

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРИЛЬНОЙ ТРУБЫ НА УСТАЛОСТНЫЙ ИЗЛОМ

© 2012 С.О. Шестеркин, В.Л. Папировский, В.Б. Опарин

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 06.03.2012

В процессе эксплуатации бурильных труб возникают разрушения, связанные с усталостным изломом в переходной зоне между телом трубы и высадкой. Здесь возникает концентрация напряжений в результате изменения ее толщины. Анализ формы переходной зоны проводился методом конечных элементов. Полученные результаты показывают, что коэффициент концентрации напряжений в месте перехода тела трубы в высадку зависит от геометрических параметров зоны перехода.

*Ключевые слова:* моделирование, бурильные трубы, анализ повреждений, оптимизация конструкции, усталостная прочность

Прочность бурильной колонны напрямую определяет режимы бурения скважин. Так как комплектом бурильных труб бурится не одна скважина, то в ходе их длительной эксплуатации в теле бурильных труб имеют место разрушения, связанные с усталостным изломом в переходной зоне между телом трубы и высаженной частью. Именно здесь в результате изменения толщины стенки трубы возникает зона концентрации напряжений (рис. 1) [1] и происходит ее интенсивное разрушение. Бурильные трубы в России изготавливаются по ГОСТу 50278-92, однако там нет четких требований к форме переходной зоны.



**Рис. 1.** Разрушение бурильных труб в зоне концентрации напряжений

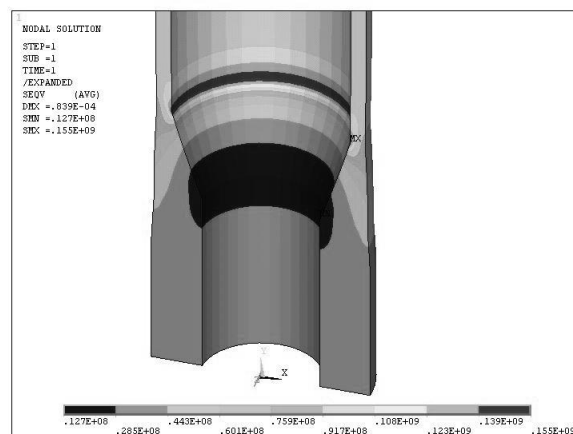
Пункт 2.3. ГОСТа [2] гласит, что: «поверхность высаженной части трубы и место перехода её к части с толщиной стенки  $S$  не должны иметь резких уступов». Была поставлена

*Шестёркин Сергей Олегович, аспирант E-mail: ra4hbe@list.ru*

*Папировский Владимир Леонидович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов». E-mail: vladpapir@mail.ru*

*Опарин Владимир Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов». E-mail: oparin\_v\_b@mail.ru*

Пункт 2.3. ГОСТа [2] гласит, что: «поверхность высаженной части трубы и место перехода её к части с толщиной стенки  $S$  не должны иметь резких уступов». Была поставлена задача изучить влияние формы переходной зоны на прочностные характеристики наиболее широко применяемых в данный момент бурильных труб с приварными замками: ПК 127Х9, ПК 127Х13, ПН 114Х9, ПН 114Х11 группы прочности Р, а также бурильные трубы ПК 127Х9, ПК 127Х13, ПН 114Х9, ПН 114Х11 группы прочности Е.



**Рис. 2.** Характерное распределение напряжений в переходной зоне между телом трубы и высадкой. (Растягивающие напряжения в теле трубы 100 МПа. В зоне концентрации напряжений – 155 МПа. Коэффициент концентрации напряжений  $K=1,55$ )

Анализ формы переходной зоны труб проводился методом конечных элементов. Приложив растягивающее усилие вдоль продольной оси трубы, создающее в теле трубы напряжение растяжения в 100 МПа, была получена картина напряженно-деформированного состояния (НДС) (рис. 2). Затем была

предпринята попытка снижения коэффициента концентрации напряжений путем внесения изменений в геометрические параметры переходной зоны бурильной трубы (рис. 3). Для дальнейшего анализа была выбрана труба с наивысшим показателем коэффициента концентрации напряжений (труба ПК 127x9 Р) и методом конечных элементов проведен анализ с различными параметрами угла  $\alpha$ , длиной переходной части  $L$ , радиуса скругления переходной зоны  $R$  (вводимый нами параметр), величины высадки  $\delta$ . Результаты анализов представлены в таблицах 1-4.

