



**СПОСОБ ЛИКВИДАЦИИ ПРИХВАТА И ПОДЪЕМА БУРИЛЬНЫХ
И ОБСАДНЫХ КОЛОНН ПРИ БУРЕНИИ И РЕМОНТЕ СКВАЖИН**

В. И. Склянов

Норильский индустриальный институт,

E-mail: vladimir-sklyanov@yandex.ru, ул. 50 лет Октября 7, г. Норильск 663300, Россия

Изложен способ извлечения из скважины колонны прихваченных труб с помощью специального устройства для развинчивания труб в скважине при бурении и капитальном ремонте глубоких скважин. Исследованы его основные рабочие технические параметры. Для передачи необходимого крутящего момента в конструкции устройства применена схема синусошарикового реверсивного редуктора с заторможенным водилом и многорядным зацеплением. Опытный образец разработанного устройства для развинчивания труб прошел испытания в производственных условиях, по результатам которых скорректирована рабочая техническая документация, подготовлены методические указания по реализации способа извлечения аварийной колонны.

Устройство для развинчивания труб в скважине, ликвидация аварии, рабочая бурильная колонна, синусошариковая передача, тормозной механизм, заякоривающие башмаки

**METHOD OF STUCK RELEASING AND LIFTING OF DRILL
AND CASING STRINGS WHEN DRILLING AND REPAIRING WELLS**

V. I. Sklyanov

*Norilsk State Industrial Institute, E-mail: vladimir-sklyanov@yandex.ru,
ul. 50 let Otyabrya 7, Norilsk 663300, Russia*

The method for extracting stuck pipes from a well using a special pipe unscrewing device in drilling deep wells and overhaul is described. Its main operational technical parameters are studied. To transmit the required torque, the PUD design provides a sinus-ball reversible gearbox with a braked carrier and multi-row gearing. The prototype of the developed pipe unscrewing device has been successfully tested under production conditions. The test results enabled to correct working technical documentation and prepare the guidelines for the implementation of the method of removing the emergency string.

Pipe unscrewing device, emergency elimination, working drill string, sinus-ball transmission, braking mechanism, anchor shoes

В настоящее время существуют технологии и технические средства, позволяющие ликвидировать сложные аварии с бурильными и обсадными колоннами. При выборе способа ликвидации аварии необходимо добиваться его реализации в максимально короткие сроки и с минимальными затратами. В зарубежной практике строительства скважин максимально возможное время $T_{л}$ на ликвидацию аварий в сутках определяется по формуле [1]:

$$T_{л} = \frac{C_{и} + C_{н.с}}{C_{сут}}, \quad (1)$$

где $C_{и}$ — суммарная стоимость инструмента, оставленного в скважине; $C_{н.с}$ — суммарная стоимость по забуриванию и бурению нового ствола; $C_{сут}$ — среднесуточная стоимость работ и затраты по использованию и эксплуатации ловильного инструмента.

Однако эту формулу можно использовать при возможности своевременной доставки на буровую необходимого инструмента и материалов, т. е. выбор эффективного способа ликвидации прихвата во многом зависит от наличия в нужный момент специальных средств.

Оперативное применение способа отвинчивания и извлечения прихваченной колонны труб по частям сдерживается из-за требования иметь на буровой комплект бурильных труб с левой резьбой, поэтому его выбирают, когда другие, более доступные способы не дают положительных результатов. Кроме того, при отвинчивании извлекаемых труб приходится прикладывать большой крутящий момент на страгивание (срыв) в резьбовом соединении, что может вызвать поломку бурильной колонны с левой резьбой.

Предлагаемый способ извлечения труб с помощью специального устройства для развинчивания труб (УРТ) (рис. 1а) позволяет приступить к работам без дополнительных подготовительных работ. Вместо колонны труб с левой резьбой используется рабочая бурильная колонна с правой резьбой. При этом крутящий момент на отвинчивание извлекаемых труб увеличивается на передаточное число реверсивного редуктора УРТ. Повышается надежность и производительность извлечения прихваченных труб. В результате экспериментальных исследований и производственных испытаний установлены особенности и порядок выполнения технологических приемов нового способа, в котором УРТ 2 фиксируется в обсадных трубах или открытом стволе (рис. 1б) непосредственно у места нахождения верхнего конца 11 извлекаемой колонны труб.

