

УДК 622.276

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ С ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕЗЬБОЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

В.Л. Папировский

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрены вопросы использования метода конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния резьбового соединения труб. Построена модель резьбового соединения обсадной трубы диаметром 168 мм с толщиной стенки 8 мм. В результате моделирования построена зависимость перемещения торца трубы от усилия растяжения. Проведено сравнение результатов с традиционным методом расчета усилия страгивания. Также построено распределение величины продольной силы по виткам резьбы. В результате показано, что при свинчивании труб с номинальным натягом из-за пластических деформаций соединение сохраняет свои свойства только при однократном свинчивании. Кроме того, установлено, что предельная несущая способность резьбового соединения выше, чем величина, рассчитанная по формуле Яковлева – Шумилова.

Ключевые слова: обсадные трубы, соединение труб, страгивающая нагрузка.

При проектировании обсадных колонн нефтяных и газовых скважин одним из основных является расчет на растяжение под действием собственного веса колонны. В этом расчете для труб с треугольной резьбой предельной считается так называемая «страгивающая нагрузка», при которой в наиболее опасном сечении резьбового соединения напряжения достигают предела текучести или происходит смещение (страгивание) ниток резьбы [1].

Определение страгивающей нагрузки P_{cm} (в кН) производят по формуле Яковлева – Шумилова

$$P_{cm} = \frac{\pi D_c b \sigma_T 10^{-3}}{1 + \eta \frac{D_c}{2l} \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi)}, \quad (1)$$

где D_c – средний диаметр сечения по впадине полного витка резьбы (в основной плоскости), мм;

$$D_c = D - 2h - b; \quad (2)$$

где D – номинальный диаметр трубы, мм; H – глубина резьбы, мм; b – толщина стенки трубы по впадине того же витка, мм; σ_T – предел текучести материала трубы, МПа; α – угол профиля, градус; φ – угол трения, градус; l – длина резьбы с полным профилем (до основной плоскости), мм; η – коэффициент разгрузки; s – толщина стенки трубы, мм;

$$\eta = \frac{b}{b + s}. \quad (3)$$

Допускаемая растягивающая нагрузка определяется выражением

Владимир Леонидович Папировский (к.т.н.), профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

$$[P_p] = \frac{P_{cm}}{n_3}, \quad (4)$$

где n_3 – коэффициент запаса прочности, устанавливаемый в пределах 1,15–1,45 в зависимости от диаметра и длины обсадной колонны.

Эта зависимость заложена в нормативные расчетные документы отрасли, хотя она не лишена недостатков. В ней не учтены напряжения, возникающие в результате свинчивания соединения с натягом, и некоторые другие факторы.

Развитие вычислительной техники и программного обеспечения позволило более глубоко исследовать напряженно-деформированное состояние (НДС), несущую способность и герметичность этого соединения.

В настоящей работе приведены результаты исследования НДС методом конечных элементов [2-6]. При этом создается виртуальная модель резьбового соединения со свойствами материала, соответствующими свойствам реального объекта, и приложением нагрузок и других воздействий, соответствующих реальным воздействиям. В результате воздействий конструкция приобретает напряженно-деформированное состояние, соответствующее НДС реального объекта. Точность решения отвечает требованиям инженерного расчета. Таким образом, расчет методом конечных элементов представляет собой выполнение виртуального эксперимента, выполняемого в компьютере.

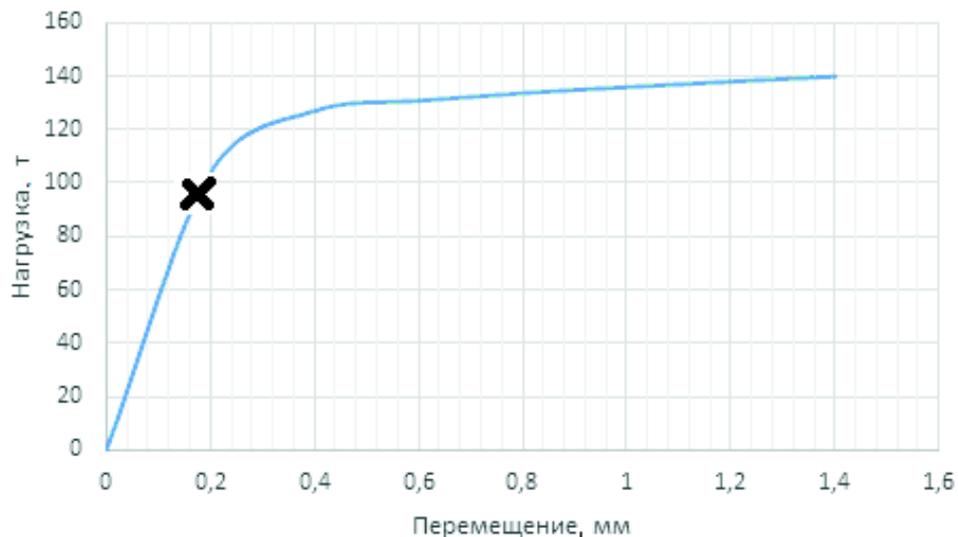


Рис. 1. График зависимости *перемещение торца трубы – усилие растяжения* (крестиком помечено усилие, вычисленное по формуле Яковлева – Шумилова)

