

УДК 622.24.053

**АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕГКОСПЛАВНОЙ БУРИЛЬНОЙ ТРУБЫ**

Ю.В. Алхимов, Ф.П. Лобанов, В.Ю. Алхимов\*  
Томский политехнический университет  
\*ООО «НПК Интроскопия», г. Томск  
E-mail: alkhimov@tpu.ru

**Юрий Васильевич Алхимов**, канд. техн. наук, доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: alkhimov@tpu.ru

Область научных интересов: радиационные методы контроля, цифровая радиография, контроль и диагностика бурильного оборудования.

**Федор Петрович Лобанов**, магистрант кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: flobanov@tpu.ru

Область научных интересов: разработка комплексных методик контроля и диагностики бурильного оборудования.

**Василий Юрьевич Алхимов**, канд. техн. наук, технический директор ООО «Научно-производственная компания «Интроскопия»», г. Томск.

E-mail: alkhimov@tpu.ru

Область научных интересов: радиационные методы контроля, разработка комплексных методик контроля и диагностики бурильного оборудования.

Проведен анализ поведения легкосплавной бурильной трубы ЛБТ 147 в условиях повышенных нагрузок в двух случаях: при равномерном износе трубы с остаточной толщиной 8 мм и при наличии небольшой области с остаточной толщиной 6 мм. Во втором случае при повышенном внутреннем давлении в трубе происходит ее разрушение в месте утонения сверх допустимого уровня. Сделан вывод о том, что в практике периодического контроля легкосплавных труб необходимо отбраковывать трубы с остаточной толщиной менее 80 % от исходной толщины.

**Ключевые слова:**

Легкосплавная бурильная труба (ЛБТ), остаточная толщина стенки, критерии отбраковки труб.

В настоящее время при бурении нефтяных и газовых скважин широко применяют легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ) на основе алюминия [1], имеющие много преимуществ перед стальными трубами: они легче (соответственно, меньше вес бурильной колонны) и не подвержены намагничиванию (не влияют на геофизическую аппаратуру). Однако в практике современного бурения, когда длина бурильной колонны может составлять несколько километров, легкосплавные трубы подвергаются нагрузкам, которые приближаются к их предельным значениям. В этих условиях чрезвычайно важна своевременная отбраковка труб с повышенным износом стенки. Диагностика и отбраковка труб производится на основе инструкции по неразрушающему контролю бурового инструмента и оборудования при эксплуатации [2]. Однако практика рассле-

дования аварий бурильных труб показывает, что критерии отбраковки труб по существующей нормативной документации нуждаются в уточнении.

Мы провели анализ легкосплавной трубы ЛБТ 147×11, разрушившейся (локальный разрыв) в процессе бурения при резком повышении давления бурового раствора внутри трубы с 124 до 168 атм. Комплект труб, в который входила разрушившаяся труба, прошел перед этим диагностику. Данная труба была отнесена к третьему классу по остаточной толщине стенки (толщина была не менее 65 % от исходной) по РД [2]. К моменту аварии комплект бурильных труб отработал 352 часа. В соответствии с РД [2] периодичность неразрушающего контроля толщины стенки для труб из алюминиевых сплавов составляет 150 часов при роторном бурении и 300 часов при турбинном, то есть данная труба проработала более срока, установленного РД.

Визуальный осмотр и измерения показали, что под воздействием избыточного внутреннего давления стенка трубы деформировалась, произошло выпучивание и разрыв стенки на небольшом участке. Толщина стенки в зоне разрыва составила 4,0 мм. По результатам измерения геометрических размеров аварийной трубы установлено, что в зоне разрыва произошло увели-

чение наружного диаметра трубы на 2,0...2,5 мм (длина окружности трубы в месте обрыва – 468 мм, длина окружности трубы вне зоны деформации – 460 мм).

Мы предположили, что разрыв произошел вследствие неравномерного износа стенки трубы, в результате чего толщина стенки на небольшом участке уменьшилась по сравнению с телом трубы. В целях проверки этого предположения было решено провести модельные эксперименты по анализу напряжений в стенке трубы и связанных с этим перемещений. Для проведения анализа напряженно-деформированного состояния трубы было рассмотрено два различных варианта геометрии при одинаковых моделях нагружения:

1) толщина трубы равномерна по всей длине и равна 8 мм (рабочая); труба, относящаяся ко второму классу по износу стенки (остаточная толщина 8,8 мм по [2]) и проработавшая период времени до следующей инспекции;

2) труба имеет область перехода по толщине металла от 10 до 6 мм. Размер данной области 200 × 500 мм (дефектная труба); труба, имеющая неравномерный износ стенки и отнесенная ранее к третьему классу по износу стенки (остаточная толщина 7,1 мм по [2]) и проработавшая период времени до следующей инспекции.

