

УДК 621.77.07

**М.В. Песин<sup>1, 2</sup>, В.В. Ермаков<sup>1</sup>, А.А. Павлович<sup>1</sup>, А.Р. Юсупов<sup>1</sup>**

**M.V. Pesin<sup>1, 2</sup>, V.V. Ermakov<sup>1</sup>, A.A. Pavlovich<sup>1</sup>, A.R. Jusupov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

<sup>2</sup>ООО «Пермская компания нефтяного машиностроения», г. Пермь

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University

<sup>2</sup>PKNM, Ltd., Perm

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ РЕЗЬБЫ РОЛИКОМ**

### **SIMULATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION OF THREAD BY ROLLER**

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали формирование во впадине резьбы сжимающих остаточных напряжений после ее обкатки роликом. Разработанные модели позволили использовать программный продукт в условиях производства бурильных труб и переводников.

**Ключевые слова:** упрочнение, обкатка резьбы, остаточные напряжения, поверхностное пластическое деформирование.

Carried out theoretical and experimental research have shown the formation in a hollow carving compressive residual stress after her running roller. The models developed have allowed to use the software product in the production of drill pipe and subs.

**Keywords:** hardening, deep roll thread, residual stresses, surface plastic deformation.

Современное производство изделий машиностроения требует постоянного совершенствования технологического процесса механической обработки. В процессе эксплуатации машины воспринимают повышенные нагрузки. Так, например, при бурении нефтяных и газовых скважин одним из важнейших элементов колонны труб являются резьбовые соединения бурильных труб, именно они в большой степени определяют их долговечность. Эксплуатационные характеристики труб в значительной мере влияют на технические показатели бурения и экономическую эффективность строительства скважин.

Применение резьбовых соединений объясняется простотой и надежностью этого вида креплений, удобством регулирования затяжки, а также возможностью разборки и повторной сборки соединения без замены детали. Отличительной особенностью эксплуатации таких труб является воздействие больших изгибающих, крутящих, сжимающих и растягивающих нагрузок, кроме того, колонну периодически собирают и разбирают.

В процессе бурения могут возникнуть затраты на ликвидацию обрывов. Так, для подъема бурильных труб затрачивается порядка 1 млн руб. [1], а при отсутствии возможности извлечь колонну труб и телеметрическую аппаратуру – до 30–40 млн руб.

В связи с этим важной целью является разработка моделирования технологического процесса упрочняющей обработки резьбовых соединений труб.

На соединения типа «ниппель – муфта» действуют большие осевые нагрузки и крутящие моменты, динамические вибрации, изгибающие моменты. Помимо этого, они подвергаются воздействию агрессивной среды. Все это ведет к разрушению резьбового соединения и последующим авариям.

В современном машиностроении широкое применение нашли методы поверхностного пластического деформирования: обкатывание роликами, обкатывание шариками, калибрующее накатывание шариками, алмазное выглаживание, центробежная обработка, поверхностное раскатывание, деформирующее протягивание, прошивание, калибрование шариками, вибрационное обкатывание, обработка дробью [2].

Для резьб нефтегазового назначения наибольшее применение получил метод обработки предварительно нарезанной резьбы роликом [3]. При этом производительность процесса увеличивается в 2 раза по сравнению с накатыванием резьбы традиционным способом, а себестоимость изготовления оснастки уменьшается в 2 раза<sup>1</sup>. Данный способ расширяет технологические возможности, повышает производительность, дает возможность деформировать резьбовой профиль за минимальное количество проходов, обеспечивает универсальность и возможность накатывания замковых резьб, повышает качество обработанной поверхности значительно, снижает себестоимость процесса накатывания, увеличивает срок службы резьбовой поверхности и повышает ее износостойкость. Для обеспечения технологического процесса обкатки бурильных труб в цеховых условиях была разработана программа по прогнозированию остаточных напряжений во впадине резьбы при ее обкатке роликом.

