

УДК 620.16

П.В. Бурков, С.П. Буркова, В.Ю. Тимофеев, К.Г. Калмыкова

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ОСАДКИ СЛАБОСВЯЗАННЫХ ГРУНТОВ

Все более растущие потребности промышленных регионов в доступных энергетических ресурсах обуславливают развитие магистральных трубопроводных систем транспорта нефти и газа. Удаленность мест добычи ресурсов от конечного потребителя создают предпосылки развития трубопроводного транспорта. Объективными же особенностями газопроводной сети России являются сложные природно-климатические условия эксплуатации, оказывающие негативное воздействие на функционирование газопроводов, что увеличивает риск экологической и технической безопасности.

В процессе эксплуатации газопроводов в результате действия нагрузок, не предусмотренных проектом, могут возникать различные, в том числе и существенные, отклонения напряженно-деформированного состояния (НДС) от проектного. К существенному изменению НДС может приводить изменение пространственного положения газопровода [1, 2]. Этому способствует осадка грунта, которая возникает за счет заполнения пус-

этой причине наиболее часты на газопроводах, уложенных в так называемых слабых грунтах [4]. Определение НДС подземных магистральных газопроводов от эксплуатационных нагрузок и воздействий неминуемо будет развиваться с использованием расчета совместной работы трубы и грунтового основания [5]. Поэтому актуальной является задача исследования НДС участка трубопровода, для определения критических значений его геометрических параметров и прочностных параметров, влияющих на его работоспособность.

Возможность исследования НДС, в данном случае, предоставляют численные методы, и в частности метод конечных элементов (МКЭ). Теоретические основы МКЭ были разработаны советскими учеными в первой половине XX века, но метод не получал распространения из-за необходимости оперирования большими объемами числовых данных при решении уравнений. В конце XX века с развитием вычислительной техники МКЭ получил широкое применение в науке и технике. МКЭ широко применяется при решении

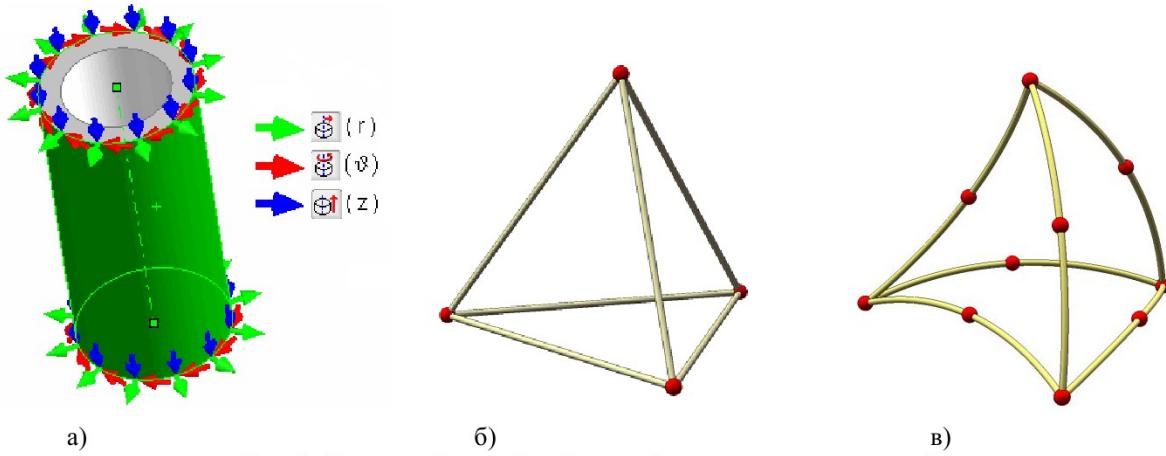


Рис. 1. Пример объемной модели, задания граничных условий

тот, оставшихся после завершения возведения насыпи: уплотнение за счет оттока излишней влаги; уплотнение – под действием веса самого грунта и вибрации газопровода. Это, в свою очередь, приводит к большему искривлению труб, их перенапряжению и в итоге – к повреждению газопровода в виде разрывов сварных стыков и свищей в стенках трубы, для устранения которых необходимо проведение ремонтных работ с остановкой газопередачи. Кроме того, каждое такое повреждение, в зависимости от его характера, может привести к значительным потерям газа [3]. Отказы по