Физические параметры производства труб ЛБТ 147x11 описываются в [3], модуль Юнга  $E=71 \cdot 10^{10}$  и коэффициент Пуассона 0,33.

Расчет трубы проводился в программном комплексе ANSYS методом конечных элементов и был выполнен следующим образом: по всей поверхности внутреннего объема было распределено давление в 170 атм. (17,17 МПа). Один край трубы жестко зафиксирован по плоскости перпендикулярной оси трубы. Материал трубы – алюминий Д16, длина анализируемого отрезка 2000 мм, внешний диаметр трубы 147 мм, внутренний – 127 мм. Анализ проходил на выявление предельно нагруженных участков и сравнение полученных напряжений с допустимым пределом текучести, приведенным в [4].

Рассмотрим второй вариант.

На рис. 1 представлена геометрическая модель трубы с дефектом. Выделены кромки «дефекта» для более точного разбиения на конечные элементы.

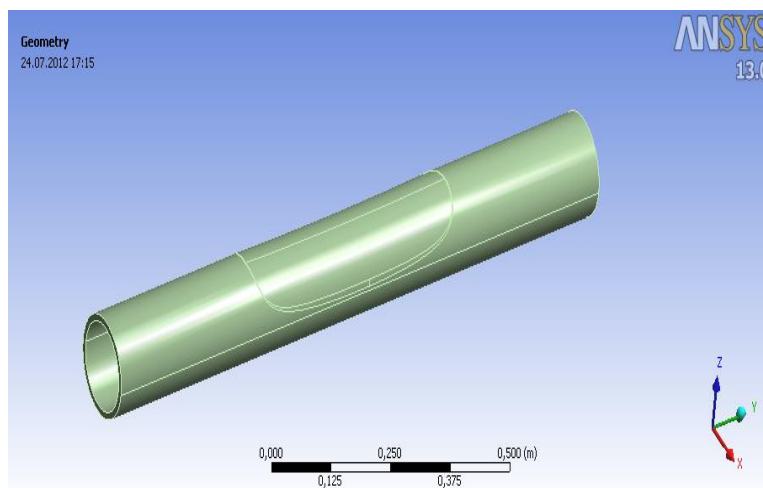


Рис. 1. Вид трубы в геометрическом редакторе

Было произведено разбиение на тетраэдные элементы (рис. 2) для лучшей аппроксимации. Данный подход обуславливается изгибами и неровностью переходной поверхности. Для более точного расчета размер элемента был принят равным 0,005 м.

Далее, согласно условиям нагружения, была составлена модель задачи. На рис. 3 наглядно представлены: А – равномерно распределенное давление внутри трубы (поверхность, выделенная красным цветом), В – жесткое защемление трубы (поверхность синего цвета). Расчет проводился при температуре 55 °С. Продольное растяжение и сжатие трубы не учитывалось.