---

<sup>1</sup> Резьбовое соединение бурильных труб: пат. № 2508491 Рос. Федерация / С.А. Рекин, Б.Ю. Щербаков, Ю.Ф. Емельянов, П.Н. Сидоренко, А.С. Мыслевцев, В.П. Алдохин. Опубл. 07.09.2012.

Разработанный комплекс обеспечивает получение технологических параметров процесса обкатки резьбовой поверхности замковой конической резьбы при вводе нагрузки на ролик и его геометрических параметров. Программа получила название PKNM Deep Roll Thread v1.0. Она содержит банк данных вычислительных экспериментов по определению остаточных напряжений и перемещений в сечениях резьбы. Этот модуль данных представляет собой структурированный набор результатов численных экспериментов по моделированию остаточных напряжений в резьбе после обкатки роликом. В качестве объекта исследования рассматривалась модель замковой конической резьбы. Данный комплекс позволяет выбирать оптимальные с точки зрения повышения надежности нагрузки на ролик.

В результате работы уточнена расчетная модель, получены результаты вычислительных экспериментов по остаточным напряжениям в резьбе после обкатки, сформулированы рекомендации по упрочнению резьбовых соединений методом обкатки на основе физических, математических и твердотельных моделей. Вычислительные эксперименты проведены с использованием лицензионного программного комплекса инженерного анализа и средств разработки Visual Studio 2008. Разработанная программа может быть запущена на всех типах ЭВМ в исполнительной среде Windows XP SP3, а также Windows Vista и Windows 7.

Для визуализации общей расчетной схемы для модуля Deep Roll Thread используется меню визуализации результатов обкатки резьбы роликом (рис. 1), остаточных напряжений в резьбе при обкатке (рис. 2), нормальных напряжений в резьбе при обкатке (рис. 3).

