

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРАБОТКИ РЕЗЬБОВОГО ЗАМКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ СКВАЖИННОГО РАЗДВИЖНОГО ИНСТРУМЕНТА НА МОМЕНТ ОТВОРОТА И КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ

Дронов Арсений Александрович – инженер-конструктор ООО НПП БУРИНТЕХ, arsdronov@gmail.com ;
Ишбаев Гниятулла Гарифуллович – д.т.н, профессор, генеральный директор ООО НПП БУРИНТЕХ, bit@burinteh.com;
Ковалевский Евгений Александрович – к.т.н, начальник отдела ООО НПП БУРИНТЕХ, KovalevskiiEA@burinteh.com;
Валямов Карим Рамилевич – к.т.н, доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», karimvaliam@yandex.ru.

Ключевые слова: приработка резьбы, приработка резьбового замкового соединения, коэффициент трения в витках резьбы, самопроизвольный отворот, момент отворота.

Аннотация. Цель данной работы заключается в изучении влияния приработки резьбового замкового соединения скважинных раздвижных фрезеров и расширителей на момент отворота и коэффициент трения. В статье представлены результаты стендовых испытаний по приработке резьбового замкового соединения Z-86 из материала сталь 40 ХН. Произведена количественная оценка влияния приработки резьбы на конечный момент отворота и коэффициент трения в витках.

STUDY OF THE EFFECT OF THREAD TOOL JOINT MAKE-UP ON BREAKOUT TORQUE AND FRICTION COEFFICIENT FOR EXPANDABLE DOWNHOLE TOOLS

Dronov A.A. – Design Engineer, NPP BURINTECH LLC, arsdronov@gmail.com ;
Ishbaev G.G. – Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director of NPP BURINTECH LLC, bit@burinteh.com;
Kovalevsky E.A. – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of NPP BURINTECH LLC, KovalevskiiEA@burinteh.com;
Valyakov K.R. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Drilling, karimvaliam@yandex.ru .

Key words: thread running-in, threaded tool joint running-in, thread friction coefficient, spontaneous back-off, breakout torque.

Abstract. The aim of this work is to study the effect of threaded tool joint running-in on breakout torque and friction coefficient for downhole expandable mills and reamers. The paper presents the results of bench tests on running-in of Z-86 threaded tool joint made of 40KhN steel. A quantitative assessment of the effect of thread running-in on final breakout torque and thread friction coefficient is provided.

В данной статье рассматривается вопрос приработки резьбовых замковых соединений скважинных раздвижных расширителей и фрезеров. Как известно, на величину коэффициента трения в витках резьбовой пары и на торце резьбового соединения влияют материалы муфтовой и ниппельной части резьбового соединения, вид покрытия и смазочный материал. В справочной литературе приводятся значения коэффициента трения для различных материалов, видов покрытия и используемых видов смазочных материалов [1]. Однако никак не учитывается наличие или отсутствие приработки резьбового соединения перед началом его эксплуатации.

В работах [2, 3, 4] были рассмотрены факторы, влияющие на самопроизвольный отворот элементов скважинных раздвижных расширителей и фрезеров, доказано значительное влияние вибрационных нагрузок и момента инерции,

возникающего в процессе работы. Также было доказано, что при определенном сочетании факторов, происходит самопроизвольный отворот центрирующих элементов. Один из потенциальных способов борьбы с самопроизвольным отворотом – увеличение момента отворота за счет предварительной приработки резьбового соединения.

Перед началом эксперимента был произведен анализ представленного нефтесервисными компаниями оборудования рассматриваемого типа [5, 6, 7, 8, 9]. В результате было определено, что испытания по приработке необходимо проводить для замковой резьбы по ГОСТ 28487-2018 из материала сталь 40ХН.

Испытания производились на испытательном стенде, представленном на рисунке 1. Измерительная система экспериментального стенда позволяет:

- контролировать и регистрировать силу прижатия плашек ключа;

- задавать и контролировать момент затяжки и отворота.

