

# Повышение надежности бурильных труб на стадии проектирования путем использования математического моделирования процесса упрочнения резьбовой поверхности

**Е.Д. Мокроносов**

д.т.н., профессор, президент<sup>1</sup>, президент<sup>3</sup>

**М.В. Песин**

к.т.н., доцент<sup>2</sup>, докторант,  
первый заместитель директора по  
нефтепромысловому оборудованию<sup>3</sup>  
[M.Pesin@mail.ru](mailto:M.Pesin@mail.ru)

<sup>1</sup> ЗАО «Пермская компания нефтяного машиностроения» (ЗАО «ПКНМ»),  
Краснокамск, Россия

<sup>2</sup> ПНИПУ, Пермь, Россия

<sup>3</sup> ЗАО «Торговый дом ПКНМ», Пермь, Россия

**Показан опыт российского предприятия в решении актуальной задачи повышения надежности бурильных труб. В статье рассматриваются обоснование и применение метода математического моделирования процесса упрочнения резьбовой поверхности.**

## Материалы и методы

Использованы методы математического моделирования, математической статистики.

## Ключевые слова

надежность, бурильная труба, резьба, упрочнение

Надежность одно из важнейших требований, предъявляемых к горным машинам, работающим в сложных условиях эксплуатации и повышенных нагрузках возникающих во время бурения скважин.

Так на стадии проектирование закладывается качества будущей машины, а именно в наиболее нагруженную ее деталь — бурильную трубу. Анализ работы детали показывает, что наибольшие нагрузки испытывает резьбовое соединение, в котором и происходит поломка.

В этой связи разрабатываются новые конструкции резьбовых соединений бурильных труб, утяжеленных бурильных труб (УБТ), ведущих бурильных труб (ВБТ), толстостенных бурильных труб (ТБТ), предназначенных для работы в осложненных условиях эксплуатации. Пример бурильной трубы показан на рис. 1 и 2. Внедрение разработанных бурильных труб затруднено в виду проведения натуральных испытаний на стендах и макетах, и, только после положительного результата резьбовое соединение вводится в серийное производство. Проведение данных исследований вызывает значительные затраты, в следствие этого увеличивается срок ввода в эксплуатацию новых резьбовых соединений.

Однако для решения этой проблемы могут быть применены методы математического моделирования процесса упрочнения резьбовой поверхности.

Компьютерное или численное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем, в том числе и для исследования процессов упрочняющей обработки металла давлением. Ведущие

мировые производители машиностроительной продукции в настоящее время при проектировании особенно активно используют вычислительные программные комплексы Computer Aided Engineering (CAE-системы) [1].

В большинстве работ используются метод конечных элементов и современные программы, основанные на этом методе, такие как DEFORM, ANSYS, ПАКЕТ ЛОГОС [2] для построения графических моделей и определения напряжений, возникающих при поверхностном пластическом деформировании.

Многие задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться исследователям и инженерам, не поддаются аналитическому решению либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию. Прогресс в разработке численных методов и компьютерного моделирования позволил существенно расширить круг задач, доступных анализу. Полученные на основе этих методов результаты используются практически во всех областях науки и техники [2, 3].

Метод конечных элементов (МКЭ) является мощным, надежным и современным средством исследования поведения конструкций в условиях разнообразных воздействий. Программа ANSYS, использующая МКЭ, широко известна и пользуется популярностью среди инженеров, занимающихся решением вопросов прочности. Средства МКЭ ANSYS позволяют проводить расчеты статического и динамического напряженно-деформированного состояния конструкций, в том числе геометрически и физически нелинейных задач механики деформируемого твердого тела. Это позволяет решить поставленную ранее инженерную задачу [3].



Рис. 1 — Ниппельная часть утяжеленной бурильной трубы



Рис. 2 — Муфтовая часть утяжеленной бурильной трубы

Построение компьютерной модели базировалось на абстрагировании от конкретной природы явлений или изучаемого объекта-оригинала и состояло из двух этапов — создание качественной, а затем и количественной модели.

Выделяются следующие основные этапы численного моделирования [3]:

- постановка задачи, определение объекта моделирования;
- разработка концептуальной модели, выявление основных элементов системы и элементарных актов взаимодействия;
- формализация, то есть переход к математической модели;
- создание алгоритма и написание программы;
- планирование и проведение компьютерных экспериментов.

