

# Оценка напряженно-деформированного состояния линейной части магистральных трубопроводов

*Родионов Н.В., Суховерхов Ю.Н. (ЗАО «Дигаэз»)*

Магистральные трубопроводы – наиболее капиталоемкие сооружения нефтегазового комплекса. Продлевать «жизнь» трубопроводным системам – важнейшая научная, техническая и экономическая задача.

На эксплуатируемых ОАО «Газпром» трубопроводных системах существует большое количество участков со сложными геологическими условиями эксплуатации. Это оползневые участки, зоны газопроводов в пойменных, заболоченных местах и др. В этих случаях трубопровод подвергается воздействию дополнительных непроектных нагрузок, которые носят периодический характер. Для адекватной оценки технического состояния трубопроводов важно знать фактические эксплуатационные нагрузки, действующие на трубопровод. Для оценки воздействия непроектных нагрузок на опасных участках газопроводов необходимо проведение комплекса диагностических работ, который должен включать следующие основные виды работ:

- мониторинг технического состояния;
- мониторинг напряженно-деформированного состояния (НДС);
- геодезический мониторинг.

Как правило, непроектные нагрузки в сочетании с образовавшимися дефектами в процессе эксплуатации, а зачастую и пропущенными строительно-монтажными дефектами, становятся причинами разрушений трубопроводов.

Эксплуатация газопроводов по техническому состоянию требует перехода от периодического контроля трубопроводов к непрерывному контролю (мониторингу) без остановки технологического процесса.

Важнейшей составляющей, отвечающей за прочность трубопровода, является напряженно-деформированное состояние (НДС) трубопровода и его изменение под воздействием эксплуатационных и природно-климатических факторов.

С использованием современных программных комплексов расчетным способом с достаточно высокой точностью оценивается НДС трубопровода, но для получения достоверных результатов этого недостаточно. Для подтверждения достоверности результатов расчетов необходимо использовать альтернативный способ измерения напряжений в теле трубы, например магнитошумовым методом.

ЗАО «ДИГАЗ» проводит работы по оценке НДС с учетом фактического пространственного положения трубопровода, измерения напряжений в трубе с использованием приборов «STRESSCAN-500C» или «ИНТРОСКАН», мониторингу НДС с использованием датчиков деформации струнного типа.

Комплексный подход к оценке НДС и мониторинг НДС потенциально опасных участков магистральных трубопроводов позволяет эксплуатировать трубопроводные системы по фактическому техническому состоянию.

На сегодняшний день ЗАО «ДИГАЗ» имеет двухлетний опыт в области оценки и мониторинга НДС на потенциально опасных участках ООО «Каспийгазпром», ООО «Кавказтрансгаз» ОАО «Газпром» и 8 –ми участков магистральных нефтепроводов эксплуатируемых «Черномортранснефть» ОАО «Транснефть».

Помимо локальных работ, выполняемых на потенциально опасных участках магистральных трубопроводов, нашей компанией ведется мониторинг НДС обвязок пылеуловителей, АВО и коллекторов ГПА на двух компрессорных станциях.

По результатам оценки и мониторинга НДС линейной части трубопроводов были выданы рекомендации по изменению прокладки участка нефтепровода, что позволило снизить уровень действующих напряжения в трубопроводе и избежать аварийной ситуации.

А теперь позвольте коротко пояснить вышесказанное на примерах.

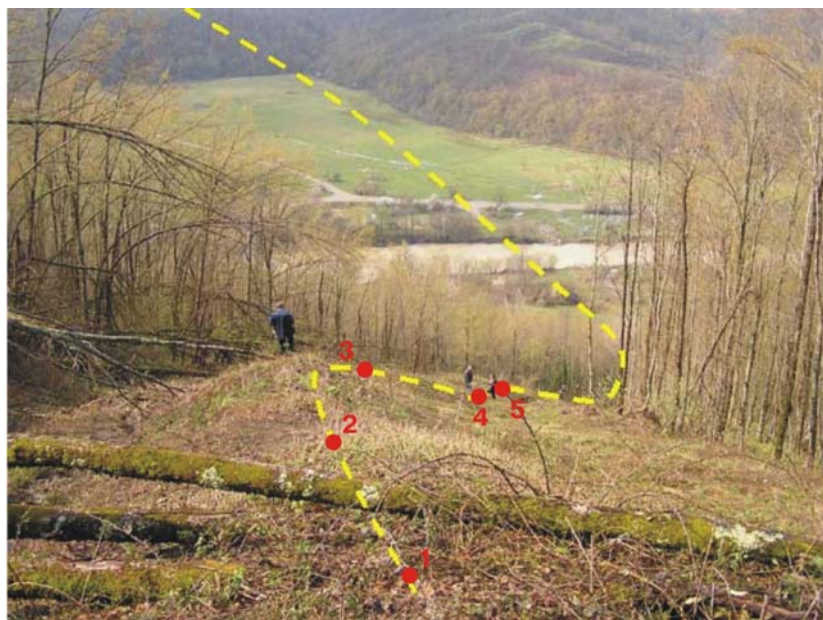


Рисунок 1. Схема прокладки трубопровода и места установки датчиков деформации

несколько поворотов в плане, ниже центральной части выходит на горизонтальную площадку и уходит под дорогу (рисунок 1).

Нефтепровод проложен подземно на оползневом склоне с большим уклоном. Разность высот между вершиной склона и его основанием ~130 метров, наклон к горизонтальной плоскости в центральной и нижней части склона достигает 30°. Оползень движется вдоль

трубопровода. В верхней части склона трубопровод делает

### Предварительный расчет

Предварительный расчет проводился с использованием программного комплекса ANSYS. В качестве нагрузки использовалась сила тяжести, действующая на всю модель и внутреннее давление нефти в трубе. Материал трубы и грунта принят упругим. Максимальные напряжения (95 МПа) наблюдаются в верхней части склона, минимальные (-60 МПа) – у основания склона и перед выходом на горизонтальную площадку. По результатам расчета были определены места установки датчиков деформации.

