

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГОПРОИЗВОДСТВА

УДК 620.16

П.В. Бурков, С.П. Буркова, В.Ю. Тимофеев, Т.В. Каноненко, А.А. Ащеурова

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА «НИЖНЕ-КВАКЧИНСКОЕ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ – Г. ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ» МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Прирост добычи российского газа планируется за счет месторождений Северо-Западного Федерального округа (ФО), Сибирского ФО и Дальневосточного ФО. При этом удаленность потребителей природного газа обуславливает необходимость развития газопроводного транспорта. Большая протяженность газопроводов и преодоление различного рода горно-геологических и климатических условий ставит задачи повышения требований к их прочности и надежности.

Особенные требования предъявляются к газопроводам проходящим через сейсмоопасные территории. К одним из таких относиться участок газопровода «УКПГ-2 Нижне-Квакчикского газоконденсатного месторождения – АГРС г. Петропавловска-Камчатского». Район прохождения трассы газопровода рассматривается как сопряжение вулканических, ледниковых, сейсмических, тектонических, эрозионных и других эндогенных и экзогенных процессов.

В соответствии с проектом магистральный га-

зопровод «УКПГ-2 Нижне-Квакчикского газоконденсатного месторождения – АГРС г. Петропавловска-Камчатского» пересекает 31 активный тектонический разлом.

Климатические особенности Камчатки сопровождаются частым возникновением особо опасных явлений погоды, к которым относятся ураганные ветры, обильные осадки, сильные и продолжительные метели, разливы рек. Повышенную опасность представляет нарушения целостности траншеи укладки трубопровода, т.к. при этом возможно его провисание и, как следствие, нарушение целостности и разрушение.

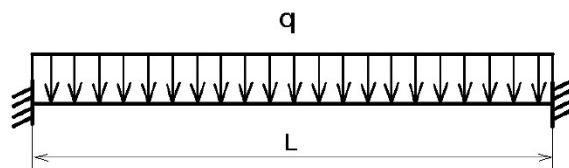


Рис. 1. Расчетная схема трубопровода

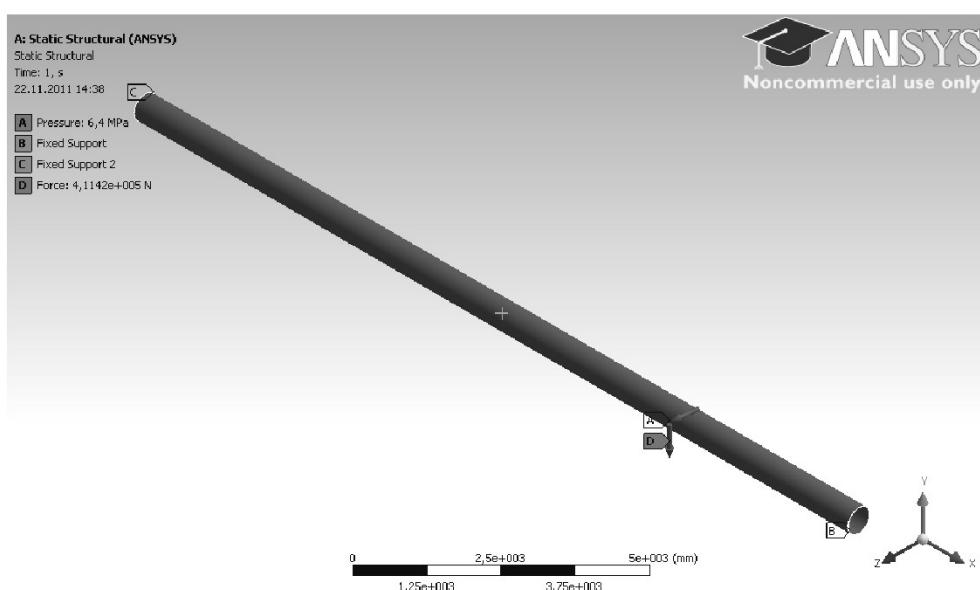


Рис. 2. Модель нагружения участка трубопровода

Ниже представлены основные характеристики газопровода:

- давление в газопроводе – до 6,4 МПа;
- наружный диаметр трубопровода – 530 мм;
- тип прокладки участка газопровода – подземная;
- грунт в зоне прокладки – супесь;
- толщина слоя засыпки от верхней образующей трубы – $h_0=0,8$ м;
- материал трубы – сталь 10Г2ФБ;
- толщина стенки трубы – 8 мм;
- предел прочности материала трубы $\sigma_b=590$ МПа;
- предел текучести материала трубы $\sigma_t=485$ МПа.

Цель расчета трубопровода, при его работе в условиях сильных горно-геологических наруше-

ний, заключается в определении максимальных напряжений и деформаций в трубопроводе при его провисании при совокупности таких явлений как землетрясение и ливневые паводки, то есть при наихудшем стечении обстоятельств. Как следствие, в ходе определения максимальных нагрузок, становится известно максимально возможное расстояние пролета провисания по длине трубопровода, выдерживающее нагрузки от веса трубы с продуктом и грунта по верхней образующей трубы, не имея опоры на грунт по нижней образующей.

Экстремальные условия работы элементов современных конструкций, сложность их формы и большие габариты делают исключительно дорогое осуществление натурного или полунатурного эксперимента, особенно, если речь идет об установлении предельных (разрушающих) нагрузок.