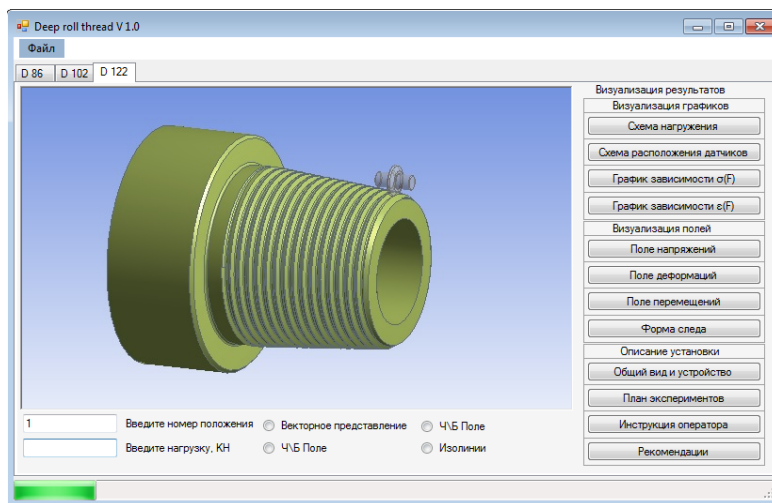


Рис. 1. Визуализация обкатки резьбы роликом

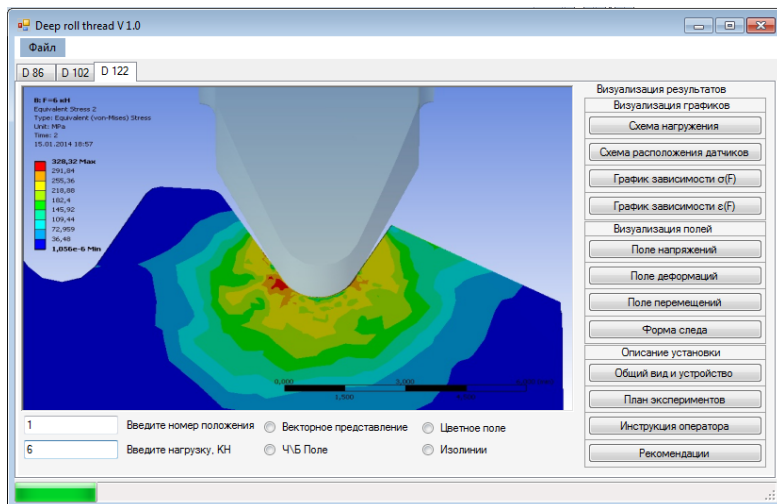


Рис. 2. Визуализация остаточных напряжений в резьбе при обкатке

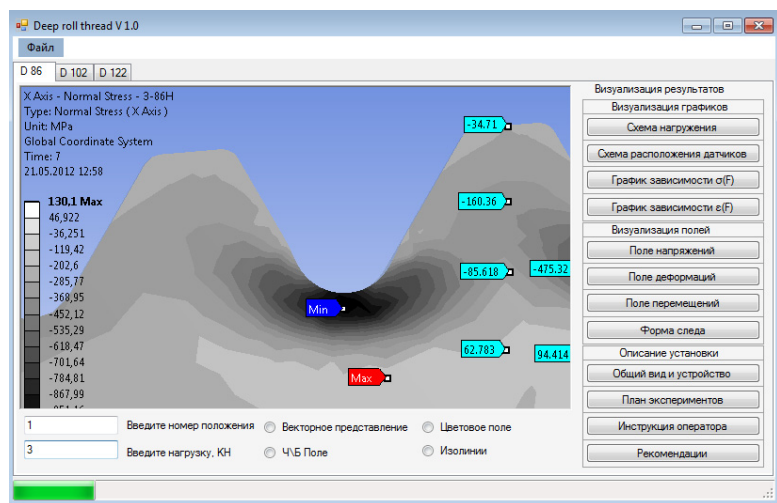


Рис. 3. Визуализация нормальных напряжений в резьбе при обкатке

Для показа системы визуализации используется иерархическая топология отображения данных, позволяющая сначала выбрать место расположения математического датчика, а в дальнейшем получить графики зависимости для определенного места расположения.

Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ PKNM Deep Roll Thread v1.0 («Обкатка резьбы роликом ПКНМ версия 1.0») № 2014610774, позволяющей прогнозировать величину дефор-

мации и остаточных напряжений во впадине резьбы. Даны практические рекомендации для использования программы в производстве нефтепромыслового и бурового оборудования.

Итак, проведя серию экспериментов, можно заключить, что в процессе обкатки резьбы роликом в приповерхностных слоях материала межвитковой впадины резьбы сформировались области сжимающих напряжений, что привело к упрочнению приповерхностного слоя, и это воздействие препятствует возникновению микротрещин. Разработанные физическая и математические модели, программный комплекс позволяют в цеховых условиях прогнозировать величину и характер распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя дна впадины резьбы в зависимости от геометрии ролика и нагрузки на него.

### Список литературы

1. Песин М.В. Научные основы моделирования процесса упрочнения впадины резьбы буровых труб обкатыванием роликом // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 5 (30). – С. 68–70.
2. Pesin M.V. Simulation of the technological process of the strengthened treatment of the drill pipes thread // Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering: Intern. Conf., UTI TPU, 11–12 December, 2014, Yurga, Russia. – Durnten-Zurich: TTP, 2015. – P. 476–482.
3. Pesin M.V. Improving the reliability of threaded pipe joints // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 2. – P. 210–212.

Получено 07.09.2016

**Песин Михаил Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инновационные технологии машиностроения», аэрокосмический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, ООО «Пермская компания нефтяного машиностроения» (г. Пермь), e-mail: m.pesin@mail.ru.

**Ермаков Вадим Васильевич** – магистр, аэрокосмический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

**Павлович Александр Александрович** – бакалавр, аэрокосмический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

**Юсупов Артем Рафилевич** – бакалавр, аэрокосмический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.