

## ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ЗАГРУЖЕННОСТЬ ВООРУЖЕНИЯ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА

Пяльченков В.А.<sup>1,3</sup>, Смолин Н.И.<sup>2</sup>

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

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

<sup>3</sup>ФГКВООУ ВПО «Тюменское высшее военно-инженерное командное училище (военный институт) имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова Минобороны России», Тюмень, Россия (625001, Тюмень, ул. Л. Толстого, д. 1)

---

Приведены результаты экспериментального изучения влияния точности изготовления шарошечных долот на загруженность вооружения. Результаты промысловых исследований долот указывают на существенное снижение стойкости опор шарошек и проходки на долото с увеличением разновысотности шарошек. Одной из причин снижения стойкости является неравномерное распределение осевой нагрузки по секциям. Для установления количественных закономерностей влияния разновысотности шарошек на загруженность вооружения была испытана на специальном стенде партия долот, разновысотность которых изменялась в пределах от 0,34 до 1,28 мм. Установлено, что при неблагоприятном сочетании взаимного положения шарошек даже в пределах допуска на разновысотность нагрузка, действующая на одну шарошку, может увеличиваться почти в 2 раза. Результаты исследований позволяют более обоснованно подходить к назначению показателей точности изготовления долот.

---

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

## THE IMPACT OF PRECISION MANUFACTURING ON THE LOAD ARMS OF A ROLLER BIT

Ryalchenkov V.A.<sup>1,3</sup>, Smolin N.I.<sup>2</sup>

<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)

<sup>3</sup>FGKVOU VPO «Tyumen Higher Military Engineering Command School (Military Institute) named after Marshal of Engineering Troops A.I. Proshlyakova Russian Defense Ministry», Tyumen, Russia (625001, Tyumen, street Tolstoy, 1)

---

Results of experimental study of the influence of precision manufacturing of roller bits on the load arms. The results of field studies of bits indicate a significant reduction in the resistance of the supports of the cutters and tunnelling on the bit with the increase raznovysotnyh cutter. One of the reasons for reducing the resistance is the uneven distribution of axial load on the sections. For quantification of patterns of influence raznovysotnyh cutters on the heavy armament was tested on a special stand, the party bits, a different height which was varied in the range of from 0,34 to 1,28 mm found that under unfavorable combination of the relative position of the cutters even within the tolerance to the different height, the load acting on a single cutter can be increased almost twice. The results allow a more reasonable approach to assigning measures of accuracy of manufacture of the bits.

---

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

Надежность и долговечность нефтепромыслового и бурового оборудования и инструмента зависят от многих технологических и эксплуатационных факторов [2, 3,4, 5], в том числе от величин усилий, действующих на их элементы в процессе работы [2, 8]. Результаты расчетно-аналитического и экспериментального методов определения загруженности рабочих элементов вооружения шарошечных долот, полученные даже при нулевой или близкой к нулю величине разновысотности шарошек, показали значительную

перегруженность отдельных секций долота [1, 6, 7, 10]. В то же время имеющая место в практике производства долот разновысотность шарошек будет дополнительно оказывать существенное и неблагоприятное влияние на перераспределение осевой нагрузки, вызывая в ряде случаев еще большую степень перегрузки отдельных элементов долота.

Стеновыми и промысловыми исследованиями работоспособности шарошечных долот, изготовленных с различной степенью отклонения основных геометрических параметров от номинальных значений, установлено отрицательное влияние этих отклонений на основные показатели работы долота. В частности, результаты промысловых исследований нескольких групп шарошечных долот различных типов указывают на существенное снижение стойкости опор шарошек и проходки на долото с увеличением разновысотности шарошек. Отмечается, что с увеличением твердости разбуриваемых пород отрицательное влияние разновысотности на стойкость опор шарошек возрастает. Одной из причин снижения стойкости долот с увеличением разновысотности шарошек является неравномерное распределение осевой нагрузки по секциям долота, вызывающее опережающий износ и разрушение элементов вооружения и опорных узлов отдельных шарошек.

Вопрос о влиянии разновысотности на загруженность элементов долота изучен еще недостаточно. Все известные исследования выполнены только для долот с фрезерованным вооружением. Предпринимались попытки оценить влияние разновысотности на величину нагрузки, действующей на роликовые подшипники опор шарошек модели долота [9]. Однако, вероятно, из-за сложности проведения исследований по данной методике испытывался лишь один вариант взаимного положения шарошек, что явно недостаточно для получения количественных зависимостей загруженности элементов опор от разновысотности. По методике, разработанной во ВНИИБТ [2, 9], проводились исследования влияния разновысотности на загруженность секций шарошечного долота. Моделирование разновысотности осуществлялось за счет вертикального перемещения второй секции модели относительно первой и третьей секций в пределах от +5 до -5 мм через интервал 1 мм. Проведенные исследования позволяют установить качественную взаимосвязь между положением одной секции долота относительно других и действующей на нее вертикальной нагрузкой. Но выбранные пределы изменения разновысотности, обусловленные возможностями методики, в реальных долотах практически не встречаются, что снижает практическую ценность полученных результатов.

