

## СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЗУБЬЯ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА

<sup>1,2</sup>Пяльченков В.А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет Минобрнауки России», Тюмень, Россия (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: general@tsogu.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «ГАУ Северного Зауралья Минсельхоза России», Тюмень, Россия (625000, г. Тюмень, ул. Республики, 7)

---

Предложен способ непосредственного измерения сил, действующих на элементы вооружения шарошечного долота в процессе его взаимодействия с забоем. Знание величин этих сил необходимо для оценки надежности и долговечности как отдельных элементов вооружения и опор, так и долота в целом. Анализ существующих экспериментальных методов исследования распределения нагрузки по элементам вооружения шарошек показывает недостаточную изученность данного вопроса. Разработано и изготовлено принципиально новое измерительное устройство, позволяющее замерять величину усилия, действующего на каждый зубок каждой шарошки при взаимодействии с неразрушающимся забоем, состоящим из концентрических стальных колец, разделенных на два сектора: рабочий, в котором производится измерение, и нерабочий. Измерение производится с помощью тензометрических датчиков, наклеенных на специальной балки. Сигналы датчиков усиливаются, регистрируются и обрабатываются с помощью специальной аппаратуры. Данный способ и устройство позволяют оперативно и с минимальными затратами испытывать долота различных типоразмеров с целью оптимизации конструкции вооружения и опор шарошечных долот, в том числе на стадии их проектирования.

---

Ключевые слова: бурение, долото, шарошка, вооружение шарошки, опора, нагрузка.

## METHOD OF MEASUREMENT OF THE FORCES ACTING ON THE TEETH OF ROLLER BIT

<sup>1,2</sup>Pyalchenkov V. A.

<sup>1</sup>FGBOU VPO "Tyumen State oil and gas University, Ministry of education and science of Russia, Tyumen, Russia (625000, Tyumen, street Volodarskogo, 38), e-mail: general@tsogu.ru

<sup>2</sup>FGBOU VPO "HAU Northern Zauralye the Ministry of agriculture of Russia, Tyumen, Russia (625000, Tyumen, street Republic, 7)

---

A method is proposed to directly measure the forces acting on the elements of drill-bit cutting structures of the bit during its interaction with the bottom. Knowledge of the magnitudes of these forces it is necessary to assess the reliability and durability of certain elements of the arms and the supports, and the General bit. Analysis of existing experimental methods of load distribution on the elements of weapons cutters shows the lack of knowledge of this issue. Designed and manufactured completely new measuring device allows to measure the amount of force acting on each tooth of each cutter when interacting with non-volatile slaughter, consisting of concentric steel rings, divided into two sectors, a work in which the measurement is taken and broken. It is measured using strain gauges glued on a special beam. The sensor signals are amplified, recorded and processed with the help of special equipment. This method and apparatus allow quickly and with minimal cost to test bits of various sizes to optimize the design of the arms and the supports of drill bits, including at the stage of their design.

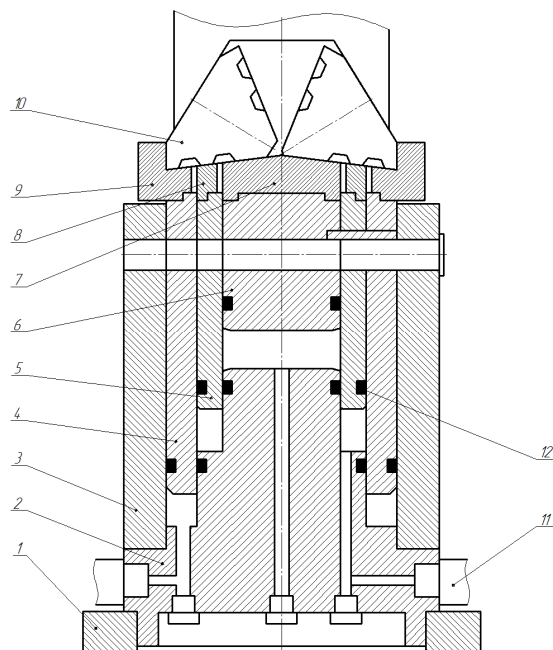
---

Keywords: drilling, bit, cutter arms of the cutter, a support, a load.