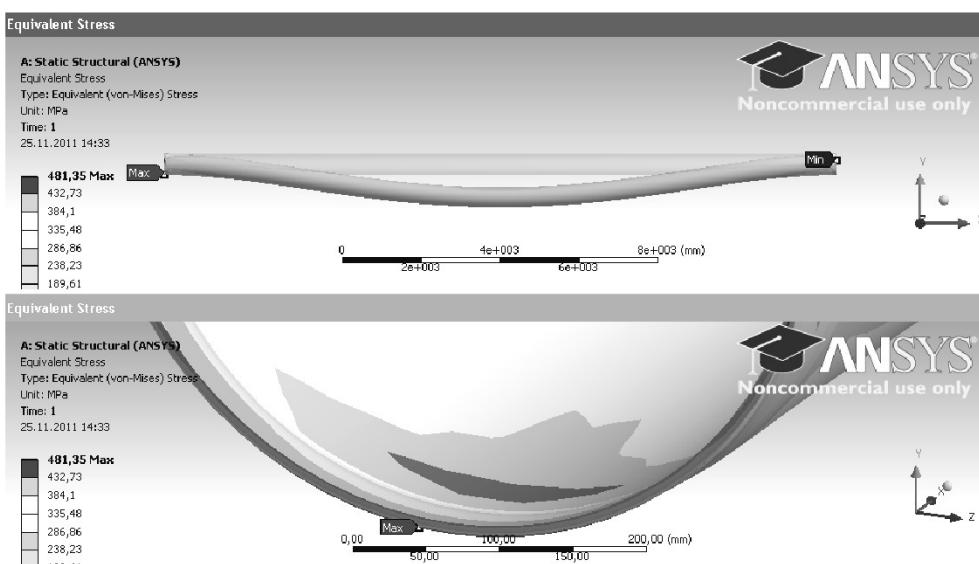


Рис. 3. Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу

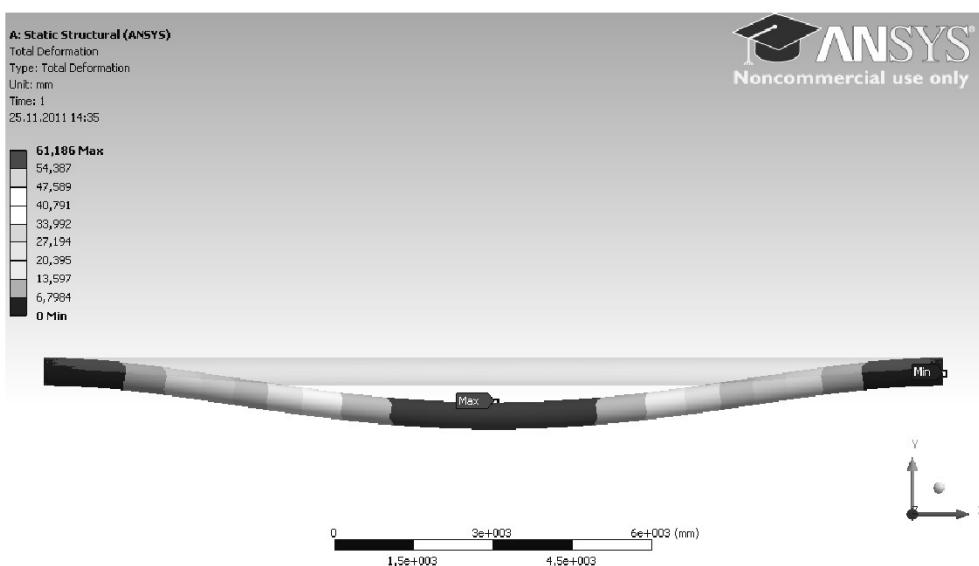


Рис. 4. Максимальные деформации

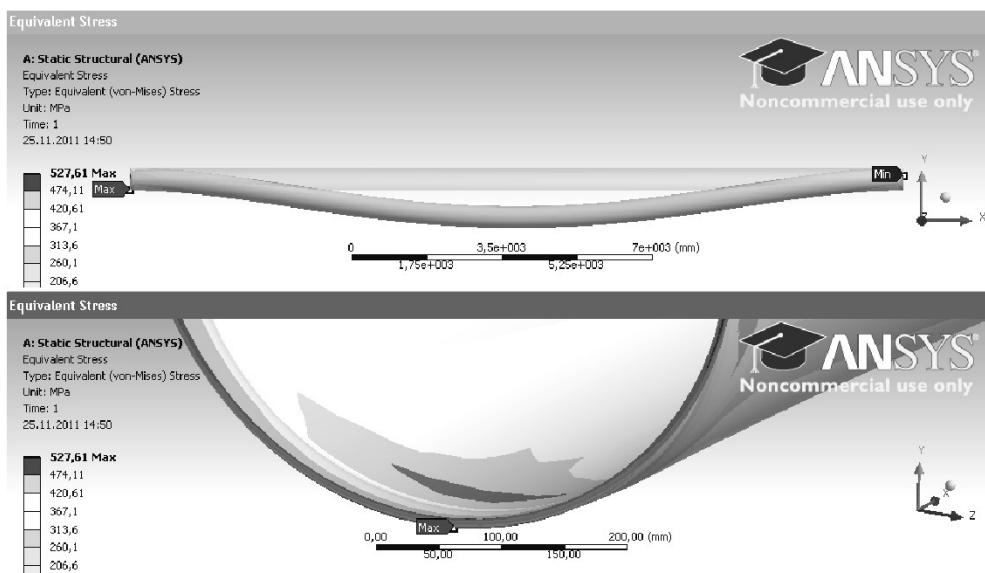


Рис. 5. Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу

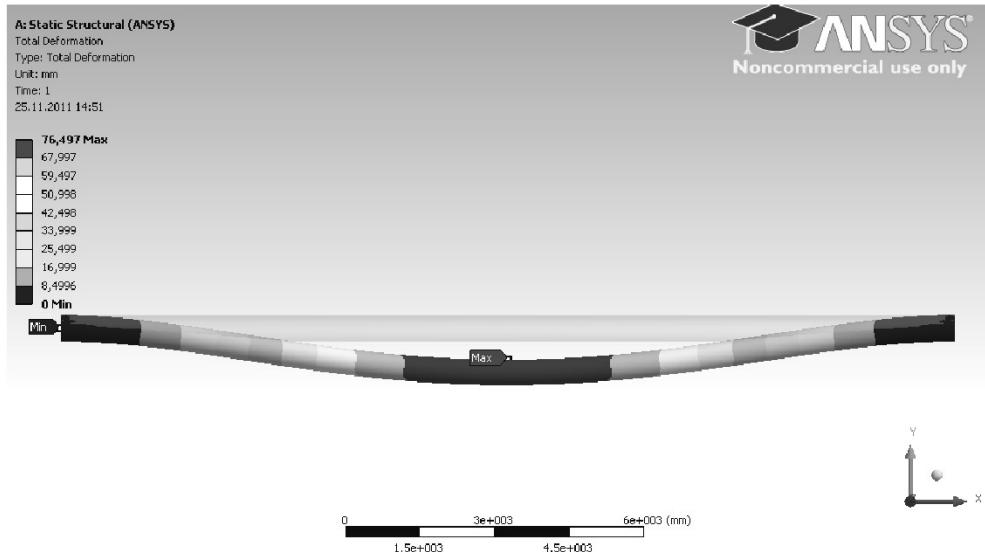


Рис. 6. Максимальные деформации

Зачастую единственной возможностью экспрессного анализа инженерной проблемы является компьютерное математическое моделирование.

Прогресс в разработке численных методов позволил существенно расширить круг задач, доступных анализу. Полученные на основе этих методов результаты используются практически во всех областях науки и техники. В анализе конструкций все более распространен метод конечных элементов (МКЭ) [1].

В настоящее время программным комплексом, в котором в наибольшей степени реализованы возможности МКЭ, является ANSYS.

На данном этапе с помощью программного обеспечения ANSYS возможно создать модель для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) участка газопровода, находящегося в

траншее и пересекающего активный тектонический разлом.

Для изучения НДС создана модель газопровода с изменяющимися параметрами в среде ANSYS которая представляет собой участок трубопровода с жестко фиксированными торцами на обоих концах, так как предполагается защемление трубопровода грунтом, и испытывающим нагрузки от внутреннего давления, веса материала самой трубы, веса перекачиваемого продукта и веса грунта (рис. 1).

Для установления тенденций и зависимостей изменения основных параметров, длина провисающей части трубопровода при моделировании варьируется. Необходимые значения соответствующих нагрузок находим согласно [2]. Суммарная равномерно распределенная нагрузка на тру-

бопровод составляет $q=24201$ Н/м, длина секции трубы – $L=18$ м.

На рис. 2 показана трехмерная модель участка газопровода разработанная в среде ANSYS [3]. Для расчета МКЭ к созданной модели, в соответствии с исходными данными, применяются граничные условия и нагрузки (давление внутри трубопровода, равномерно распределенная нагрузка, вес трубопровода). Приложенная нагрузка – статическая.

Результаты моделирования при длине прови-

сания равной 17 м (эпюры напряжений и эпюры максимальных деформаций) приведены на рис. 3 и 4.

Из эпюр видно, что возникающие максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу составляют 481,35 МПа, что сопоставимо с пределом текучести для материала трубы. Максимальная деформация (провисание) трубы составляет 61,18 мм. Также эпюра показывает что трубопровод выдерживает испытываемые нагрузки без нарушения своей целостности.