С целью установления количественных закономерностей влияния разновысотности шарошек на загруженность элементов твердосплавного вооружения долот на специальном стенде [2] была испытана партия долот Ш215,9К-ПВ, разновысотность шарошек у которых

менялась в пределах от 0,34 до 1,28 мм. Величина разновысотности определялась как абсолютное значение максимальной разницы уровней расположения шарошек, замеряемых по периферийным рядам зубьев, относительно упорного уступа резьбы. Для исключения погрешности при испытаниях при переходе от опыта к опыту долота были подобраны с одинаковыми радиальными и осевыми люфтами в опорах шарошек. Очевидно, что взаимное положение трех шарошек вдоль оси резьбы долота не может быть исчерпывающе охарактеризовано одним параметром — разновысотностью. Поэтому у долот, предназначенных для исследований, взаимное положение шарошек определялось двумя параметрами —  $X_1$  и  $X_2$  (рис. 1).

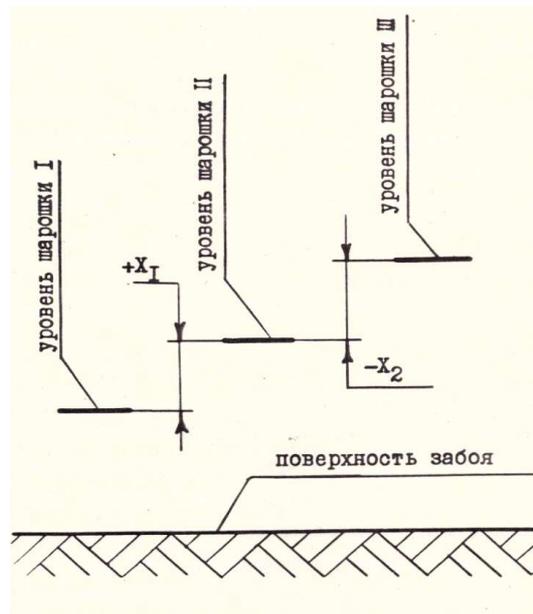


Рис. 1. Схема определения положения шарошек

Здесь  $X_1$  — разница уровней расположения первой и второй шарошек относительно упорного уступа,  $X_2$  — разница уровней расположения второй и третьей шарошек. За начало отсчета выбрано положение второй шарошки, и, если первая или третья шарошка смещена относительно второй в направлении забоя, то соответствующий параметр имеет положительный знак, если же смещение в противоположном направлении, то отрицательный. Чтобы выяснить влияние положения шарошек относительно упорного уступа на распределение осевой нагрузки по венцам каждой шарошки, необходимо установить зависимости вида:

$$P_i = F_i(X_1, X_2) ; \quad (1)$$

где  $P_i$  — средняя осевая нагрузка, действующая на  $i$ -тый венец.

Для получения зависимостей (1) непосредственно из эксперимента необходимо провести несколько серий испытаний, оставляя постоянным в одной серии значения одного параметра и меняя значения второго параметра. Однако результаты обмера долот показали, что параметры  $X_1$  и  $X_2$  являются случайными и независимыми величинами, и практически невозможно подобрать необходимое для проведения исследований количества долот с заранее заданными сочетаниями параметров  $X_1$  и  $X_2$ . Поэтому нами для решения поставленной задачи был избран другой путь. У долот, отобранных для проведения исследований, величина разновысотности менялась в пределах от 0,34 до 1,28 мм, причем сочетание параметров  $X_1$  и  $X_2$  произвольное и разнообразное. Отобранные долота испытывались при осевой нагрузке на долото 80 Кн и угловой скорости долота  $3,3 \text{ с}^{-1}$ . В результате проведенного исследования получены значения  $P_i$ , соответствующие относительной средней загрузженности в процентах к общей осевой нагрузке всех венцов долота при различных взаимных положениях шарошек. Определение зависимостей вида (1) по полученным экспериментальным данным для каждого венца осуществлялось с помощью математического аппарата регрессионного анализа. Поскольку вид функции  $P_i$  заранее неизвестен, выбирали его в виде отрезка полинома:

$$P_i = B_{0i} + B_{1i} * X_1 + B_{2i} * X_2 + B_{3i} * X_1^2 + B_{4i} * X_2^2 + \dots ; \quad (2)$$

Оценка коэффициентов регрессии  $B_i$  производилась методом наименьших квадратов. Были рассчитаны коэффициенты регрессии для различных степеней полинома. Проверка адекватности полученных математических моделей опытным данным осуществлялась по критерию Фишера. Значимость коэффициентов регрессии оценивалась по t-критерию Стьюдента.