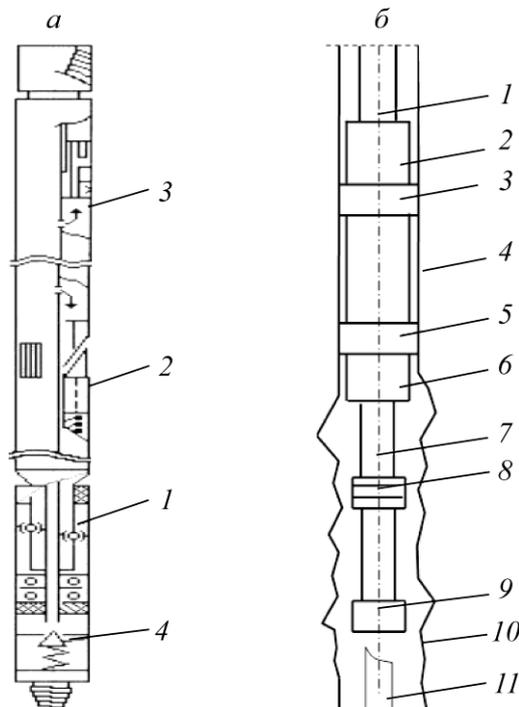


Рис. 1. *а* — устройство для развинчивания труб в скважину УРТ: 1 — реверсивный редуктор; 2 — якорь; 3 — механизм блокировки; 4 — шлицевой клапан-дроссель; *б* — схема установки УРТ в скважине: 1 — бурильные трубы с правой резьбой; 2 — устройство УРТ; 3 — верхний якорь; 4 — ненарушенный участок ствола скважины; 5 — нижний якорь; 6 — ведомый вал; 7 — бурильные трубы с левой резьбой; 8 — металлические накладки; 9 — левый ловильный инструмент (метчик, колокол); 10 — неустойчивый кавернозный участок ствола скважины; 11 — извлекаемые трубы

Если это место непригодно для закрепления УРТ 2 (не гарантирован надежный контакт башмаков со стенкой скважины), автором разработана специальная инженерная методика по выбору места установки УРТ 2 в скважине, расположенной вблизи к “голове” извлекаемых труб 11. В том случае, когда верхний конец извлекаемых труб находится в нарушенном неустойчивом участке ствола 10 скважины, а ненарушенный участок 4, пригодный для закрепле-

ния устройства, — выше, то между ловильным инструментом 9 и ведомым валом 6 устройства УРТ 2 предусматривается включение специального удлинителя из труб 7 с левой резьбой (рис. 1б). Если отвернуть аварийные трубы не удастся, то сбрасывается давление промывочной жидкости в рабочей колонне бурильных труб, якоря 3 и 5 освобождаются, устройство блокируется и при правом вращении левый ловильный инструмент 9 освобождается от извлекаемых труб 11.

Забойные устройства характеризуются высокой концентрацией мощности на единицу площади забоя. В зубчатых редукторах это приводит к большим контактным напряжениям как на зубьях, так и на рабочих поверхностях подшипника. Поэтому средний срок службы зубчатых передач обычно не превышает 100 ч. Уменьшить контактные напряжения можно установкой на параллельную работу нескольких зубчатых рядов, но устройства для деления суммарно передаваемого момента оказываются настолько сложными, что их практически не применяют.

У синусошариковых передач (СШП), в отличие от зубчатых, не наблюдается концентрация нагрузки. Им свойственна прирабатываемость — выравнивание нагрузки между отдельными шариками при эксплуатации передачи. Деление суммарного момента между секциями, поставленными на параллельную работу, достигается изготовлением продольных прорезей в наружных втулках. Это позволяет проектировать их с достаточным запасом прочности практически на любую заранее заданную мощность. Промышленные испытания показали, что срок службы СШП на порядок выше, чем у зубчатых редукторов планетарного типа.

Для создания работоспособной и надежной конструкции УРТ выбраны и исследованы следующие основные рабочие технические параметры.

Максимальный крутящий момент на ведомом валу редуктора УРТ — основной параметр для успешного развинчивания извлекаемых труб бурильных и обсадных колонн, так как их резьбовые соединения могут быть очень сильно затянуты, а момент затяжки — приближен к предельному значению прочности для данного диаметра и типа труб. Максимальный момент, развиваемый на ведомом валу редуктора УРТ, должен быть приближен или равен предельному моменту затяжки для резьбовых соединений извлекаемых труб (рис. 3) [2].