Установка для измерения момента отворота состоит из неподвижного гидравлического ключа 1 и гидравлического ключа с возможностью вращения 2, которые установлены на рельсы 3. Контроль и регулировка силы зажатия детали и крутящего момента производится на пульте управления 4. Контроль момента производится с помощью индикатора показаний величины крутящего момента по давлению рабочей жидкости в системе. Выбранный ключ оборудован цифровым индикатором момента [10]. Результирующая погрешность определения крутящего момента составляет 1,22%. Таким образом, оценка ошибок измерений и задания определяющих факторов не превышает 5 %, что не противоречит требованиям к экспериментам в бурении [11].

Для испытания по изучению влияния приработки резьбового соединения были

Таблица 1. Результаты испытания по свинчиванию-развинчиванию новой пары ниппеля и муфты.

Номер цикла свинчивания	Момент отворота, Н×м					
	1-я пара	2-я пара	3-я пара	4-я пара	5-я пара	6-я пара
1	6000	6097	6000	5903	6000	6097
2	6097	6194	6194	6000	6097	6194
3	6291	6388	6291	6194	6388	6291
4	6388	6582	6388	6388	6485	6485
5	6485	6679	6582	6485	6582	6679
6	6776	6873	6776	6679	6776	6873
7	6970	6970	6970	6873	6873	7067
8	7164	7164	7067	7067	6970	7164
9	7067	7067	7067	7164	7067	7067
10	7164	7067	7164	7067	7164	7164

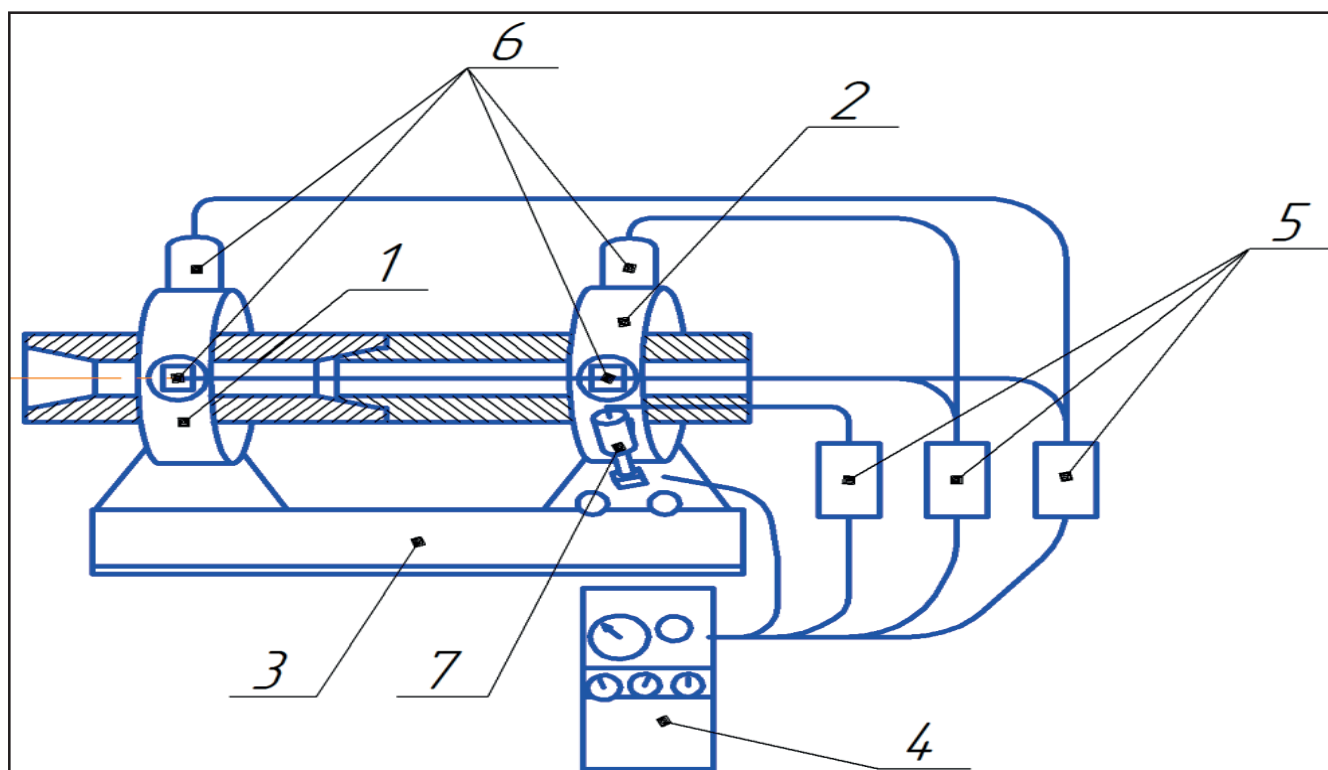


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда.

