

УДК 622.24

А.А. Кожевников, докт.техн.наук; **А.К. Судаков**; **А.А. Пашенко**, кандидаты технических наук; **А.Ф. Камышацкий**; **В.В. Прийма**,

Национальный горный университет, г. Днепрпетровск, Украина

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК В СОЕДИНЕНИЯХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

The capability of computer-aided engineering is considered for the computer imitation of different components of drill stem on-load.

Бурильные трубы являются неотъемлемой частью бурового оборудования и служат для спуска бурового снаряда в скважину, обеспечения промывки или продувки ее забоя, передачи вращения породоразрушающему инструменту с поверхности от вращателя станка, передачи осевой нагрузки на забой скважины, подъема бурового снаряда из скважины, транспортировки керна, съемных керноприемников и ликвидации аварий. Соответственно они испытывают в скважине различные напряжения: во время спуска бурового снаряда подвергаются растяжению (особенно в верхней части колонны); в процессе бурения одновременно подвергаются скручиванию, изгибу, растяжению в верхней и сжатию в нижней части колонны; вибрационным нагрузкам; при подъеме бурового снаряда, особенно в случае заклинивания его в скважине, испытывают большие растягивающие усилия, иногда приводящие к обрыву бурильных труб и аварий. Кроме того, в процессе вращения бурильные трубы и их соединения изнашиваются по наружной поверхности.

В связи с разнообразием предлагаемых типов бурильных труб и их соединений, возникает задача быстрого и точного их выбора под условия выполняемых работ. Эту задачу можно решить с помощью аналитических расчетов или компьютерного моделирования нагрузок во всей бурильной колонне или в «слабых» ее участках.

Методы аналитических расчетов громоздки и трудоемки - для расчета каждого нового элемента необходимо по-новому составлять его математическое описание.

Для компьютерного твердотельного моделирования используют системы автоматизированного проектирования и инженерного анализа (САЕ).

САЕ (англ. Computer-aided engineering) – общее название для программ или программных пакетов, предназначенных для инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов. Расчетная часть пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений (конечных элементов, объемов, разностей и др.).

Современные системы автоматизации инженерных расчетов (САЕ) применяют совместно с САД-системами (геометрическое проектирование изделия) (зачастую интегрируются в них, в этом случае получаются гибридные САД/САЕ-системы).

В русском языке эти системы называют САПР, подразумевая САД/САМ/САЕ.

Наиболее распространены следующие САЕ-системы: ANSYS – универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором; MSC.Nastran – система КЭ анализа с пре-/постпроцессором MSC.Patran и др.

Для моделирование нагрузок в соединениях бурильных труб была выбрана средняя по уровню система SolidWorks как наиболее известная и распространенная в нашей стране.

Пакет SolidWorks (САД) служит программной платформой для различных приложений (САЕ). Таким образом, в окне этой программы можно запускать совместимые приложения, разработанные корпорацией «SolidWorks» как надстройки для SolidWorks. Некоторые программы, работающие на платформе SolidWorks: COSMOS/Works – инженерные расчеты;

COSMOS/Motion – динамический анализ механизмов; COSMOS/Flow – модуль для анализа поведения жидкостей и газов в широком диапазоне чисел Рейнольдса и т. д. [1].

В качестве базового элемента для расчетов было взято муфто-замковое соединение ЗН-80 с бурильными трубами 63,5 мм (рис. 1). Поведение данного элемента было промоделировано под следующими нагрузками: 10000 и 50000 Н на растяжение и сжатие. В качестве материала бурильных труб была взята легированная сталь со следующими параметрами: модуль упругости – $2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м²; коэффициент Пуассона – 0.28; массовая плотность – 7700 кг/м³; предел текучести – $6,2042 \cdot 10^8$ Н/м².