В результате расчетов установлено, что изменение загрузженности периферийных венцов в зависимости от положения шарошек адекватно при уровне доверительной вероятности 0,95 и описывается полиномами третьей степени. Так, для периферийного венца первой шарошки эта зависимость имеет вид:

$$P_1 = 10,21 + 4,65 X_1 - 1,83 X_2 + 1,9X_1^2 - 0,9X_2^2 + 4,03X_1^3 - 1,71X_2^3 ; (3)$$

Зависимость загрузженности среднего и вершинного венцов этой же шарошки описывается следующими полиномами:

$$P_2 = 20,32 + 1,23X_1 - 0,53X_2 + 1,45X_1^3 - 0,82X_2^3; \quad (4)$$

$$P_3 = 13,84 + 1,07X_1 - 0,69X_2; \quad (5)$$

Аналогичные зависимости получены и для остальных шарошек долота. По рассчитанным математическим моделям изменения  $P_i$  от  $X_1$  и  $X_2$ . построены графические зависимости относительной загруженности всех венцов первой шарошки от  $X_1$  при  $X_2=0$  (рис. 2).

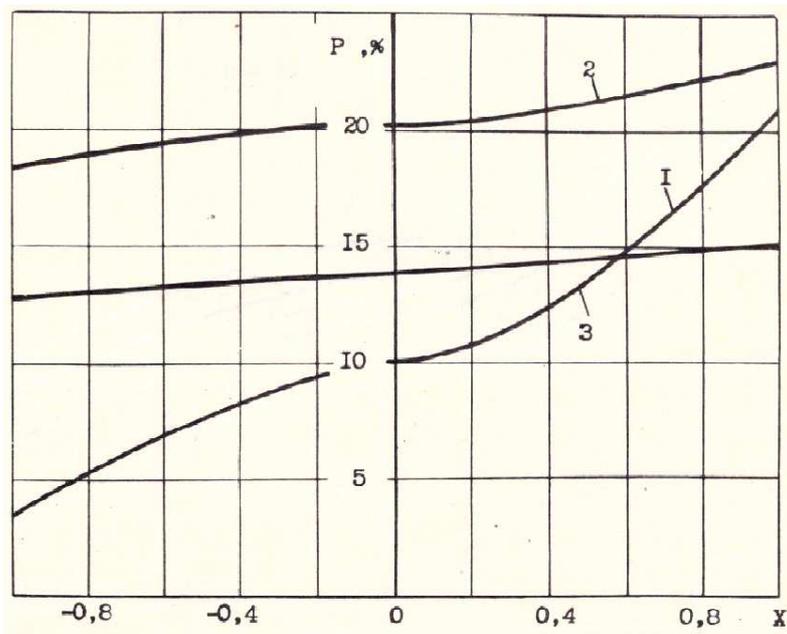


Рис. 2. Зависимости относительной загруженности венцов первой шарошки долота III215,9КПВ от взаимного положения шарошек при  $P=80$  Кн,  $\omega=3,3$  с<sup>-1</sup> (1 — периферийный венец, 2 — средний венец, 3 — вершинный венец,  $X_2=0$ )

Наибольшее влияние взаимное расположение шарошек относительно уступа резбы оказывает на загруженность периферийного венца. Это, очевидно, можно объяснить конструкцией вооружения шарошек. Дело в том, что у всех трех шарошек периферийные венцы разрушают один и тот же кольцевой участок забоя, в то время как каждый другой венец разрушает свой кольцевой участок забоя. Поэтому наибольшая доля работы по разрушению периферийного участка забоя приходится на периферийный венец той шарошки, которая выступает относительно двух остальных шарошек в сторону забоя.

Просуммировав выражения  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , получим зависимость относительной загруженности первой шарошки от ее положения относительно второй и третьей шарошек:

$$P_1 = 44,37 + 6,95X_1 - 3,05X_2 + 1,9X_1^2 - 0,9X_2^2 + 5,48X_1^3 - 2,53X_2^3; \quad (6)$$

Графическая интерпретация зависимости (б) при изменении  $X_1$  и  $X_2$  в пределах от  $-1$  мм до  $+1$  мм приведена на рисунке 3.