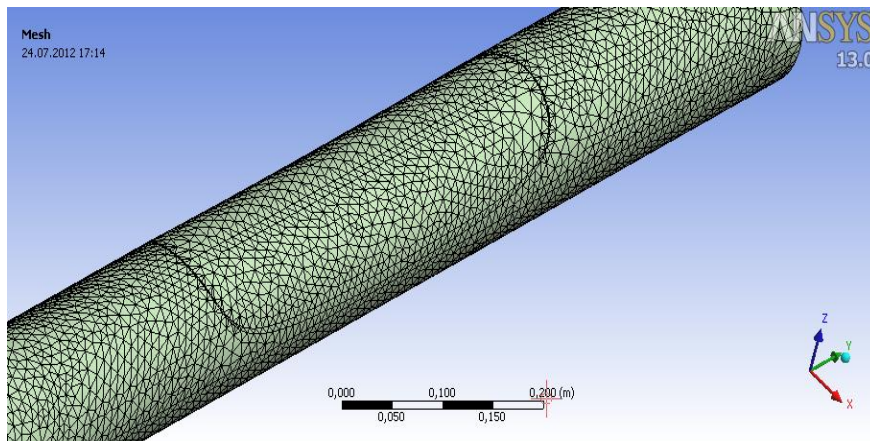


Рис. 2. Разбиение образца на конечные элементы

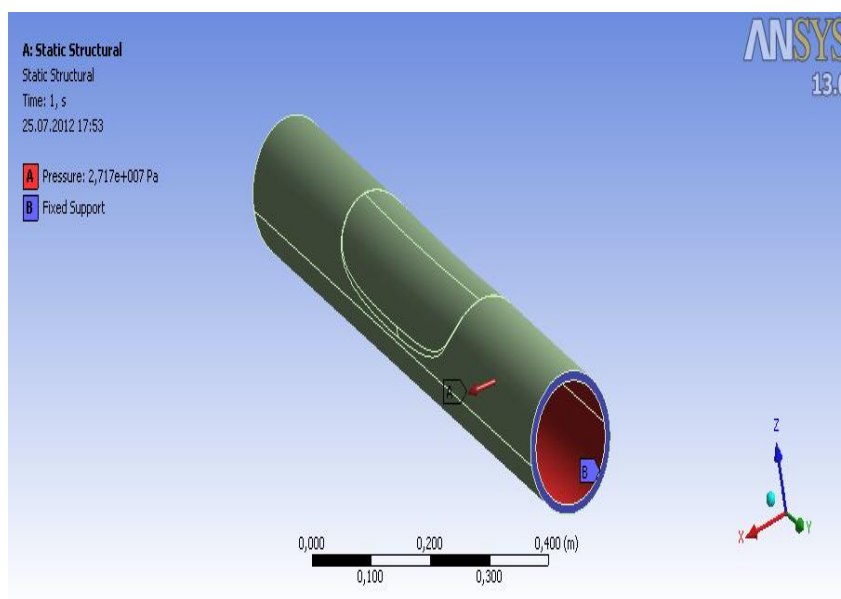


Рис. 3. Модель нагружения трубы

На рис. 4 приведена диаграмма растяжения алюминия Д16 [4]. Согласно этой диаграмме напряжения могут достигать 400 МПа. При этом с повышением температуры характеристики прочности значительно уменьшаются (рис. 5).

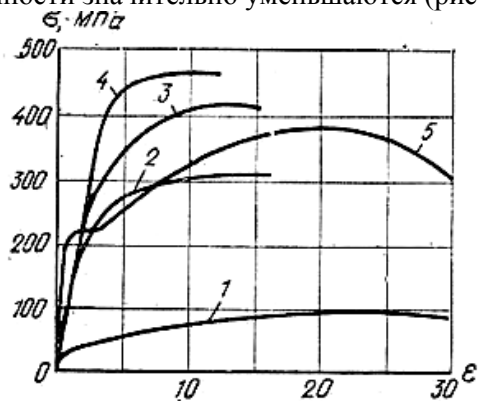


Рис. 4. Диаграмма растяжения алюминия Д16 (4)

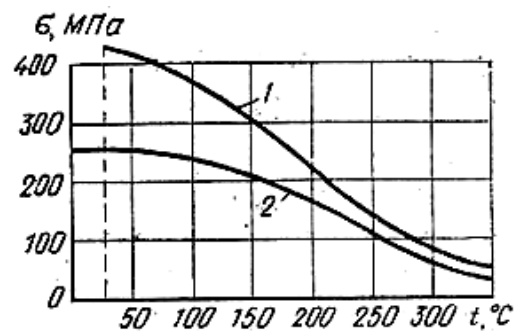


Рис. 5. Диаграмма прочностных характеристик алюминия Д16 (2) в зависимости от температуры

Анализ решения задачи (рис. 6) показывает напряжения явно превышающие допустимые. Напряжение на участке дефекта порядка 340 МПа (допустимое 250...270). Напряжения приведены по Мизесу. Красным цветом обозначена зона максимальных значений. Понятно, что материал с такой толщиной не выдерживает заданной нагрузки. Нагружение выходит из зоны упругой деформации и попадает в зону пластичности, что обязательно приведет к деформации металла (вытягивание), уменьшению толщины и, как следствие, к разрушению. Разрушение для данного нагружения характерно разрывом по всей длине образца.