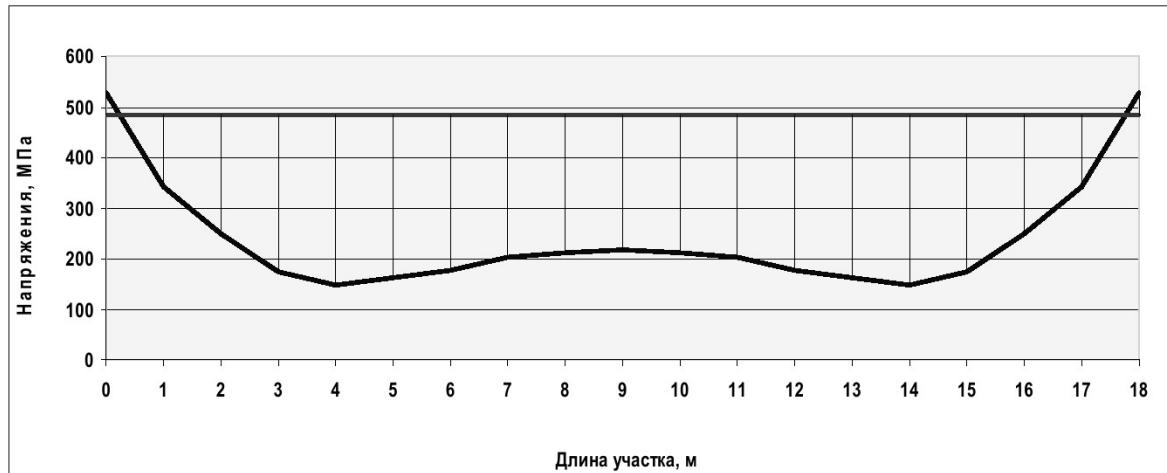


Рис. 7. График распределения эквивалентных напряжений по Мизесу по длине трубопровода