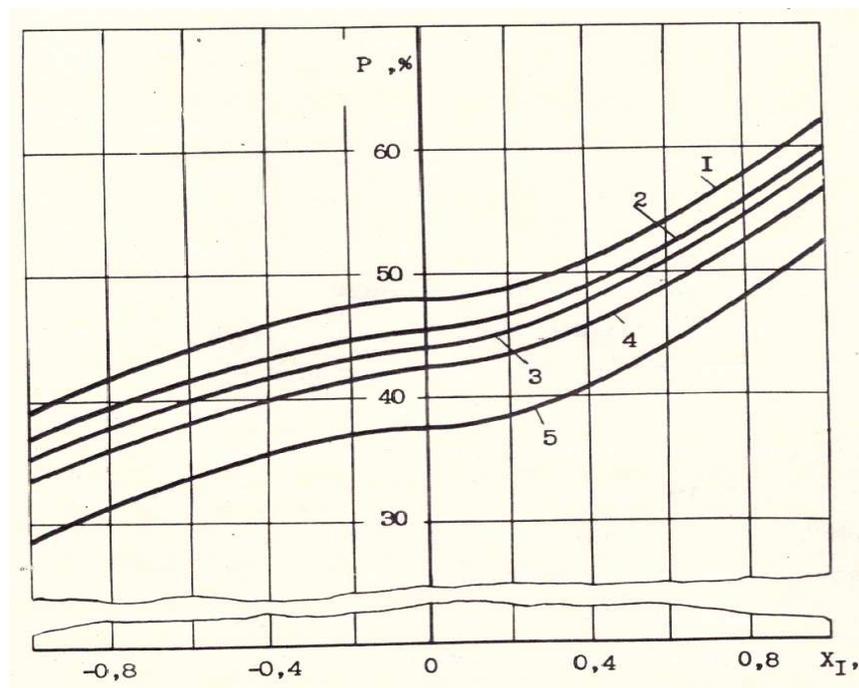


Рис. 3. Зависимость относительной загрузки первой шарошки долота Ш215,9К-ПВ от взаимного положения шарошек при  $P=80$  Кн,  $\omega=3,3$  с<sup>-1</sup> (1- $X_2=-1$  мм; 2- $X_2=-0,5$  мм; 3- $X_2=0$  мм; 4- $X_2=+0,5$  мм; 5- $X_2=+1$  мм)

Нетрудно убедиться, что при наиболее неблагоприятных сочетаниях  $X_1$  и  $X_2$ , изменяющихся даже в пределах допуска на разновысотность шарошек, нагрузка, действующая на одну из шарошек долота Ш215,9К-ПВ, может увеличиваться почти в 2 раза. Это в свою очередь приведет к увеличению интенсивности изнашивания и разрушению вооружения и элементов опорного узла шарошки, как следствие — к уменьшению долговечности долота в целом.

Приведенные результаты исследования влияния разновысотности шарошек на распределение осевой нагрузки по элементам твердосплавного вооружения шарошечных долот вполне согласуются с результатами промышленных исследований влияния точности их изготовления на показатели эффективности работы долот. Они еще раз подтверждают важность задачи уменьшения разновысотности шарошек и более обоснованного назначения допуска на ее величину, что, несомненно, позволит существенно повысить работоспособность 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. Пяльченков В.А. Повышение работоспособности шарошечных долот путем рационального распределения нагрузок по элементам вооружения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина. – М., 1983, — 216 с.
3. Организация ремонтных работ на скважинах в осложненных условиях разработки нефтяных месторождений [Текст] / Р. Я. Кучумов, В. А. Пяльченков, Кучумов Р.Р.; ТюмГНГУ. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. — 154 с.
4. Методы обеспечения надежности эксплуатации скважинного оборудования [Текст] / Р.Я. Кучумов, В.А. Пяльченков, Д.В. Пяльченков; ТюмГНГУ. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. — 148 с.
5. 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.
6. Пяльченков В.А. Исследование распределения нагрузки между подшипниками опоры шарошечного долота с использованием фотоупругой модели // Известия вузов. Нефть и газ. – 2014. — № 1. – С. 57–61.
7. Пяльченков В.А. Аналитическое определение реакций в опорах шарошечного долота // Известия вузов. Нефть и газ. – 2014. — № 3. – С. 66–72.
8. 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).
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. Моделирование загруженности подшипников опоры шарошечного долота // Механика и процессы управления. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. — С. 105–109.

**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.