Надежность и долговечность нефтепромыслового и бурового оборудования и инструмента зависит от многих факторов [3; 6]. Одним из них являются величины усилий, действующих на рабочие элементы. Для буровых долот такими элементами являются зубки шарошек, непосредственно воздействующие на разрушаемую породу. Анализ существующих экспериментальных методов исследования распределения нагрузки по элементам вооружения шарошек показывает недостаточную изученность данного вопроса [1; 2; 9]. Известны разные способы измерения величины этих сил. Наиболее просто нагрузки,

действующие на зубья шарошки долота в процессе бурения, определяются непосредственным измерением с помощью тензометрических датчиков, наклеенных на боковые поверхности зубьев. Главный недостаток данного способа заключается в том, что зубья имеют малые размеры и шарошки, с наклеенными на них датчиками, вращаются. Известен метод экспериментального определения осевых усилий, действующих на зубки шарошек с твердосплавным вооружением в статическом положении. Долото, опирающееся зубками шарошек на специальные динамометры, нагружалось осевой силой. Были исследованы различные варианты, когда шарошки могли опираться на один, два или три зубка, расположенных на разных венцах. Однако полученные результаты вряд ли отражают реальную картину, так как для предотвращения поворота шарошек последние приваривались к лапам долота. Это дополнительное крепление шарошек существенно изменяло жесткость конструкции, что приводило к искажению результатов. Интересна методика экспериментального определения нагрузки, действующей на каждую секцию модели шарошечного долота во время ее работы по забою, с последующей аналитической оценкой распределения этих нагрузок между подшипниками опоры [1]. Модель долота составлена из трех шарошечных узлов, каждый из которых установлен на цилиндрической измерительной балке, жестко закрепленной на базовой плите. Сверху на модель долота опирается вращающийся забой. С помощью тензометрических датчиков определяются вертикальная нагрузка на секцию, крутящий и изгибающие моменты. Затем, с привлечением гипотез и допущений, производится расчет нагрузок, действующих на вооружение и подшипники. Данная методика позволяет определить нагрузку, действующую на каждую секцию долота, достаточно просто моделировать погрешности изготовления долота и оценивать их влияние на распределение нагрузки по секциям. К достоинствам методики можно отнести и возможность проведения испытаний на забое, изготовленном из реальной горной породы. Однако необходимость выполнения сложных расчетов снижают достоверность результатов.

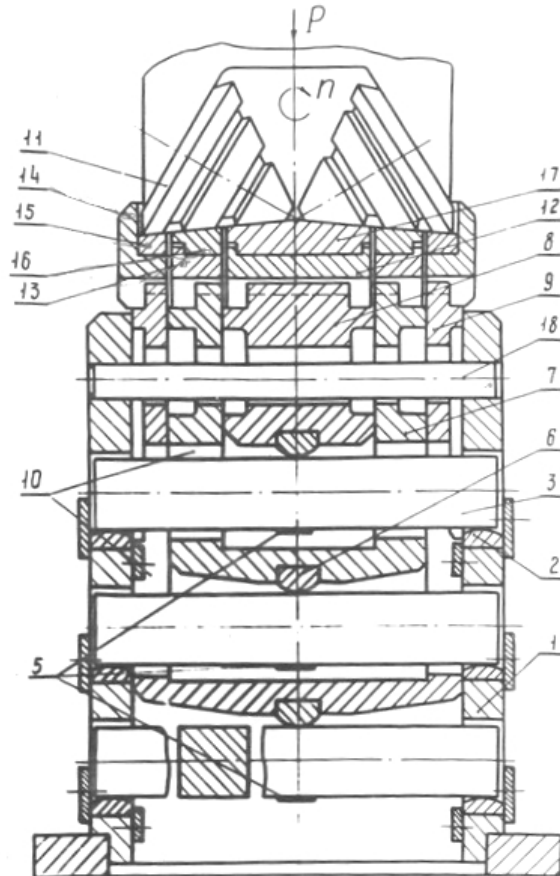
Перспективным, на наш взгляд, для прямого экспериментального измерения усилий, действующих на элементы вооружения шарошечных долот, является метод дифференциации забоя [2]. Забой выполнен в виде трех концентрических стальных колец. С помощью гидротелескопического устройства, схема которого приведена на рис. 1, можно замерить суммарные осевые нагрузки и крутящие моменты, действующие на одноименные венцы всех шарошек долота.



*Рис. 1. Схема гидротелескопического устройства:*

*1, 2, 3 - детали корпуса; 4, 5, 6 - плунжеры; 7, 8, 9 - кольца забоя; 10 - долото; 11 - датчики;  
12 - уплотнения*

Существенным недостатком данного устройства является возможная утечка жидкости, что может привести к искажению картины распределения усилий. Кроме того, только кольцевая дифференциация забоя не позволяет получить полное представление о распределении нагрузок по вооружению отдельных шарошек. Для расширения возможностей более глубокого изучения вопроса, а также для проверки результатов, полученных расчетно-аналитическими методами [5; 7; 8; 10], нами разработан способ, позволяющий определять усилия, воспринимаемые каждым зубком каждой шарошки реального долота. При разработке конструкции устройства для замера осевых и тангенциальных составляющих усилий взаимодействия зубьев шарошек долота с забоем принят принцип дифференциации забоя. Но для исключения недостатков, присущих гидротелескопическому устройству, в качестве чувствительных элементов были выбраны тензометрические балки. На рис. 2 представлен общий вид измерительного устройства [4].



