвы: коэффициент упругости - 60МПа, коэффициент Пуассона – 0.32, коэффициент трения в системе “трубопровод-почва” - 0,6. Дно траншеи предполагалось как абсолютно твердое с высоким уплотнением почвы на концах трубопровода. Модельные расчеты выполнены с привлечением ПК ANSYS (R15.0) для численного интегрирования определяющих уравнений пространственной задачи термоупругости [4] с аппроксимацией производных уравнений тепловой и деформационной частей задачи со вторым порядком точности относительно шагов по независимым переменным и с последующим применением метода контрольного объема к конечно-разностным аналогам определяющих уравнений. Краевые условия к определению полей температуры и смещений отвечают сопряженной постановке. Тестирование результатов выполнено с привлечением метода вложенных сеток и сравнений данных расчетов с имеющимися теоретическими и опытными данными изменений локальных и интегральных параметров задачи термоупругости. Отдельные результаты эффектов деформации и распределений напряжений в системе представлены на рис. 2. Здесь приведены характерные распределения перемещений в системе “почва-труба”. Рисунок показывает, что в результате контакта трубопровода с грунтом в условиях взаимовлияния нагрузок имеет место оседание почвы, способное деформировать (в виде изгиба) трубу. Это способно вызвать изменение общей нагрузки в нижней части трубы и определить характер азимутальных деформаций в стенке трубопровода. Видно, что рост напряжений и нагрузок проявляется в направлении к верхней части трубопровода и в основном относится к нижней зоне поверхности. Результаты позволяют утверждать, что в верхних областях стенки трубопровода [см. рис. 2(а)] доминируют деформационные процессы, обусловленные действием внутреннего гидродинамического давления. Причем реакция стенки на эти процессы характеризуется стабильностью и однородным распределением напряжений по периметру трубы. Это подчеркивает ослабление скорости деформационных процессов в указанных областях системы “трубопровод-грунт”.

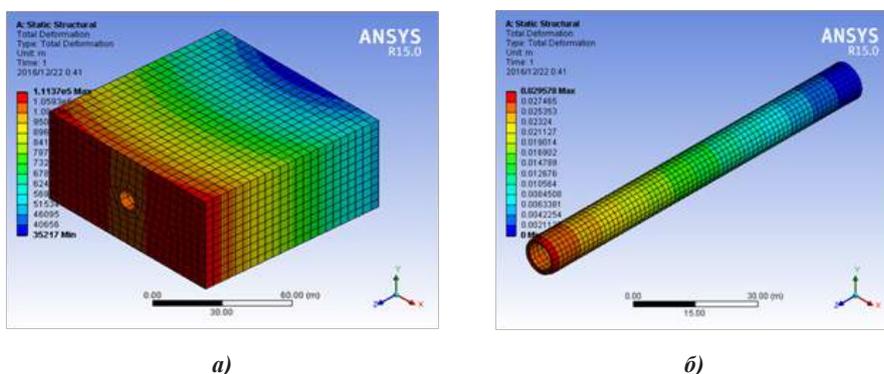


Рис.2. Картины характерных распределений безразмерных осевых смещений в грунте (а) и стенке трубопровода (б)

Кроме того, расчеты показывают, что в грунте возникают осадочные явления (например, вследствие внешнего локального давления), вызывающие деформационные процессы в трубопроводе (изгиб), которые весьма неоднородны по длине трубопровода.

Литература

1. Яваров А. В. Численное моделирование сопротивления массива грунта перемещениям подземного трубопровода // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. №3. С. 360-374. http://ogbus.ru/authors/Yavarov/Yavarov_1.pdf
2. Якубовский Ю.Е., Пономарева Т.М., Дорофеев Е.В. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния однофазного перехода нефтегазопровода по полубезмоментной теории // Известия восточной нефти и газ. ТюмГНГУ-2006. №5. С. 44-49.
3. Мансурова С.М., Тляшева Р.Р., Ивакин А.В., Шайзаков Г.А., Байрамгулов А.С., Оценка напряженно-деформированного состояния стального цилиндрического резервуара с учетом эксплуатационных нагрузок (http://ogbus.ru/authors/MansurovaSM/MansurovaSM_1.pdf)
4. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. Киев: Наукова думка, 1970. – 309 с.