### Оценка текущего напряженно-деформированного состояния

Для оценки текущего НДС было подготовлено 5 шурфов в зонах концентрации напряжений, измерены величины продольных напряжений и установлены датчики деформаций (5 сечений по 3 датчика, в сечении – на верхней и боковых образующих трубы). Они расположены в местах изгиба трубопровода в верхней части склона (3 сечения) и на промежуточной горизонтальной площадке (2 сечения). На рисунке 2 приведены результаты мониторинга с июля по ноябрь.

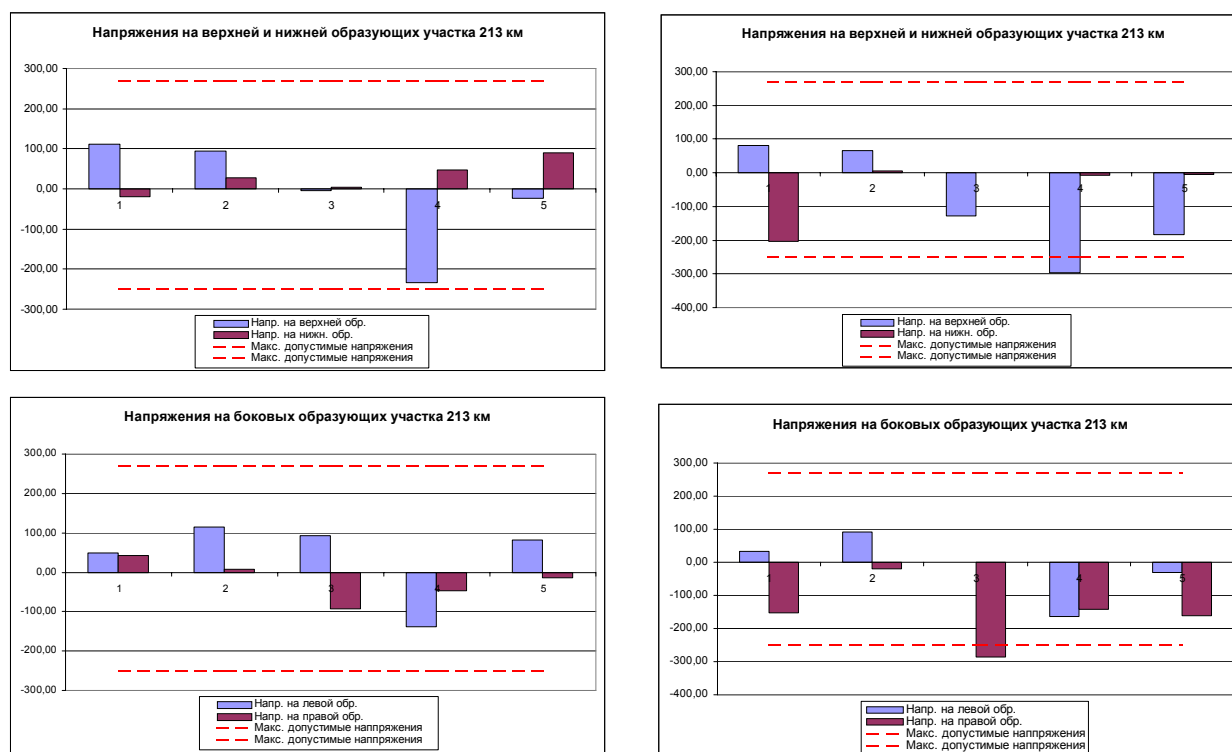


Рисунок 2. Уровни напряжений в трубопроводе в точках контроля.

Для уточненного анализа НДС выполнен расчет с использованием метода конечных элементов. Для расчета использовалась конечно-элементная модель трубопровода подвешенного на пружинках. Это позволяет задавать поперечные перемещения трубы, и, в то же время, избежать высокой жесткости в закреплении. Влияние

грунта задавалось в виде сил, приложенных вдоль трубопровода. Максимальные расчетные напряжения равны 145 МПа (в районе сечения №3), минимальные – -285 МПа (сечение №4). Напряжения сжатия превышают максимально допустимые по СНиП 2.05.06-85.

В районе сечения №3 оползень движется под углом к трубопроводу, что приводит к образованию бокового изгиба в зоне сечения. При совместном воздействии продольного растяжения и бокового изгиба, напряжения в сечении №3 увеличились.

Горизонтальная площадка (сечения №4-5) работает как компенсатор. Она позволяет снизить напряжения на вершине и в основании склона, но при этом сама подвергается влиянию высоких нагрузок. Движение грунта по склону выше площадки воздействует на трубопровод и приводит к его продольному сжатию перед отводом (перед сечением №4). В отводе сжатие переходит в изгиб. Давление грунта изгиб увеличивает. В зоне сечения №5 и далее реализуется изгиб в обратную сторону. После отвода труба работает на растяжение. Подвижки грунта над трубопроводом в районе сечения №5 приведут к увеличению напряжений на верхней образующей (на нижней образующей напряжения, соответственно, уменьшатся).

#### *Выводы и рекомендации*

Напряжения сжатия в сечениях №3 и №4 в ноябре 2004 превысили максимально допустимые по СНиП 2.05.06-85;

Положение грунта на склоне нестабильное. За период июль – ноябрь 2004 года зафиксирован высокий перепад напряжений;

Рекомендуется произвести разгрузку трубопровода в районе сечения №3 и на горизонтальной площадке.

Необходимо проведения комплекса работ по стабилизации грунта на склоне.