1 - неподвижный гидравлический ключ; 2 - гидравлический ключ с возможностью вращения; 3 - установочная база (рельсы); 4 - пульт управления; 5 - гидроцилиндры; 6 - гидроцилиндр; 7 - насосы

изготовлены шесть пар муфта - ниппель, и произведена серия испытаний. Испытания проводились в следующей последовательности: перед свинчиванием соединения на поверхность резьбы ниппеля при помощи лопатки, наносилась резьбовая смазка в количестве примерно 20 г. Затем соединение подвергалось многократному свинчиванию-развинчиванию с полным выводом ниппеля из муфты после каждого цикла.

В таблице 1 представлены результаты испытания по оценке влияния приработки резьбового соединения с новой муфтой и новым ниппелем.

Затяжка резьбового соединения производилась с рекомендуемым в большинстве компаний-производителей [5,6,7,8,9] моментом $M = 8000 \text{ Н·м}$, после чего резьбовое соединение выдерживалось в свинченном состоянии в течение одного часа и производился отворот соединения. На основании экспериментальных данных, представленных в таблице 1, построена зависимость момента отворота от количества циклов свинчивания (рисунок 2).

Как видно из представленных на рисунке зависимостей, «приработка» резьбового соединения влияет на момент отворота резьбового соединения. По результатам испытаний получено следующее:

- разница в величине момента отворота между первым и десятым свинчиванием в среднем составила 18,5 %. Это происходит из-за явления приработки резьбового соединения и, как следствие, увеличения коэффициента трения в витках резьбы и на торце резьбового соединения, за счет снижения шероховатости поверхностей резьбы;

- стабильный момент отворота достигается к восьмому циклу свинчивания-развинчивания, после чего значения момента отворота изменяются в пределах погрешности измерений.

Коэффициент трения в витках резьбы и на торце соединения связаны между собой соотношением [12, 13]:

$$f_t = f_p \times \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (1)$$

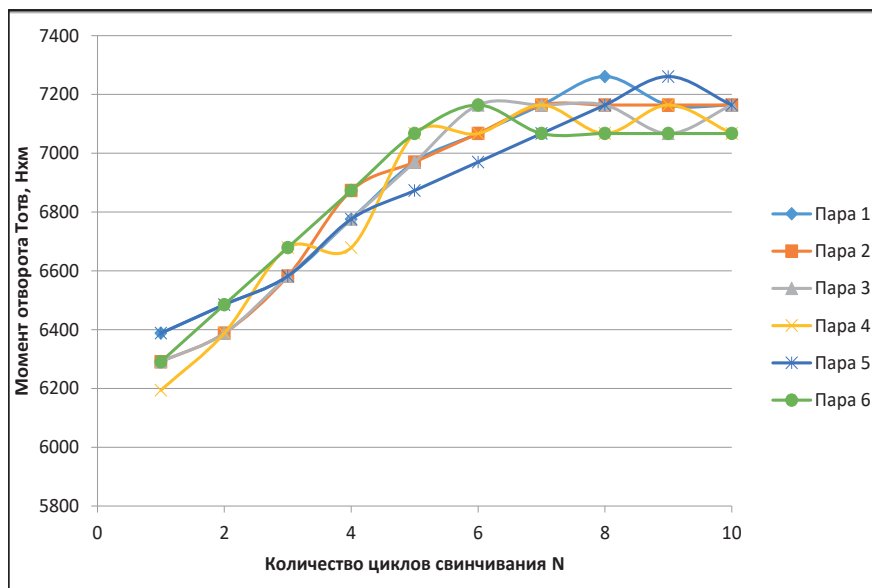


Рис. 2. Зависимость момента отворота резьбовой пары муфта-ниппель замковой резьбы 3-86 от количества циклов свинчивания-развинчивания.