сложных задач взаимодействия. Суть метода в данном случае заключается в создании трехмерной модели трубопровода и его разбиении на конечные объемные элементы, приложении нагрузок и ограничений к элементам (рисунок 1), расположенным на границе модели (задание граничных условий), а также в решении систем уравнений, описывающих взаимодействие полученных элементов. Объемные конечные элементы обычно представляют собой тетраэдры с узлами, расположенными в вершинах (рисунок 1 а) или в вершинах и серединах ребер (рисунок 1 б), применя-

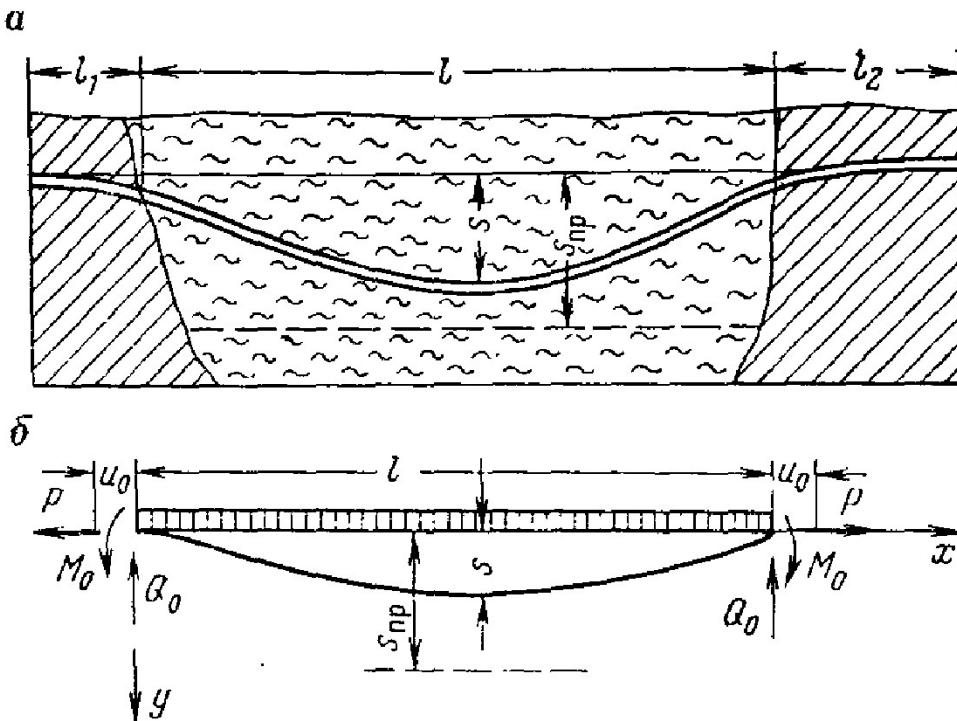


Рис. 2. Перемещение типа осадки: а – общий вид; б – схема

ются при расчете трехмерных объемных моделей объектов [1].

В настоящее время одной из самых широко распространенных систем конечно-элементного анализа является ANSYS. Данный программный продукт широко в сфере автоматических инженерных расчётов, решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций.

Из механики грунтов известно, что полностью водонасыщенный грунт можно рассматривать как двухфазную систему, уплотняемость которой определяется отфильтровыванием воды из пор скелета грунта под воздействием уплотняющей нагрузки [3]. При этом, если рассматривать участок подземного прямолинейного газопровода уложенного в сухой грунт, то в этом случае вертикальное

перемещение (осадка) происходит в результате уплотнения грунта под трубой. Осадка в этом случае несущественна, так как давление на грунт, определяемое массой трубы, не превышает $0,5 \text{ Н}/\text{см}^2$, и учитывать ее влияние на изменение положения газопровода по сравнению с первоначальным его положением нет необходимости. Если же поместить газопровод в слабый водонасыщенный грунт или на периодически затапливаемую территорию, то осадка грунта определяется в предположении уплотнения грунта под трубой, уплотняемость которого определяется отфильтровыванием воды из пор грунта под воздействием нагрузки. Предельная осадка газопровода S_{np} (рис. 2, показана пунктирной линией) называется стабилизированной.