Для выполнения эксперимента построена модель резьбового соединения с короткой треугольной резьбой обсадной трубы по ГОСТ 632-80. Труба диаметром 168 мм с толщиной стенки 8 мм выполнена из стали группы прочности D. Страгивающая нагрузка, рассчитанная по формуле Яковлева – Шумилова, составляет 951 кН [1]. Соединение свинчено с номинальным натягом – осевой натяг 9,5 мм или 3 оборота после свинчивания от руки. Радиальный натяг на одну сторону 0,3 мм. В результате создания натяга в соединении обе детали деформируются.

Анализ показал, что напряжения в ниппеле превысили предел текучести, т. е. имеют место пластические деформации. Результаты расчета приведены в табл. 1

и на рис. 1. По формуле Яковлева – Шумилова для данного случая усилие срагивания резьбы составляет 96 т.

В табл. 2 и на рис. 2 и 3 представлено изменение продольного усилия по виткам ниппеля и нагрузка на каждый виток при приложении максимального растягивающего усилия.

Таблица 1

Перемещения и соответствующие им нагрузки в соединении

Перемещение, мм	Нагрузка, т
0	0
0,2	103,9
0,4	127,0
0,6	130,8
0,8	133,7
1,0	135,9
1,2	138,0
1,4	139,9

Таблица 2

Изменение продольной силы по виткам резьбы

№ витка ниппеля с полным профилем	Продольная сила, Н	Примечание
1	$0,13988 \cdot 10^7$	
2	$0,13984 \cdot 10^7$	
3	$0,13988 \cdot 10^7$	Перед первым нагруженным витком
4	$0,11906 \cdot 10^7$	После первого нагруженного витка
5	$0,10388 \cdot 10^7$	
6	$0,93139 \cdot 10^6$	
7	$0,87274 \cdot 10^6$	
8	$0,81896 \cdot 10^6$	
9	$0,76243 \cdot 10^6$	
10	$0,70631 \cdot 10^6$	
11	$0,64771 \cdot 10^6$	
12	$0,58562 \cdot 10^6$	
13	$0,52028 \cdot 10^6$	
14	$0,45196 \cdot 10^6$	
15	$0,38124 \cdot 10^6$	
16	$0,30942 \cdot 10^6$	
17	$0,23848 \cdot 10^6$	
18	$0,17094 \cdot 10^6$	
19	$0,10943 \cdot 10^6$	
20	54611,0	
21	0,00	