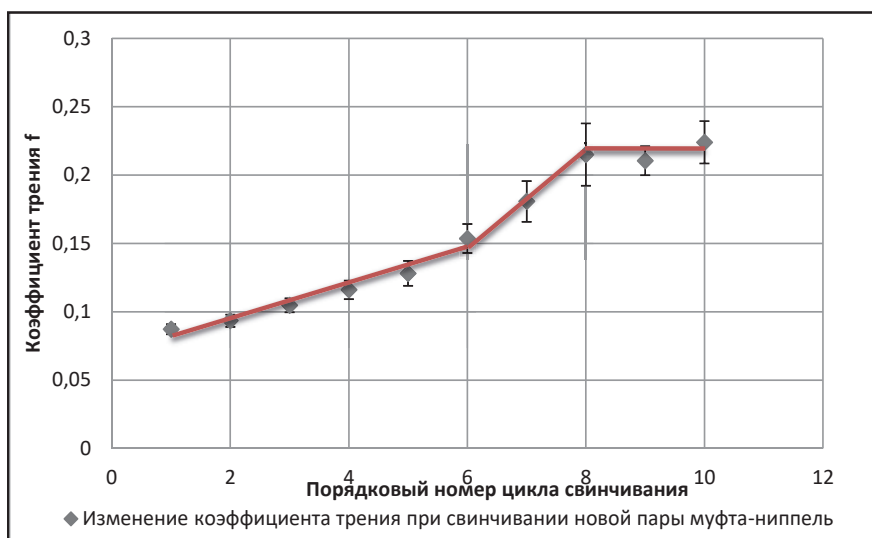


Рис. 3. График зависимости коэффициент трения от количества циклов свинчивания, для замковой резьбы 3-86 из материала сталь 40ХН.

Таблица 2. Изменение силы трения в результате приработки резьбового соединения.

№ затяжки	Коэффициент трения в витках резьбы, f_p
1-я затяжка	$0,0872 \pm 0,0037$
2-я затяжка	$0,0934 \pm 0,0045$
3-я затяжка	$0,1047 \pm 0,0051$
4-я затяжка	$0,1160 \pm 0,0068$
5-я затяжка	$0,1281 \pm 0,0091$
6-я затяжка	$0,1536 \pm 0,0106$
7-я затяжка	$0,1807 \pm 0,0149$
8-я затяжка	$0,2150 \pm 0,0228$
9-я затяжка	$0,2105 \pm 0,0106$
10-я затяжка	$0,2240 \pm 0,0155$

где f_T — коэффициент трения на торце соединения;

f_p — коэффициент трения в витках резьбы;

α — угол профиля резьбы.

Учитывая данный факт, можно провести оценку увеличения силы трения в соединении. Результаты расчета для замковой резьбы 3-86, с учетом доверительного интервала момента отворота, приведены в таблице 2.

В результате экспериментов и на основании расчетов были построены графики зависимости коэффициента

трения от числа циклов свинчивания-развинчивания (рисунок 3). Из полученных графиков видно, что явление приработки резьбового соединения оказывает большее влияние на новую пару резьб.

Доверительные интервалы коэффициентов трения для новой пары и для пары с приработанной муфтой не пересекаются до достижения установленного коэффициента трения, на основании чего можно сделать вывод о значимости приработки и о различных механизмах приработки соединений.

Также по графику можно сделать вывод о необходимости проведения операции приработки резьбового соединения для достижения справочного значения коэффициента трения.

В результате проведенных испытаний, можно сделать вывод о том, что предварительная приработка резьбовой замковой резьбы позволяет увеличивать коэффициент трения и, как следствие, момент отворота. Увеличение момента отворота для замковой резьбы 3-86, изготовленной из материала сталь 40ХН составляет до 20%. ■