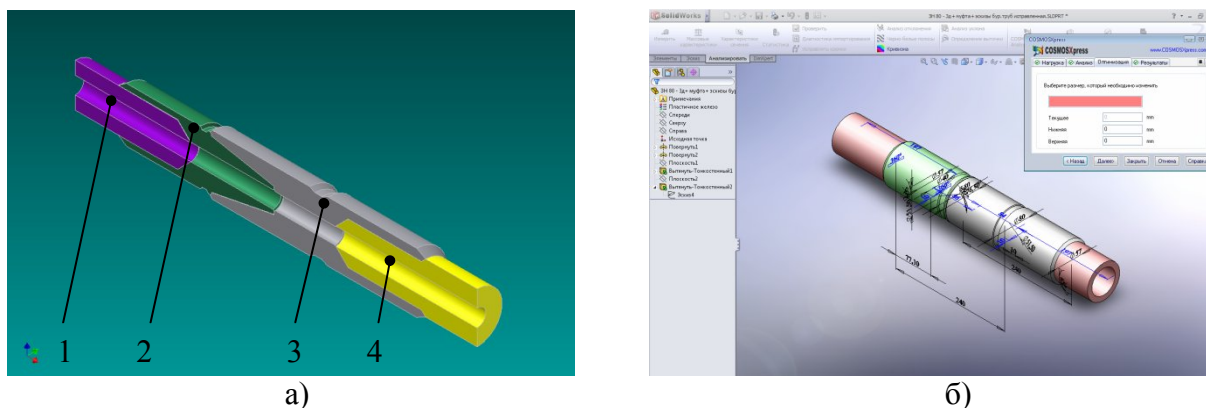


Рис. 1. Муфтозамковое соединение ЗН-80: (а – в разрезе; б – расчетная схема); 1, 4 – трубы; 2 – шпиль замка; 3 – муфта замка.

Для исследования деформации конструкции фрагмента бурильной колонны и наглядной визуализации эпюр распределения напряжений, а так же перемещения материала был использован модуль COSMOSXpress программной среды SolidWorks. Этот модуль осуществляет расчеты методом конечных элементов (МКЭ), который в настоящее время является стандартным при решении задач механики твердого тела посредством численных алгоритмов. Популярный в свое время метод конечных разностей, а также претендовавший на универсальность метод граничных элементов (граничных интегральных уравнений) сейчас занимают ниши, ограниченные исследовательскими или специальными задачами. Абсолютное большинство конструктивных элементов, узлов и конструкций, изготовленных из различных материалов различной природы, рассчитывают МКЭ [2] (рис. 2).

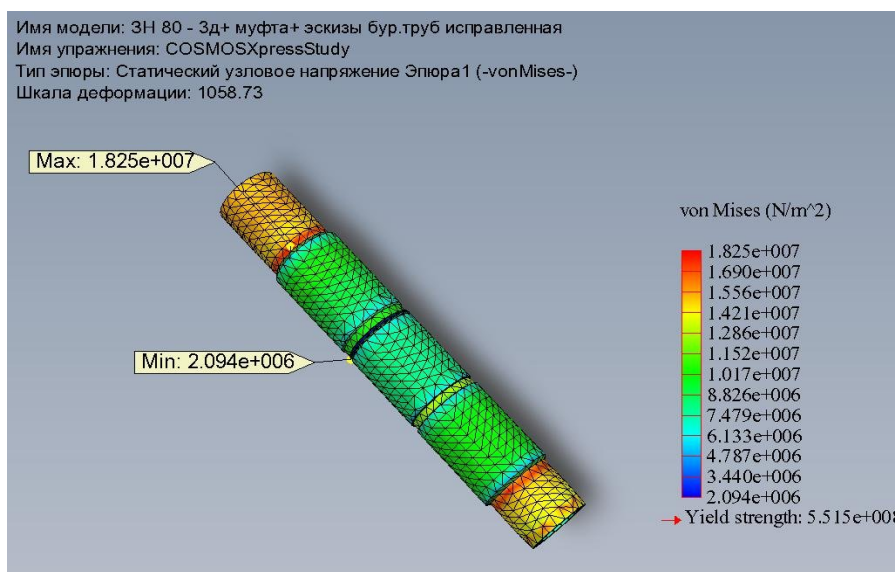


Рис. 2. Сетка построения метода граничных элементов

Результаты моделирования с помощью CAE SolidWorks показаны на рис. 3 – 6 и приведены в таблице.