Если бы слабый грунт равномерно распределялся по всей длине газопровода, то и осадка была

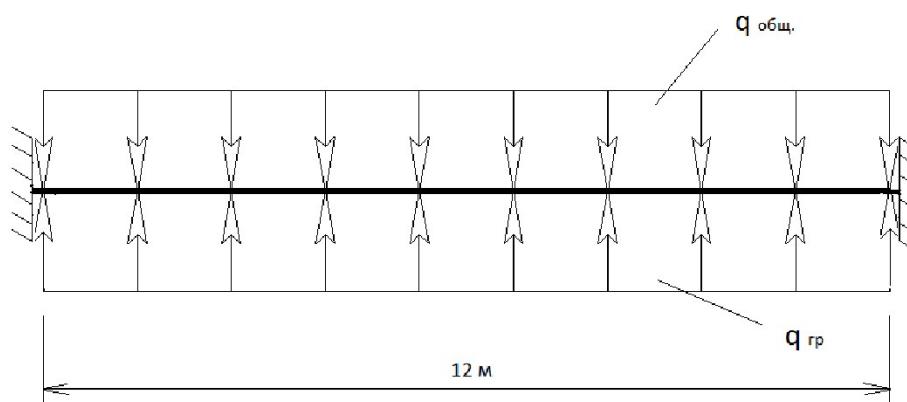


Рис.3. Расчетная схема газопровода

бы по всей длине одинакова. Однако на практике наиболее характерно чередование слабых грунтов и грунтов, обладающих достаточно большой несущей способностью. На последних, как уже отмечалось, осадка практически равна нулю. В середине участка слабого грунта осадка могла бы достичь предельного значения S_{np} . Газопровод на участке l изгибаются, как показано на рисунке 2 а. Поскольку удлинение труб возможно только вследствие их растяжения на участке l и прилегающих к нему участках l_1 и l_2 , то в трубах появ-

ляется растягивающая продольная сила P (рисунок 2 б) и участок l начинает работать как жесткая нить. Реакции в жесткой заделке Q_0 и возникающие от них опрокидывающие моменты M_0 взаимно компенсируются. Действительная осадка S оказывается существенно меньше S_{np} [3]. В трубах появляются напряжения от продольной силы, изгиба под действием давления вышележащего грунта, веса самой трубы с изоляцией и перекачиваемого продукта, действующего внутреннего давления и температурного перепада стенок тру-

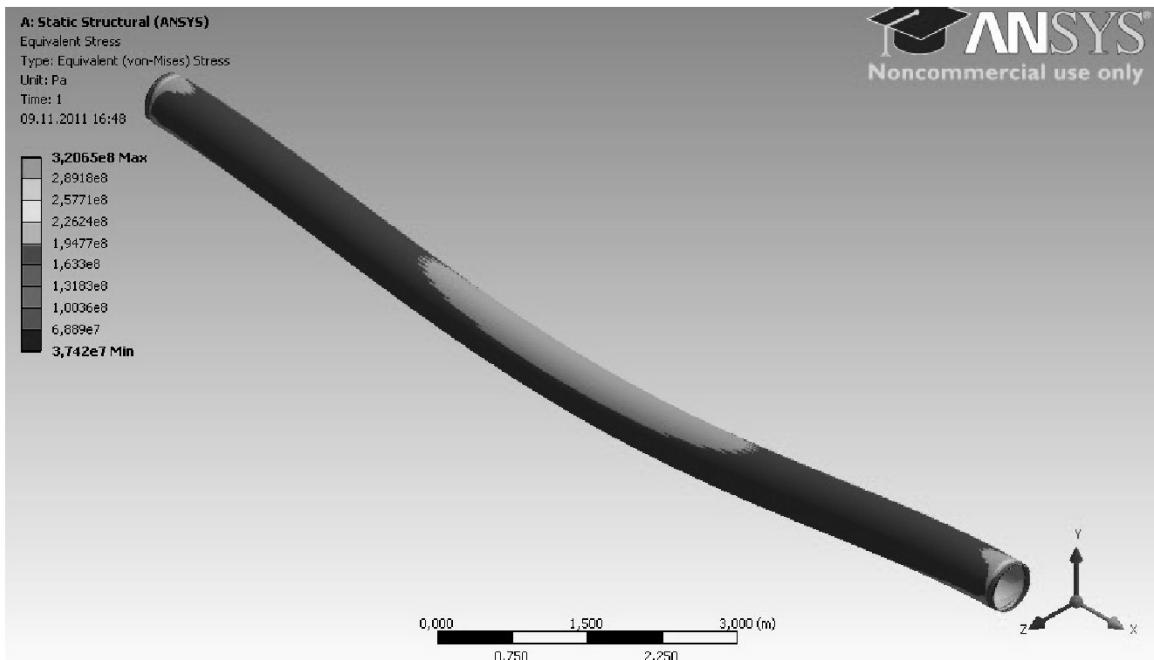


Рис. 4. Эпюра эквивалентных напряжений, возникающих в газопроводе при осадке обводненного грунта



Рис. 5. Деформации, возникающие в газопроводе при осадке обводненного грунта

бы.