Список литературы

1. Зозуля В.Д., Шведков Е.Л., Ровинский Д.Я., Браун Э.Д. Словарь справочник по трению, износу и смазке деталей машин. — Киев: Наук. думка, 1990. — 264 с.
2. Дронов А.А., Саломатин А.А. Вибрационные нагрузки и надежность расширения бокового ствола // *Oil&Gas Journal Russia*. — 2015. — №9. — С. 66-69.
3. Дронов А.А., Саломатин А.А. Анализ причин самопроизвольного отворота элементов раздвижного фрезерного и расширяющего инструмента // *Нефтяное хозяйство*. — 2015. — №9. — С. 64-67.
4. Дронов А.А., Саломатин А.А. Анализ влияния вибрации на самопроизвольный отворот элементов раздвижного фрезерного инструмента и раздвижного инструмента для расширения ствола скважины // *Бурение и нефть*. — 2015. — №5. — С. 42-45.
5. Ишбаев Г.Г., Ташбулатов Р.Ф., Алексеев Л.А., Саломатин А.А., Алексеев Д.Л. Вспомогательный инструмент для бурения и ремонта скважин: учебное пособие. — Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. — 138 с.
6. Каталог компании ООО НПП «Буринтех». — Уфа, 2024. — 90 с.
7. Электронный каталог компании ЗАО «Сиб Трейд Сервис» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sts-samara.ru/production/milling-tools/hydraulic-expanding-mill-type-35f.html> (дата обращения: 05.06.2025).
8. Электронный каталог компании НПП «Интехком» [Электронный ресурс]. URL: www.npp-inteh.ru/catalog/avar-oborud/avar-oborud_41.html (дата обращения: 05.06.2025).
9. Электронный каталог компании «Halliburton» [Электронный ресурс]. URL: http://www.halliburton.com/public/sdbs/sdbs_contents/Books_and_Catalogs/web/drill-bits-and-services.pdf (дата обращения: 05.06.2025).
10. Электронный информационный лист компании НПК «Сателлит» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.npksatellit.ru/ru/gidravlicheskiy-stendovyy-klyuch-kgs-12> (дата обращения: 05.06.2025).
11. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 279 с.
12. Гузенков П.Г. Детали машин. — М.: Высшая школа, 1982. — 351 с.
13. Иосилевич Г.Б. Детали машин. — М.: Машиностроение, 1988. — 368 с.

References

1. Zozulya V.D., Shvedkov E.L., Rovinsky D.Ya., Brown E.D. Dictionary textbook on friction, wear and lubrication of machine parts. — Kiev: Nauk. Dumka, 1990. 264 p.
2. Dronov A.A., Salomatin A.A. Vibration loads and reliability of lateral shaft expansion // *Oil&Gas Journal Russia*. — 2015. — No. 9. — pp. 66-69.
3. Dronov A.A., Salomatin A.A. Analysis of the causes of spontaneous opening of elements of sliding milling and expanding tools // *Oil field- It's cold*. — 2015. — No. 9. — pp. 64-67.
4. Dronov A.A., Salomatin A.A. Analysis of the effect of vibration on the spontaneous turning of elements of a sliding milling tool and a sliding tool for expanding the borehole // *Drilling and oil*. 2015. No. 5. pp. 42-45.
5. Ishbaev G.G., Tashbulatov R.F., Alekseev L.A., Salomatin A.A., Alekseev D.L. Auxiliary tools for drilling and repairing wells: a textbook. Ufa: Oil and Gas Business, 2007. 138 p.
6. The catalog of the company NPP Burintech LLC. Ufa, 2024. 90 p.
7. Electronic catalog of CJSC "Sib Trade Service" [Electronic resource]. URL: <http://www.stssamara.ru/production/milling-tools/hydraulic-expanding-mill-type-35f.html> (date of access: 06/05/2025).
8. Electronic catalog of the NPP Intekhcom company [Electronic resource]. URL: www.npp-inteh.ru/catalog/avar-oborud/avar-oborud_41.html (date of access: 06/05/2025).
9. Electronic catalog of the Halliburton company [Electronic resource]. URL: http://www.halliburton.com/public/sdbs/sdbs_contents/Books_and_Catalogs/web/drill-bits-and-services.pdf (date of request: 06/05/2025).
10. Electronic information sheet of the NPK "Satellite" company [Electronic resource]. URL: <http://www.npksatellit.ru/ru/gidravlicheskiy-stendovyy-klyuch-kgs-12> (date of reference: 06/05/2025).
11. Adler Yu. P., Markova E. V., Granovsky Yu. V. Planning an experiment in the search for optimal conditions. — M.: Nauka, 1976. — 279 p.
12. Guzenkov P.G. Machine parts. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1982. 351 p.
13. Iosilevich G.B. Machine parts. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1988. 368 p.