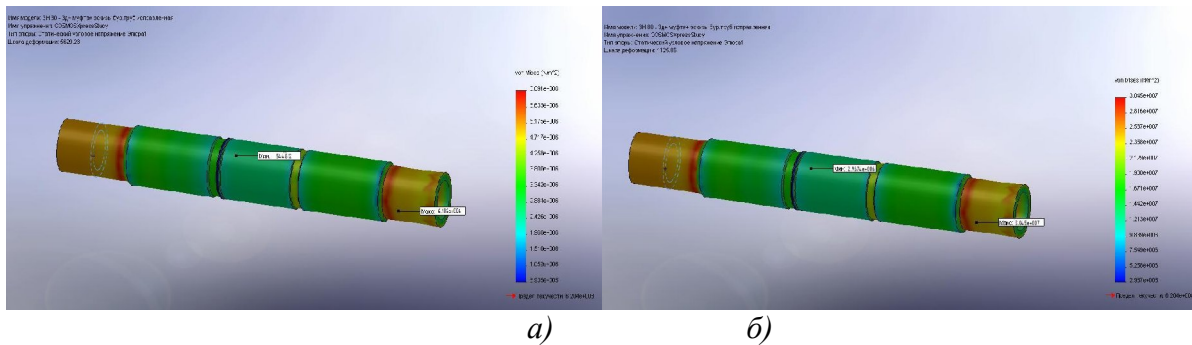


Рис. 3. Распределение напряжений при растяжении (а – нагрузка 10000 Н; б – нагрузка 50000 Н)

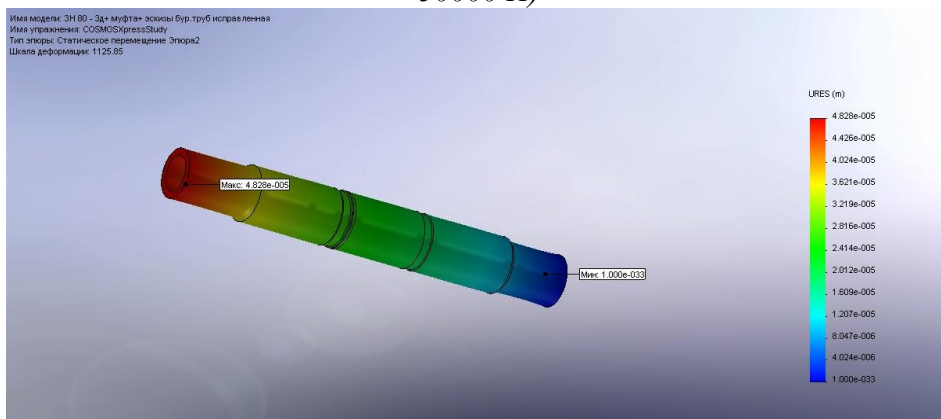


Рис. 4. Распределение деформаций при растяжении элемента

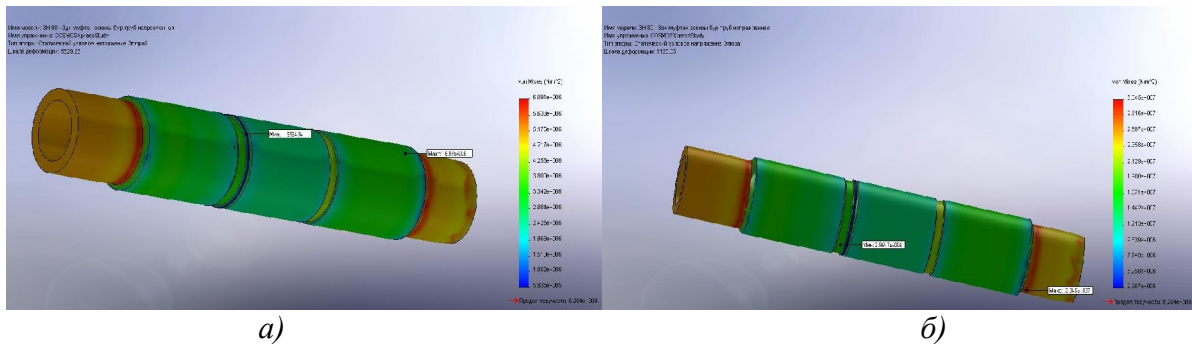


Рис. 5. Распределение напряжений при сжатии элемента (а – нагрузка 10000 Н; б – нагрузка 50000 Н)