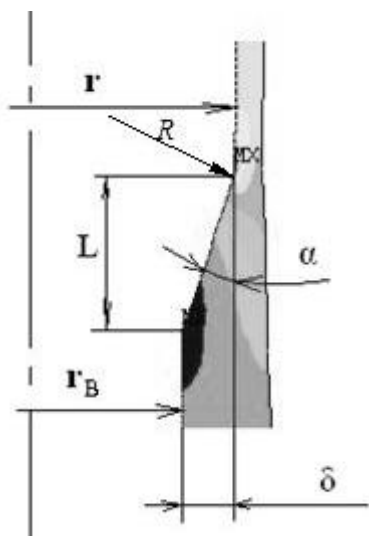


Рис. 3. Обозначения, принятые для описания формы переходной зоны

По представленным результатам видно, что введенный нами параметр – радиус скругления переходной зоны от тела трубы к высаженной части и ее толщина – оказывает существенное влияние на коэффициент концентрации напряжений.

Таблица 1. Значения коэффициентов концентрации напряжений  $K$  в зависимости от величины угла  $\alpha$

| Обозначение типоразмера бурильной трубы | Угол $\alpha^\circ$ | Коэффициент концентрации напряжений $K$ |
|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|
| ПК 127x9 Е                              | 7,4579              | 1,27                                    |
| ПК 127x13 Е                             | 7,125               | 1,25                                    |
| ПК 127x9 Р                              | 20,85               | 1,55                                    |
| ПК 127x13 Р                             | 10,265              | 1,32                                    |
| ПН 114x9 Е                              | 1,071               | 1,07                                    |
| ПН 114x11 Е                             | 0,2256              | 1,03                                    |
| ПН 114x9 Р                              | 4,4461              | 1,13                                    |
| ПН 114x11 Р                             | 8,894               | 1,26                                    |

Поскольку нами анализируются значения коэффициента концентрации напряжений в трубе ПК127x9 Р, имеющей наибольшую внутреннюю высадку, результаты, приведенные в

таблице 4, могут быть использованы и для других анализируемых труб.

Таблица 2. Значения коэффициентов концентрации напряжений  $K$  в зависимости от величины угла  $\alpha$  и длиной переходной части  $L$

| Угол $\alpha^\circ$ | Длина переходной части $L$ , м | Коэффициент концентрации напряжений $K$ |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| 0                   | $\infty$                       | 1                                       |
| 15                  | 0,072215                       | 1,45                                    |
| 30                  | 0,033515                       | 1,65                                    |
| 45                  | 0,01935                        | 1,71                                    |
| 60                  | 0,01117                        | 1,69                                    |
| 75                  | 0,00518                        | 1,67                                    |
| 90                  | 0                              | 1,61                                    |

Однако полученные коэффициенты концентрации напряжений являются теоретическими и их необходимо перевести в реальные с учетом чувствительности материалов к концентраторам напряжений. Поскольку для высадок бурильных труб реальных значений концентраторов напряжений нет, используем данные для концентраторов напряжений в ступенчатых валах и осей с галтелью [3].

Таблица 3. Значения коэффициентов концентрации напряжений  $K$  в зависимости от величины радиуса скругления  $R$  для угла  $\alpha=45^\circ$  (наихудший случай)

| $R$ , м | 0    | 0,01 | 0,033 | 0,1  | 0,33 | 1    |
|---------|------|------|-------|------|------|------|
| $K$     | 1,71 | 1,61 | 1,46  | 1,25 | 1,08 | 1,02 |

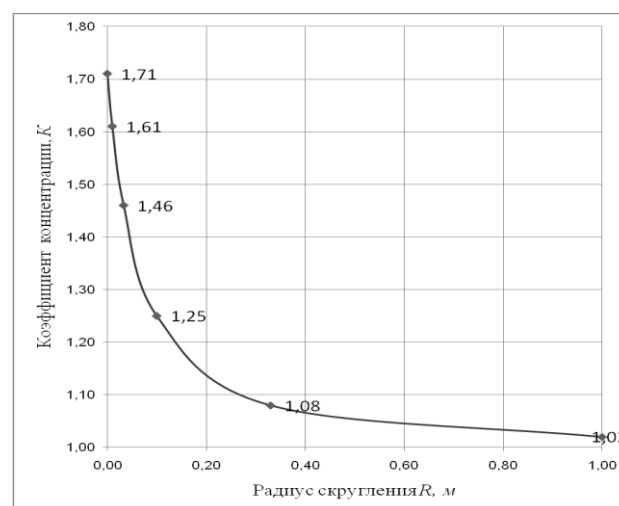


Рис. 4. Влияние вводимого параметра – радиуса скругления на коэффициент концентрации напряжений в переходной зоне, графическое представление данных таблицы 3

Смоделировав галтель с параметрами близкими параметрам высадки, были получены теоретические и фактические значения концентратора напряжений для разных материалов.