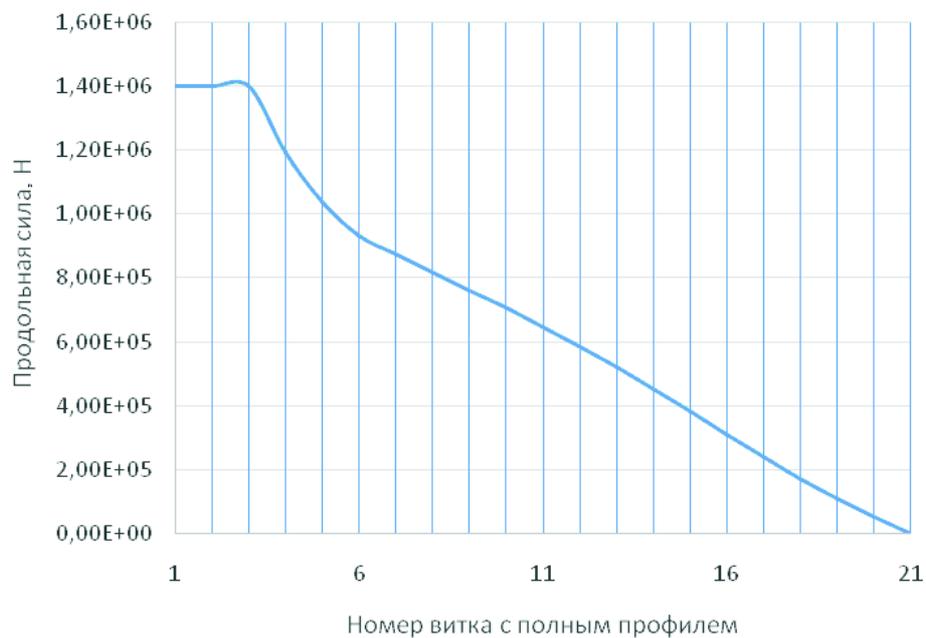


Рис. 2. Изменение продольной силы по виткам резьбы

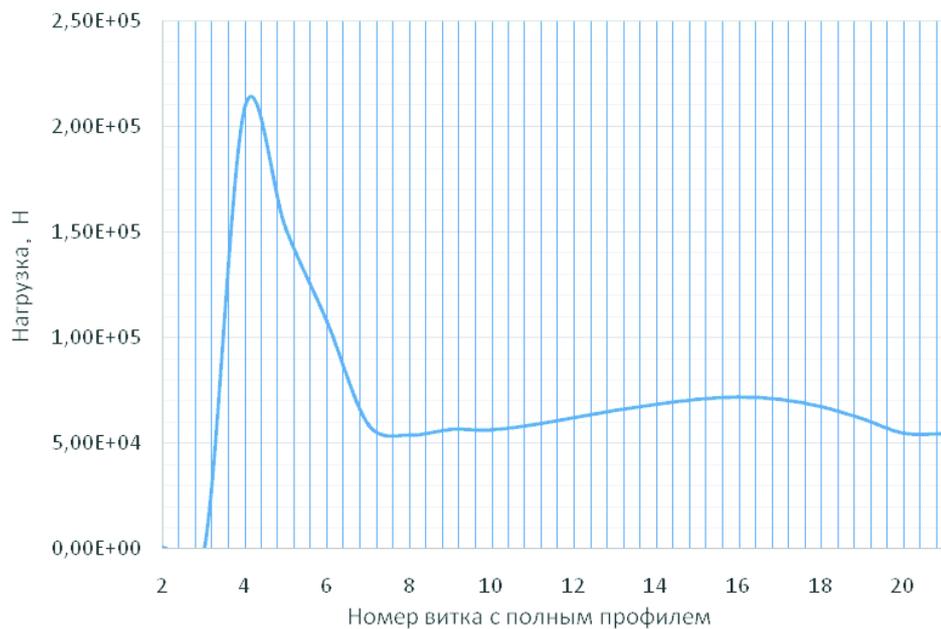


Рис. 3. Нагрузка на виток

Анализ результатов моделирования показал, что при растягивающей силе 96 т (что соответствует сдвигающей нагрузке по Яковлеву – Шумилову) давление на нижней (не рабочей) контактной поверхности витка ниппеля практически отсутствует, а при растягивающей нагрузке 110 т его вообще нет.

Основные выводы:

- при свинчивании с номинальным натягом ниппельная часть резьбового соединения подвержена необратимым пластическим деформациям; это подтверждает положение о том, что данное соединение сохраняет все свойства только при однократном свинчивании;
- расчет по формуле Яковлева – Шумилова определяет усилие, выше которого происходит смещение контактных поверхностей витков ниппеля относительно витков муфты и раскрывается зазор на нерабочей поверхности витка;
- предельная несущая способность резьбового соединения выше рассчитанной по формуле Яковлева – Шумилова (в данном примере в $140/96=1,46$ раза).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айзупте Э.А. Трубы нефтяного сортамента: конструкция и расчет: Учеб. пособие для вузов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2004. – 300 с., ил.
2. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров. – М: Машиностроение-1, 2004. – 510 с., ил.
3. Папировский В.Л., Шестеркин С.О., Опарин В.Б. Анализ усталостного излома в бурильных трубах // Бурение и нефть. – 2012. – № 3. – С. 30-31.
4. Шестеркин С.О., Опарин В.Б., Папировский В.Л. Углубленный анализ усталостного излома в бурильных трубах и метод его решения // Бурение и нефть. – 2013. – № 1. – С. 32-33.
5. Папировский В.Л., Опарин В.Б., Елфимова И.Д. Анализ уплотнений обсадных труб премиум-класса // Бурение и нефть. – 2014. – № 4. – С. 28-29.
6. Григорян Л.Г., Папировский В.Л., Игнатенков Ю.И., Иваняков С.В., Коноваленко Д.В. Совершенствование конструкции узла ввода газа для снижения температурных напряжений // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2014. – № 2 (42). – С. 174-178.

Статья поступила в редакцию 2 октября 2015 г.

STRESS-STRAIN STATE OF THE PIPE THREADED CONNECTION WITH TRIANGULAR THREAD UNDER STRETCHING

V.L. Papirovsky

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

This paper is devoted to using of the finite element method for stress-strain state of the pipe threaded connection. A model of casing threaded connection (diameter 168 mm, thickness 8 mm) is created. A dependence of the butt-end move from the stretching force is determined. A comparison of the results with the traditional calculation method is followed. Also dependence of linear force from the number of thread is determined. It is achieved that pipe connection retains its properties only after single screwing. Also it is determined that the connection bearing strength is greater than the value determined by Yakovlev-Shumilov formula.

Keywords: casing, pipe connection, ultimate joint strength.