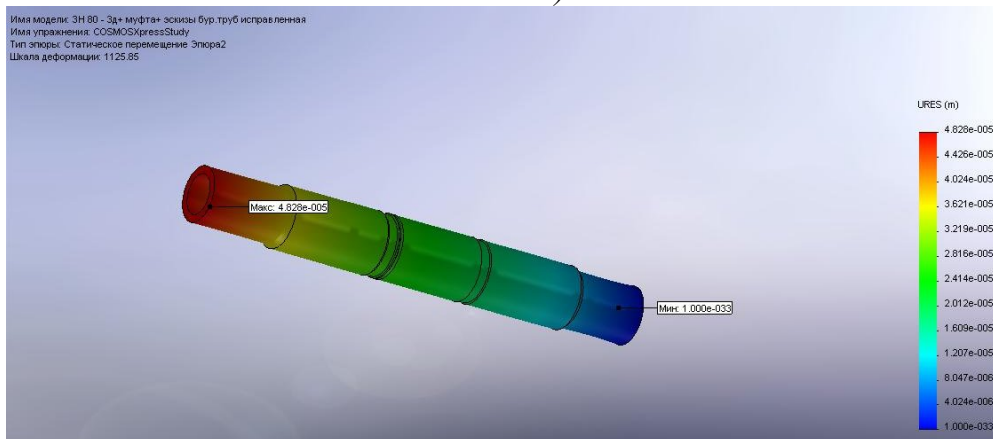


Рис. 6. Распределение деформаций при сжатии элемента

Результаты компьютерного моделирования в COSMOSXpress

Тип и значение нагрузки	Измеряемый параметр	Минимум		Максимум	
		Значение	Местоположение по оси соответственно X, Y, Z, мм	Значение	Местоположение по оси соответственно X, Y, Z, мм
Сжатие, 10000 Н	Напряжение	593494 Н/м ²	-31,6; 5,2; -39,6	6,1·10 ⁶ Н/м ²	212,8; -30,9; -17,8
	Деформация	0 м	281; 3,1·10 ⁻¹⁵ ; 25,7	9,6·10 ⁻⁶ м	-262,3; 27,9; -22,2
Сжатие, 50000 Н	Напряжение	2,9·10 ⁶ Н/м ²	-31,7; 5,2; -39,7	3,0·10 ⁷ Н/м ²	212,7; -30,9; -17,8
	Деформация	0 м	281; 3,1·10 ⁻¹⁵ ; 25,7	4,8·10 ⁻⁵ м	-262,3; 27,9; -22,2
Растяжение, 10000 Н	Напряжение	544812 Н/м ²	-31,6; 5,2; -39,6	6,1·e+006 Н/м ²	212,7; -30,9; -17,8
	Деформация	0 м	281; 3,1·10 ⁻¹⁵ ; 25,7	1,0·10 ⁻⁵ м	-262,3; 27,9; -22,2
Растяжение, 50000 Н	Напряжение	2,9·10 ⁶ Н/м ²	-31,6; 5,2; -39,6	3,0·10 ⁷ Н/м ²	212,7; -30,9; -17,8
	Деформация	0 м	281; 3,1·10 ⁻¹⁵ ; 25,7	4,8·10 ⁻⁵ м	-262,3; 27,9; -22,2

Как видим из данных таблицы, точки наибольших напряжений одинаковы как при сжимающих, так и при растягивающих нагрузках. Таким образом, можно утверждать, что именно эти зоны являются «слабыми» в рассматриваемом элементе и именно в них произойдет усталостное разрушение материала. Это также подтверждают как аналитические, так и практические результаты [3].

При расчетах с использованием САЕ методом МКЭ следует учитывать неизбежные при любой численной аппроксимации условности и погрешности. Поэтому вопрос соответствия расчетной модели реальности является основным при использовании программ анализа. Следовательно, качество заключений, на основе результатов всецело зависит от квалификации, а также применительно к расчету на прочность, принципиального ознакомления с основами МКЭ. На эту тему опубликовано множество книг, [2; 4], и документации к программам.

Таким образом, не следует основывать проектные решения исключительно на данных, представленных САЕ. Использовать эту информацию необходимо совместно с экспериментальными данными и практическим опытом. При этом COSMOSXpress помогает значительно сократить время продвижения на рынок продукции путем уменьшения количества испытаний в условиях эксплуатации, сокращения времени расчетных работ и наглядности предоставляемого материала.

Литература.

1. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике /А.А. Алямовский и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
2. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.
3. Лачинян Л.А. Конструирование, расчет и эксплуатация бурительных геологоразведочных труб и их соединений. – М.: Недра, 1975. – 232 с.
4. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976.

Поступила 03.07.08