Используя представленную методику расчета [3], был рассчитан эффективный коэффициент концентрации напряжений для труб с различной группой прочности (таблица 5).

**Таблица 4.** Значения коэффициента концентрации напряжений  $K$  в зависимости от радиуса скругления  $R$  и величины высадки  $\delta$  (наихудший случай  $\alpha=45^\circ$ )

| $R, \text{ м}$ | Коэффициент концентрации напряжений $K$ |                   |                  |
|----------------|-----------------------------------------|-------------------|------------------|
|                | $\delta=19,35$<br>мм                    | $\delta=10$<br>мм | $\delta=5$<br>мм |
| 0              | 1,71                                    | 1,64              | 1,51             |
| 0,01           | 1,61                                    | 1,60              | 1,48             |
| 0,033          | 1,46                                    | 1,42              | 1,34             |
| 0,1            | 1,25                                    | 1,25              | 1,22             |
| 0,33           | 1,08                                    | 1,08              | 1,09             |
| 1              | 1,02                                    | 1,02              | 1,02             |

**Таблица 5.** Значения эффективного коэффициента концентрации напряжений  $K_\sigma$  в переходной зоне от тела трубы к высадке, для сталей с различным  $\sigma_b$

| Радиус скругления  | Эффективный коэффициент концентрации напряжений, $K_\sigma$ |                       |                        |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
|                    | $\sigma_b=600$<br>МПа                                       | $\sigma_b=800$<br>МПа | $\sigma_b=1000$<br>МПа |
| $R=0 \text{ м}$    | 1,573                                                       | 1,699                 | 1,825                  |
| $R=0,33 \text{ м}$ | 1,065                                                       | 1,079                 | 1,093                  |

Обобщенный коэффициент снижения усталостной прочности трубы – это коэффициент, учитывающий концентрацию напряжения, чистоту поверхности, масштабный фактор и поверхностную обработку детали. Результаты расчетов сведены в табл. 6.

## INFLUENCE OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE DRILLING PIPE ON FATIGUE FRACTURE

© 2012 S.O. Shesterkin, V.L. Papirovskiy, V.B. Oparin  
Samara State Technical University

In exploitation the drilling pipes there are destructions connected with fatigue fracture in the transition zone between body of a pipe and landing part. There is a stress concentration as a result of change of its thickness. The analysis of form of the transition zone was carried out by finite element method. The received results show that the factor of stress concentration in a place of transition of pipe body in landing part depends on geometrical parameters of transition zone.

Key words: *modeling, drilling pipes, damage analysis, construction optimization, fatigue strength*

**Таблица 6.** Значения обобщенного коэффициента снижения усталостной прочности трубы ( $K_{\sigma_d}$ ) для сталей с различным  $\sigma_b$

| Радиус скругления  | Обобщенный коэффициент снижения усталостной прочности ( $K_{\sigma_d}$ ) |                       |                        |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
|                    | $\sigma_b=600$<br>МПа                                                    | $\sigma_b=800$<br>МПа | $\sigma_b=1000$<br>МПа |
| $R=0 \text{ м}$    | 2,873                                                                    | 3,899                 | 4,925                  |
| $R=0,33 \text{ м}$ | 2,365                                                                    | 3,279                 | 4,193                  |

Как показывают результаты, приведенные в таблице 6, при изготовлении труб по ГОСТ 50278-92, но с радиусом скругления переходной зоны в 0,33 м возможно увеличение усталостной прочности трубы на 15-21% (для различных типоразмеров труб и групп прочности материала).

**Вывод:** следует внести изменений в ГОСТ к форме переходной зоны от тела буровой трубы к высаженной части для повышения и стабилизации прочностных параметров буровых труб.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Liu Yonggang, Simulation Technology in Failure Analysis of Drill Pipe, 2011 SREE Conference on Engineering Modeling and Simulation
2. ГОСТ Р 50278-92. Трубы буровые с приварными замками. – М.: Ид-во стандартов, 1992. 21 с.
3. Саркисов, В.Г. Расчет усталостной прочности деталей бурового и нефтепромыслового оборудования: Метод. указ. к выполнению курсовых и квалификационных работ и проектов / В.Г. Саркисов, В.П. Папировский. – Самара, Самар. гос.техн. ун-т, 1966. 30 с.

Oleg Shesterkin, Post-graduate Student. E-mail: ra4hbe@list.ru

Vladimir Papirovskiy, Candidate of Technical Sciences, Professor at the Department

“Machines and Equipment of Oil and Gas Fields”. E-mail: vladpapur@mail.ru

Vladimir Oparin, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department

“Machines and Equipment of Oil and Gas Fields”. E-mail: oparin\_v\_b@mail.ru