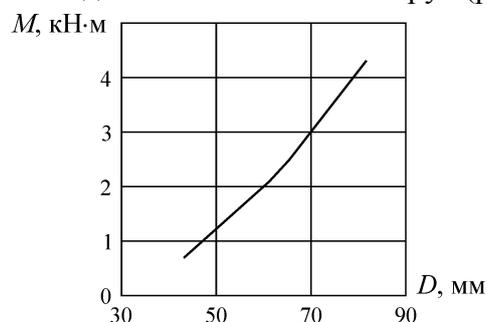


Рис. 3. График зависимости предельного момента затяжки резьбового соединения бурильных труб M от их диаметра D по ГОСТ Р 51245-99

В прочностном отношении наиболее опасной деталью СШП является водило [3], поэтому касательные напряжения в его поперечном сечении рассчитаны по формуле:

$$\tau = \frac{M}{0.5D_2} \cdot \frac{1}{0.5(D_2^E - D_2^J)(\pi D_2 - t \cdot b)},$$

где M — максимальный крутящий момент на ведомом валу УРТ, Н×см; D_2^E , D_2^J , D_2 — наружный, внутренний и средний диаметры водила, соответственно, см; t — число оконных проемов в синусошариковом ряду; b — ширина оконного проема, см.

Результаты исследований предельных значений касательных напряжений водила позволили создать конструкцию водила с трехкратным запасом прочности при реализации максимального крутящего момента согласно техническим требованиям.

Изгибающий момент. Во время отвинчивания затянутых резьбовых соединений извлекаемых труб с помощью УРТ, находящегося в разработанном стволе скважины (ее диаметр берется по максимальному диаметру выхода якорных башмаков УРТ), появляется напряжение изгиба, которое может привести к поломке рабочей бурильной колонны или вывести из строя УРТ. Напряжение изгиба можно выразить через изгибающий момент. Зная величину этого момента, можно сравнить его с предельным моментом для рабочих бурильных труб, на которых спущено УРТ в скважину. В устройстве для развинчивания труб предусмотрено применение двух якорей, которые своими башмаками воспринимают изгибающий момент, а расстояние между ними рассчитывается в зависимости от величины максимально возможного изгибающего момента.

Грузоподъемность и предельные нагрузки на растяжение. Растягивающие осевые нагрузки возникают при натяжении рабочей бурильной колонны для перенесения нулевого сечения к верхней границе прихвата в момент отвинчивания извлекаемой колонны труб при ее расхаживании и при одновременной работе с ударными механизмами или вибраторами. Наибольшими растягивающие нагрузки будут в верхнем сечении рабочей бурильной колонны. Максимальная допустимая нагрузка на растяжение в УРТ зависит от количества рядов и шариков в одном ряду синусошарикового зацепления. Благодаря такому устройству СШП может выдерживать большие осевые нагрузки. Для их уменьшения, а также повышения работоспособности и надежности в конструкции УРТ предусмотрен шариковый подшипник. Характер нагрузки — со значительными толчками и вибрациями, кратковременными перегрузками до двух номинальных нагрузок (максимальной растягивающей) с коэффициентом безопасности $K_6 = 2.5$ [4].

Нагрузки на сжатие. Сжимающие нагрузки на УРТ определяются весом рабочей бурильной колонны и действием осевой нагрузки от гидравлической системы бурового станка во время навинчивания левого метчика или левого колокола на извлекаемые трубы при недостаточном весе рабочей колонны или расхаживания после соединения с извлекаемой колонной.

Избыточное давление в гидроприводе. Для удержания реактивного момента, возникающего в УРТ при отвинчивании извлекаемых труб, сила трения между прижатыми башмаками якорей и стенками скважины Rf должна превосходить окружную силу смещения башмаков F , возникающую от реактивного момента M_p . Условие работоспособности тормозного устройства выражено в виде зависимости:

$$Rf \geq F. \quad (3)$$

Необходимая сила прижатия башмаков к стенкам скважины N (нормальное давление) рассчитывается по формуле:

$$N = KF_o / f_{тр} \quad (4)$$

где $K = 1.25 - 1.50$ — коэффициент запаса сцепления, для силовых передач; $f_{тр}$ — коэффициент трения покоя (для стали по породе $f = 0.3$); F_o — окружная сила, Н.

Усилие F вычисляется из соотношения:

$$A = 2M_p / D, \quad (5)$$

где D — поперечный размер (диаметр) максимального выхода башмаков, м.

В конструкции тормозного механизма устройства УРТ заякоривающие башмаки выдвигаются клиновыми распирателями, перемещающимися под действием давления промывочной жидкости, поступающей из бурильных труб в полости гидропривода якорей. Сила прижатия заякоривающих башмаков будет зависеть от угла клина, площади торца клинового распирателя, на который давит жидкость, и от величины давления самой жидкости.