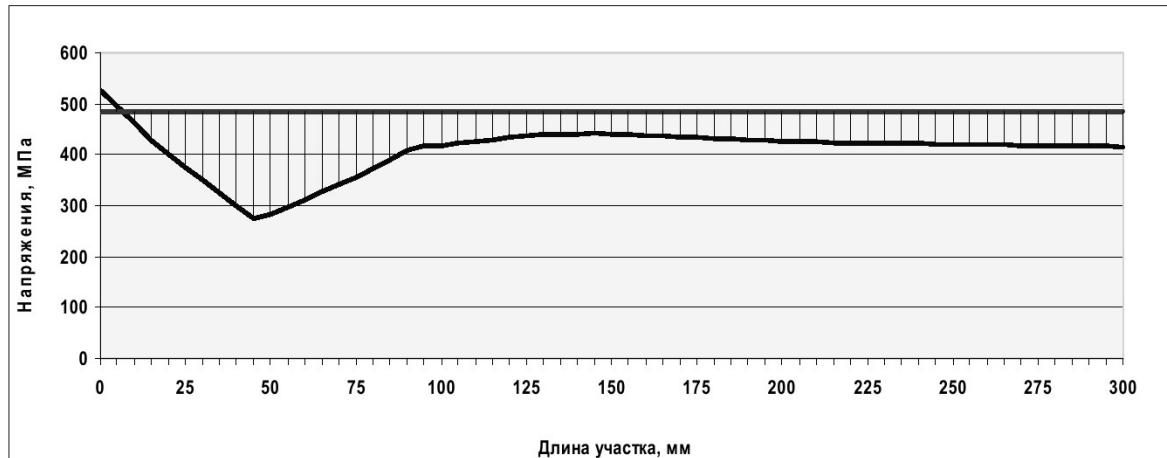


Рис. 8. График распределения напряжений вблизи фиксации трубопровода

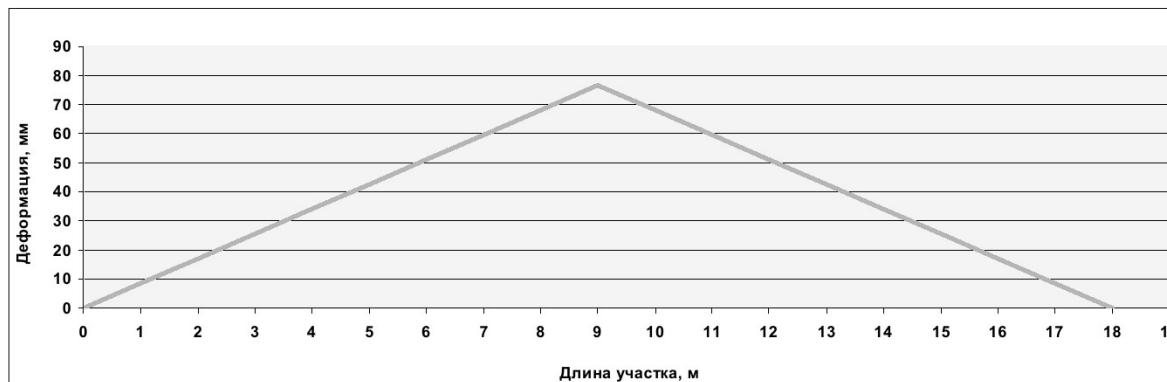


Рис. 9. График максимальных деформаций трубопровода

В дальнейшем изменим модель таким образом что бы величина пролета провисания составила 18 м (рис. 5, 6).

Из эпюра видно что при длине пролета провисания в 18 метров максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу составят 527,61 МПа, что превышает предел текучести материала трубы σ_t . Максимальная деформация при этом равна 76,5 мм.

Отсюда можно сделать вывод, что на участке такой длины трубопровод будет иметь нарушения сплошности и возможно подвергнется разрушению.

На рис.7 представлен график распределения эквивалентных напряжений по Мизесу для трубопровода с провисанием 18 м. Из графика видно, что максимальные напряжения возникают на нижней образующей трубопровода на границе защемления трубы грунтом и составляют $P_{max}=527,61$ МПа. На рис. 8 представлен график распределения эквивалентных напряжений, в увеличенном масштабе, по нижней образующей трубы на участке 300 мм от фиксированной заделки.

Из графика видно, что критический скачок напряжения будет иметь место на удалении 100 мм от заделки трубопровода, что будет являться наиболее опасным участком трубопровода при экстремальных ситуациях его эксплуатации.

На рис.. 9 представлен график максимальных деформаций участка трубопровода.

Максимальные деформации составляют 76,49 мм, и имеют место на середине трубопровода.

Проведенное математическое моделирование позволяет нам дать прогноз поведения данного газопровода в сейсмически активных районах прокладки при наихудшем развитии событий и произвести оценку воздействий различных факторов.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- предельная длина пролета провисания участка газопровода при котором не происходит разрушение составляет 17 метров;

- при имеющейся длине участка газопровода равной 18 метра при наихудшем развитие событий произойдет его разрушение под действием равномерно распределенной нагрузки, веса и давления внутри трубы;

- зона максимальных нагрузок расположена по нижней образующей трубопровода на границе защемления трубы грунтом, максимальное значение эквивалентных напряжений по Мизесу достигает 527,61 МПа, что превосходит предел текучести материала трубы;

- величина максимальных деформаций наблюдается в сечении расположенном на середине рассматриваемого участка и равна 76,49 мм.

Полученные данные создают предпосылки для конструктивной доработки участка газопровода с целью повышения его надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики : учеб.-метод. пособие для студентов технических специальностей / А. О. Шимановский, А. В. Путято ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 61 с.
2. Строительные нормы и правила (СНиП) 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы».
3. Бруяка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.: ил.
4. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. – М. : Мир, 1984. – 428 с.
5. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д.Г. Красковского. – М.: Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.
6. Бурков П.В., Буркова С.П., Вергинская О.В. Исследование силовых факторов системы среда – трубопровод // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011, - № 2. – с. 153-157.

Авторы статьи:

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

Буркова
Светлана Петровна,
доцент каф. начертательной геомет-
рии и графики (Национальный ис-
следовательский Томский политех-
нический университет).
Email: burkovasp@tpu.ru.

Тимофеев
Вадим Юрьевич,
доцент каф. горно-шахтного оборудо-
вования (Юргинский технологиче-
ский институт (филиал) НИ ТПУ,
Email: tv-ytitpu@mail.ru