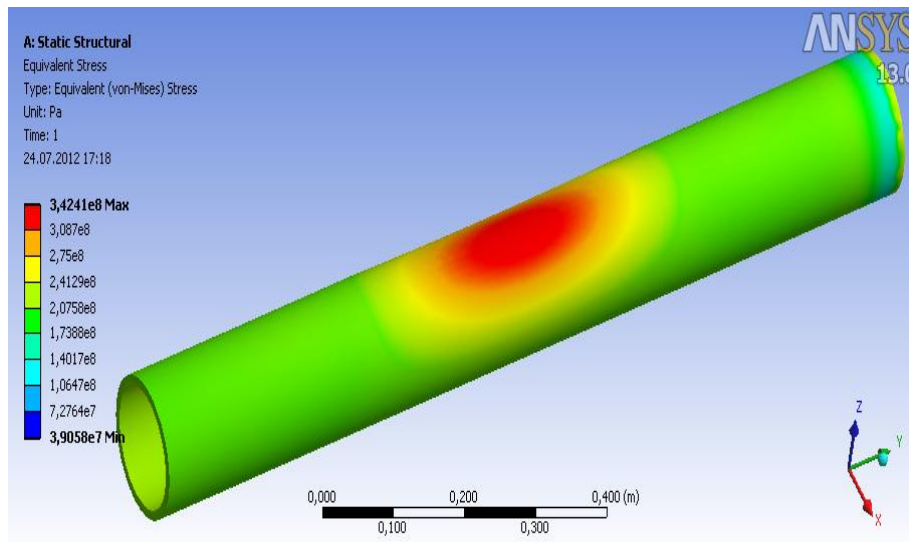


Рис. 6. Вывод решений о нагружении трубы

В зоне утонения стенки происходит «вытягивание» металла по радиусу перпендикулярно зоне дефекта (рис. 7, 8). Происходит уменьшение толщины стенки трубы. По расчетам на деформации методом конечных элементов получаем уменьшение стенки на 2 мм. То есть наша модель достаточно точно описывает поведение трубы при аварии.

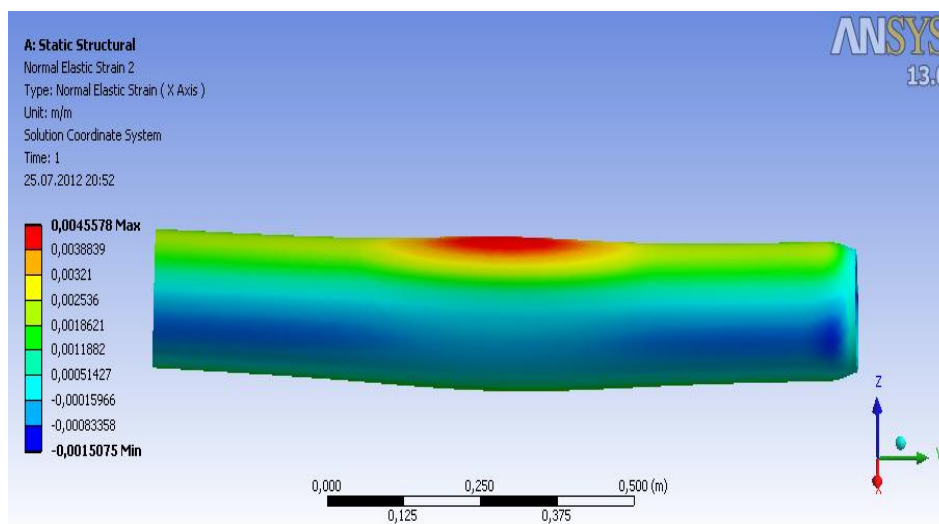


Рис. 7. Остаточная деформация дефектной трубы, вид сбоку

Рассмотрим первый вариант.

В этом варианте нагружение, соответствующее второму варианту, прикладывается к трубе с толщиной, равной по всей длине 8 мм.

Анализ результатов (рис. 9) показывает максимальное напряжение на длине трубы, равное 160 МПа. Такая величина напряжения соответствует рабочему диапазону для данной детали.