Для исследования НДС и получения эпюор и установления диапазона изменения численных характеристик процессов, влияющих на деформацию, проводится расчет напряжений (на прочность), возникающих при осадке газопровода, с помощью программного продукта ANSYS, была создана трехмерная объемная модель участка газопровода (трубы) со следующими параметрами:

- наружный диаметр – 530 мм;
- толщина стенки трубы – 11 мм;
- длина – 12 м;
- рабочее давление – 9,0 МПа.

Газопровод изготовлен из стали 17Г1С со следующими механическими характеристиками:

- предел кратковременной прочности σ_b – 490 МПа;
- предел текучести для остаточной деформации σ_t – 350 МПа [2].

На газопровод, кроме рабочего давления, действуют следующие нагрузки:

- распределенная нагрузка от веса самой трубы с изоляцией, перекачиваемого газа и давления вышележащего грунта – $q_{общ}$ (масса трубы 3,1 т);
- распределенная нагрузка от давление грунта снизу на газопровод – $q_{гр}$.

Расчет нагрузок, действующих на газопровод, рассчитываются согласно [4]. Расчетная схема представлена на рис. 3.

Принимаемые допущения соответствуют наиболее простому из возможных вариантов взаимодействию трубы и контактирующего с ней грунта:

- жесткая заделка по краям введена в схему для предотвращения перемещений по оси Х в начале и конце участка трубы, с системе ANSYS это реализовано в виде приложения граничных условий к торцам трубы;
- давление грунта на трубу снизу принято 20% от действующей нагрузки сверху [5];

- не учитывается изменение геометрии трубы вследствие изменения температуры.

Полученная эпюра эквивалентных напряжений Мизеса представлена на рис. 4.

Из эпюор видно, что максимальные эквивалентные напряжения возникают на середине участка трубопровода и достигают 320 МПа. Также высоконагруженными являются концевые участки газопровода в местах приложения граничных условий по торцу трубы.

На рис. 5 представлены эпюры деформации участка газопровода при осадке обводненного грунта.

Из эпюры видно что максимальная деформация при данных нагрузках будет иметь место на среднем участке газопровода и будет достигать значения в 203 мм.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- максимальные значения эквивалентных напряжений по Мизесу, возникающих при осадке газопровода, может достигать величин, близких к предел текучести для остаточной деформации материала газопровода, что совершенно неприемлемо с точки зрения возможности эксплуатации газопровода при данных условиях и нагрузках;

- величина эквивалентных напряжений по Мизесу переменна по длине газопровода. Участки газопровода, расположенные в зоне перехода слабых грунтов и грунтов, обладающих достаточно большой несущей способностью не несут существенных нагрузок;

- полученные результаты не дают полную картину для принятия проектного решения, в связи с чем необходимо детальные исследования напряженно-деформированного состояния газопровода с учетом физико-механических свойств грунта и их взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бегляков В.Ю., Аксенов В.В. Поверхность забоя при проходке горной выработки геоходом: монография / В.Ю. Бегляков, В.В. Аксенов // Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Germany. 2012. – 139 с.
2. Марочник стали и сплавов URL: <http://www.splav.kharkov.com> (дата обращения 5.08.2012).
3. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы (проектирование и строительство). – М.: Недра, 1982, 384 с.
4. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. - М: ГУП ЦПП, 1997.
5. Димов Л.А. Деформационная способность грунтов и расчет подземных МГ // Газовая промышленность – 2008 №2 – С.82-85.

Авторы статьи

Бурков

Петр Владимирович.
докт.техн.наук, проф.. каф. общей электротехники и автоматики (Томский гос. архитектурно-строительный университет). Email: burkovpv@mail.ru

Буркова

Светлана Петровна,
доцент каф. начертательной геометрии и графики (Национальный исследовательский Томский политехнический университет). Email: burkovasp@tpu.ru.

Тимофеев

Вадим Юрьевич,
доцент каф. горно-шахтного оборудования (Юргинский технологический институт (филиал) НИ ТПУ, Email: tv-ytitpu@mail.ru

Калмыкова

Ксения Георгиевна,
магистрант. Национального исследовательского Томского политехнического университета. Email: kalmykova-kseniya@mail.ru.