В результате экспериментально-теоретических исследований, конструкторской проработки и производственных испытаний в ПО “Норильскгеология” сформулированы основные технические требования к УРТ для применения в скважинах диаметром 76 мм: диаметр устройства — не более 75 мм, выход тормозных элементов по диаметру — не менее 90 мм, максимальный крутящий момент — не менее 2.5 кН·м, допустимые осевые нагрузки на растяжение — не

менее 100 кН, на сжатие — не менее 180 кН, передаточное число редуктора 3–5, избыточное давление в гидроприводе — не менее $9.8 \cdot 10^5$ Па. Для передачи необходимого крутящего момента в конструкции УРТ применена схема синусошарикового реверсивного редуктора с заторможенным водилом и многорядным зацеплением (рис. 4).

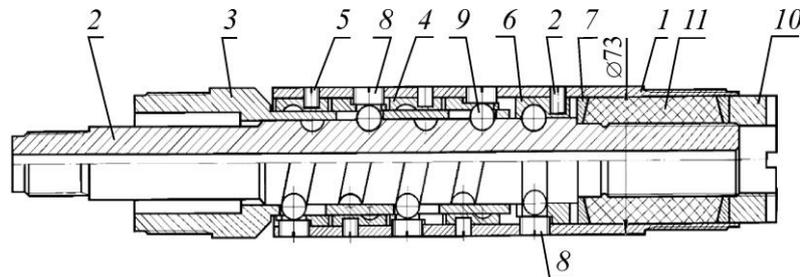


Рис. 4. Синусошариковый редуктор в устройстве для развинчивания труб в скважине: 1 — корпус; 2 — ведущий вал; 3 — водило; 4 — охватывающие втулки; 5 — винты; 6 — обойма подшипников; 7 — кольца; 8 — пробки для ввода шариков; 9 — шариковые сателлиты; 10 — гайка; 11 — пеньковое сальниковое уплотнение

Редуктор работает следующим образом. При правом вращении ведущего вала 2 приводятся в движение шаровые сателлиты 9, которые, взаимодействуя с оконными проемами водила 3 и синусоидальными беговыми дорожками охватывающих втулок 4, заставляют последние вращаться в левую сторону при заторможенном водиле. Эксперименты с различным исполнением деталей синусошарикового узла позволили выбрать наиболее приемлемую схему его компоновки.

Руководствуясь техническими требованиями, при расчетах принято: число периодов ведущей синусоиды $z_1 = 1$, число периодов ведомой синусоиды $z_3 = 4$, число полного комплекта шариков в одном синусошариковом ряду $t = 5$ (первая группа точек пересечения синусоид). Этому соответствует передаточное число:

$$\nu = \bar{\omega}_1 / \bar{\omega}_3 = -4, \quad (6)$$

где $\bar{\omega}_1$, $\bar{\omega}_3$ — частоты вращения ведущего и ведомого вала, соответственно.

Проведенные стендовые и производственные испытания синусошарикового редуктора диаметром 73 мм полностью подтвердили соответствие его параметров техническим требованиям. Опытный образец устройства для развинчивания труб прошел испытания в производственных условиях, по результатам которых скорректирована рабочая техническая документация, подготовлены методические указания по реализации способа отвинчивания и извлечения аварийной колонны [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Pustovoitenko I. P.** Prevention and liquidation of accidents in drilling, Moscow, Nedra, 1988, 237 pp. (in Russian) [Пустовойтенко И. П. Предупреждение и ликвидация аварий в бурении. — М.: Недра, 1988. — 237 с.]
2. **GOST R 51245-99.** Universal steel drill pipes. General specifications (in Russian) [ГОСТ Р 51245-99. Трубы бурильные стальные универсальные. Общие технические условия.]
3. **Ignatishchev R. M.** Sinus ball reducers, Minsk Higher School, 1983, 107 pp. (in Russian) [Игнатищев Р. М. Синусошариковые редукторы. — Минск: Выш. шк., 1983. — 107 с.]
4. **The design of machines nodes and parts: a manual for technical specialties of universities**, Moscow, Higher school, 1998, 447 pp. (in Russian) [Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пос. для техн. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1998. — 447 с.]
5. **Pat. 2362003 RF** A method of extracting pipes from a well and a device for its implementation, V. I. Sklyanov, A. A. Sokolov; Byull. Izobret., 2009, no. 20 [Пат. 2362003 РФ. Способ извлечения труб из скважины и устройство для его осуществления / В. И. Склянов, А. А. Соколов // Оpubл. в БИ. — 2009. — № 20.]