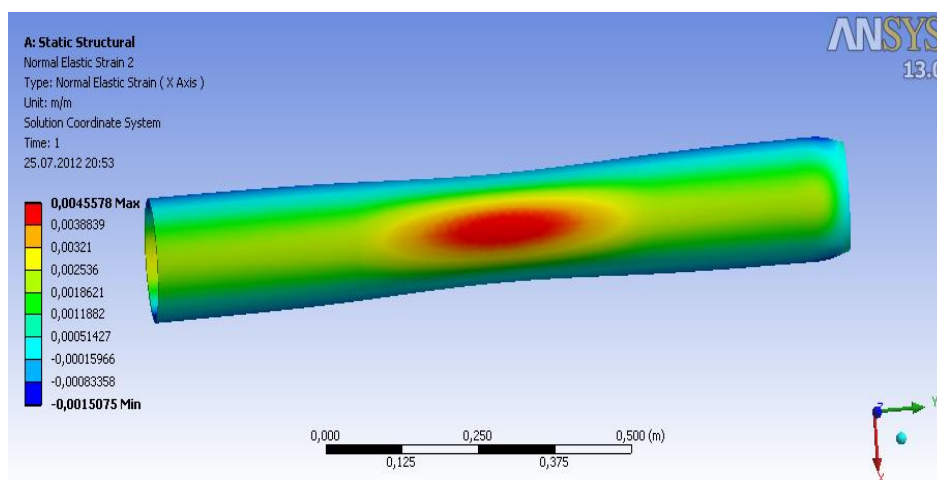


Рис. 8. Остаточная деформация дефектной трубы, вид сверху

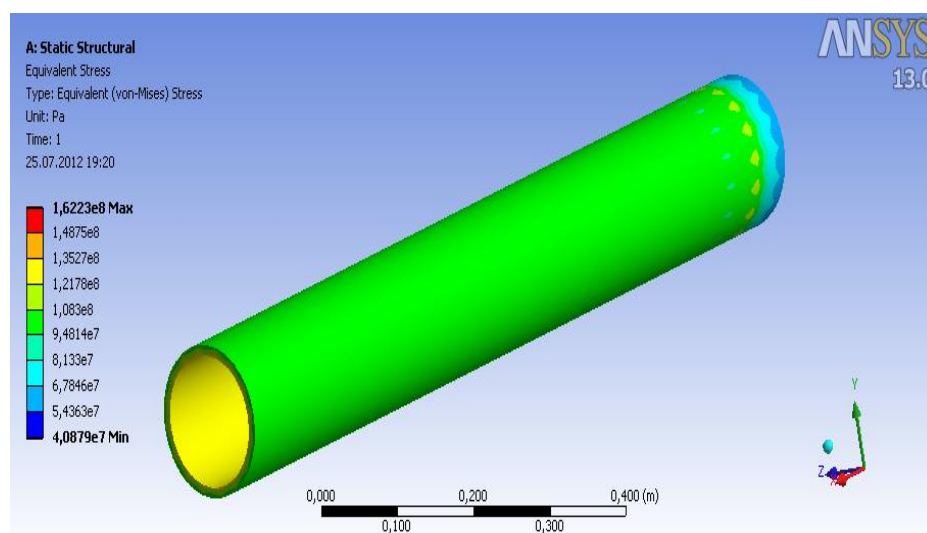


Рис. 9. Напряжения по Мизесу, полученные в ходе решения задачи по второму варианту

Результаты нашего модельного эксперимента показывают, что в дефектной трубе остаточная толщина стенки в 6 мм является критической и способствует разрушению материала. При заданной нагрузке в 170 атм. толщина в зоне дефекта, равная 6 мм, не удовлетворяет напряжениям зоны упругих деформаций (255...275 МПа), материал в этой зоне начинает работать в зоне пластических деформаций, тем самым изменяются геометрические размеры, происходит деформация металла (вытягивание), уменьшение толщины и, как следствие, разрушение металла.

Для предупреждения подобных аварий в дальнейшем считаем необходимым проводить инспекцию буровых труб в сроки, приведенные в [2], и выводить из работы трубы, относящиеся к третьему классу по износу стенки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: учеб. для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – С. 24.

2. РД 41-01-25-89 Инструкция. Неразрушающий контроль бурового инструмента и оборудования при эксплуатации. Организация и порядок проведения. – Львов. – 1990. – С. 13.
3. ГОСТ 23786-79. Трубы бурильные из алюминиевых сплавов. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 22 с.
4. ГОСТ 18482-79. Трубы прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2005. – 27 с.

Поступила 01.07.2013 г.