Выбор параметров упрочнения (усилия и глубины вдавливания, радиуса края ролика и др.), обеспечивающих необходимый эффект, существенно зависит от габаритных размеров и формы детали, а также механических свойств упрочняемого конструкционного материала, и обычно проводится на основе результатов испытаний на усталость натуральных образцов. Пример обкатки резьбовой поверхности роликом показан на рис. 3.



Рис. 3 — Пример обкатки резьбовой поверхности роликом

При проведении натурных испытаний вызывает определенный интерес информация о характере распределения и величине остаточных напряжений и деформаций в поверхностных слоях металла, степени наклепа, параметрах цикла действующих суммарных (остаточных и эксплуатационных) напряжений. При этом без специальной аппаратуры достаточно сложно оценить эффективность режима ППД на образцах и натуральных изделиях с точки зрения его влияния на сопротивление усталости [2]. Современные компьютерные технологии позволяют моделировать механические процессы обработки деталей и определять напряженное состояние в элементах конструкций, облегчая тем самым поиск оптимальных технологических параметров.

Таким образом: повышение надежности горных машин на стадии проектирования путем использования математического моделирования процесса упрочнения резьбовой поверхности роликами является актуальным.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Повысить прочностные характеристики резьбового соединения,

используя методы ППД, а именно, обкатывание нарезанной резьбы роликами.

2. Получение математической модели для расчета поверхностно-деформированного состояния резьбового соединения ниппеля-муфты трубы.
3. Обосновать получения модели пластического-деформированного состояния, используя метод конечных элементов с применением программного обеспечения ANSYS.
4. Выполнить постановку задачи для достижения заданной цели.

Проведенные исследования на основе построенной математической модели процесса поверхностно-пластической деформации обкаткой роликом позволили получить требуемые параметры шероховатости поверхности, а также сжимающие остаточные напряжения во впадине резьбы.

#### Итоги

В результате применения новых конструкций бурильных труб повышена их надежность.

#### Выводы

Разработаны новые конструкции бурильных труб.

#### Список используемой литературы

1. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: практическое руководство. Москва: Едиториал УРСС, 2003. 270 с.
2. Бруйка В.А., Фокин В.Г., Солдусова Е.А., Глазунова Н.А., Адеянов И.Е. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учебное пособие. Самара: Самарский государственный технический университет. 2010. 271 с.
3. Лукьянова А.Н. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS: учебное методическое пособие. Самара: Самарский государственный технический университет. 2010. 52 с.

ENGLISH

DRILLING

## Increasing the reliability of drill pipe in the design stage by using mathematical modeling of the process of hardening the surface of thread

UDC 621.833

#### Authors:

**Evgeniy D. Mokronosov** — Dr. Sci. Tech., professor, president<sup>1</sup>, president<sup>3</sup>

**Mikhail V. Pesin** — Dr. Sci. Tech., senior lecturer<sup>2</sup>, deputy director<sup>3</sup>; [M.Pesin@mail.ru](mailto:M.Pesin@mail.ru)

<sup>1</sup>CJSC Permskaya kompania neftynogo mashinostroeniya, Krasnokamsk, Russian Federation

<sup>2</sup>State National Research Polytechnical University of Perm, Perm, Russian Federation

<sup>3</sup>CJSC Trading house PKNM, Perm, Russian Federation

#### Abstract

Shown the experience the Russian company in solving the actual problem of increasing reliability of drill pipe.

mathematical statistics are used.

#### Results

As a result the applications of new constructions of drill pipe was growth reliability of drill pipe.

#### Conclusions

Constructions are developed that designing new construction of drill pipe.

#### Keywords

reliability, drill pipe, thread, hardening

#### References

1. Kaplun A.B., Morozov E.N., Alferieva V.F. ANSYS v rukakh inzhenera: prakticheskoe rukovodstvo [ANSYS in hand an engineering: practical guide]. Moscow: Editorial URSS, 2010. 270 p.

2. Bruyka V.A., Fokin V.G., Soldusova E.A., Glazunova N.A., Adeyanova I.E. *Inzhenernyy analiz v ANSYS Workbench* [Engineering analysis in ANSYS Workbench]. Samara: Samara Technical University, 2010, 52 p.
3. Luk'yanova A.N. *Modelirovaniye*

*kontaktnoy zadachi s pomoshch'yu programmy ANSYS: uchebnoye metodicheskoe posobie* [Modeling of the contact problem using ANSYS: Training Toolkit]. Samara: Samara Technical University, 2010, 52 p.