*Рис. 2. Общий вид измерительного устройства:*

*1 - основание; 2 - опоры; 3 - балки; 5 - датчики; 6 - вкладыши; 7, 8, 9, 10 - плунжеры; 11 - долото; 12, 13, 14 - накладки; 15, 16, 17 - вставки; 18 - ось*

Измерительное устройство состоит из основания 1, в котором свободно установлены на сменных опорах тензометрические балки 3. На каждую балку опираются плунжеры 7, 8, 9. Количество плунжеров определяется количеством венцов исследуемого долота 11. К плунжерам крепятся сменные кольцевые вставки 15, 16, 17, изготовленные из материала, имитирующего горную породу, и составляющие забой, по которому перекатываются шарошки. Каждая вставка подвержена силовому воздействию только своего венца, что определяется диаметром вставки, соответствующим геометрическим размерам венца. Для предотвращения поворота забоя предусмотрена ось 18, закрепленная в корпусе 1. При вращении долота по сменным вставкам, имитирующим забой, воспринимаемое усилие передается на тензометрические балки с датчиками 5, преобразуется в электрический сигнал и регистрируется соответствующей аппаратурой. Балки, изготовленные из пружинной стали с высокой твердостью, опираются на опоры 2, установленные в корпусе устройства. Высокая твердость деталей тензометрической части системы «вкладыш – балка - опора» необходима для ее длительной работы без изменения формы контакта рабочих поверхностей. Контакт

балки с опорами и плунжерами происходит по линии, что обеспечивает стабильность результатов измерений. Тензометрические балки устройства имеют высокую чувствительность и достаточную жесткость. Так, прогиб одной балки при действии на нее усилия в 100 кН составляет лишь 0,1 мм. Отсутствие промежуточной рабочей среды (жидкости) повышает надежность устройства при испытании шарошечных долот любых типоразмеров. Применение в качестве измерителя двухопорных балок прямоугольного сечения с тензометрическими датчиками повышает точность измерений и снижает трудоемкость подготовки и проведения исследований. Использование плунжеров без уплотнений уменьшает затраты на их изготовление, упрощает конструкцию и эксплуатацию устройства.

Конструкция кольцевого забора устройства, представленная на рис. 2, позволяет измерить лишь суммарное усилие на одноименных венцах всех шарошек. Для отдельной регистрации усилий, действующих на венцы каждой шарошки, необходима дополнительная дифференциация забора на два сектора: рабочий (измерительный) сектор I и нерабочий сектор II (рис. 3). При вращении долота по забою шарошки последовательно контактируют с кольцевыми вставками рабочего сектора забора I.

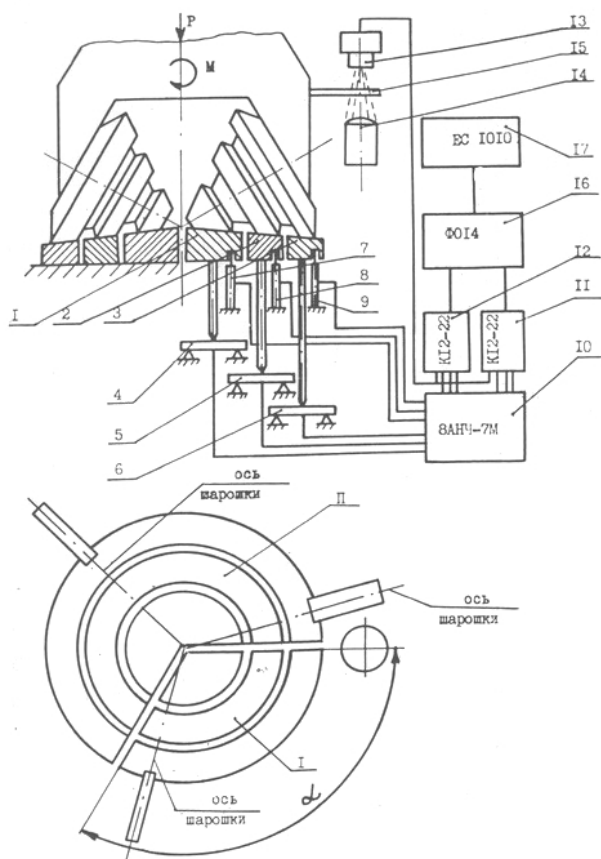


Рис. 3. Принципиальная схема замера и регистрации усилий, действующих на зубья шарошек:

*1, 2, 3 - кольцевой забой рабочего сектора; 4, 5, 6, 7, - тензометрические балки; 7, 8, 9 - вкладыши; 10 - усилитель; 11, 12 - осциллографы; 16, 17 - преобразующая аппаратура*

В рабочем секторе одновременно может находиться только одна шарошка долота. Остальные шарошки в это время находятся в нерабочем секторе забоя II, неподвижно закрепленном на корпусе измерительного устройства. Каждой венце шарошки опирается на свой кольцевой участок 1, 2, 3 рабочего сектора. Вертикальные составляющие реакций взаимодействия зубьев шарошки с забоем, параллельные оси вращения долота деформируют тензометрические балки 4, 5, 6. Чувствительными элементами для регистрации тангенциальных составляющих реакций взаимодействия зубьев шарошки с забоем, направленных перпендикулярно оси вращения долота, служат специальные вкладыши 7, 8, 9, консольно закрепленные в корпусе измерительного устройства. На боковые грани вкладышей также наклеены тензодатчики. Свободный конец каждого вкладыша соединен с одним из кольцевых участков рабочего сектора забоя. Деформации балок и упругих вкладышей преобразуются датчиками в электрические сигналы, пропорциональные величинам осевых и тангенциальных реакций взаимодействия зубков шарошек долота с забоем, которые регистрируются и обрабатываются с помощью специальной аппаратуры. Данное устройство позволяет непосредственно измерять величину осевой и тангенциальной силы, действующей на каждый зуб каждой шарошки долота, и может использоваться для оптимизации конструкции как существующих, так и опытных шарошечных долот.

### **Список литературы**

1. Долгушин В.В., Кулябин Г.А. Метод расчета усилий в подшипниковом узле шарошки бурового долота // Известия вузов. Нефть и газ. – 2012. - № 2. – С. 49-56.
2. Мардахаев А.А., Рубарх В.М., Коровинских Л.Н. Устройство для замера распределения усилий и моментов по венцам шарошечных долот // Машины и нефтяное оборудование: РНТС ВНИИОЭНГ. - 1976. - № 10. - С. 27-29.
3. Методы обеспечения надежности эксплуатации скважинного оборудования / Р.Я. Кучумов, В.А. Пяльченков, Д.В. Пяльченков ; ТюмГНГУ. - Тюмень : ТюмГНГУ, 2005. - 148 с.
4. Пяльченков В.А. Устройство для исследования шарошечного долота : авторское свидетельство № 840268 / Виноградов В.Н., Коротков В.А., Пашков А.Н., Брагин А.Ф. – 1981. - Б.И. - № 23.

5. Пяльченков В.А. Повышение работоспособности шарошечных долот путем рационального распределения нагрузок по элементам вооружения : дис. ... канд. тех. наук. – М., 1983. - С. 216.
6. Пяльченков В.А., Кучумов Р.Я., Пяльченков Д.В. Численное моделирование показателей надежности установок ЭЦН с помощью алгоритма системы с «быстрым» восстановлением // Известия вузов. Нефть и газ. – 2005. - № 4. - С. 43-49.
7. Пяльченков В.А. К оценке долговечности подшипников опоры шарошечного долота // Современные проблемы науки и образования. – 2014. - № 6. - URL: [www.science-education.ru/120-16677](http://www.science-education.ru/120-16677) (дата обращения: 08.01.2015).
8. Пяльченков В.А. Аналитическое исследование деформируемости деталей шарошечного долота // Современные проблемы науки и образования. – 2015. - № 1. - URL: [www.science-education.ru/121-17246](http://www.science-education.ru/121-17246) (дата обращения: 02.02.2015).
9. Пяльченков В.А. Методы исследования нагруженности вооружения и подшипников опоры шарошечных долот // Известия вузов. Нефть и газ. – 2015. - № 1. - С. 88-95.
10. Пяльченков В.А. Экспериментальное исследование деформируемости элементов шарошечного долота // Современные проблемы науки и образования. – 2015. - № 1. - URL: [www.science-education.ru/121-17926](http://www.science-education.ru/121-17926) (дата обращения: 05.04.2015).

**Рецензенты:**

Долгушин В.В., д.т.н., профессор, директор Института промышленных технологий и инжиниринга ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Пирогов С.П., д.т.н., профессор кафедры «Прикладная механика» ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.