

УДК 622.24.051

### **Разработка и испытания шарошечного долота с новым расположением зубков по шарошкам**

**В. А. Пяльченков\*, Д. В. Пяльченков**

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

*\*e-mail: pial228@rambler.ru*

*Аннотация.* Исследованиями установлено, что осевая нагрузка, приложенная к долоту, распределяется по венцам шарошек неравномерно. Наиболее загруженными являются средние венцы. Величина осевого усилия, воспринимаемая отдельным венцом, связана с деформацией деталей шарошечного узла. Уменьшить неравномерность загрузки венцов можно за счет смещения их по шарошке вдоль радиуса долота, располагая их так, чтобы вертикальная линия, проходящая через центр нижнего шарика замкового подшипника, проходила через середину зазора между венцами соседних шарошек. Долота с новым вариантом размещения зубков по шарошкам были испытаны на стенде и в промышленных условиях. У долот данной конструкции осевая нагрузка распределялась по венцам более равномерно, что позволило повысить показатели эффективности их работы.

*Ключевые слова:* бурение; долото; шарошка; вооружение шарошки; опора; нагрузка

### **Development and testing of rolling cutter bit with a new arrangement of teeth on the balls**

**Vladimir A. Pyalchenkov\*, Dmitry V. Pyalchenkov**

*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

*\*e-mail: pial228@rambler.ru*

*Abstract.* Research has found that the axial load applied to the bit is distributed unevenly along the crowns of the balls. The middle crowns are the busiest. The value of the axial force perceived by a separate ring is associated with the deformation of the details of the ball joint. You can reduce the uneven loading of crowns by shifting them along the ball along the radius of the bit, placing them so that the vertical line passing through the center of the lower ball of the lock bearing passes through the middle of the gap between the crowns of neighboring balls. The bits with the new option of placing the teeth on the balls were tested on the stand and in industrial conditions. For the bits of this design, the axial load was distributed more evenly over the crowns, which allowed increasing the efficiency of their work.

*Key words:* well drilling; bit; roller; cutting structures of roller; support; load

## Введение

При бурении скважин, предназначенных для добычи нефти и газа (глубоких), взрывных скважин на карьерах (мелких) и других скважин применяют разнообразный буровой инструмент. В зависимости от формы буримого забоя буровой инструмент называют либо буровым долотом, либо бурильной головкой. Долотами производят бурение скважин сплошным забоем, бурильными головками — кольцевым забоем. Бурение кольцевым забоем осуществляют для извлечения колонки породы — керна. По принципу воздействия долот на горную породу (по механизму разрушения горной породы) долота для вращательного бурения принято подразделять на долота режущего или режуще-истирающего действия и долота ударного или ударно-сдвигающего действия [1]. Хотя эта классификация достаточно условна, так как долота одного типа могут одновременно оказывать на породу различное воздействие. К долотам режущего или режуще-истирающего действия принято относить лопастные, фрезерные и алмазные долота, долота PDC, а также одношарошечные и двухшарошечные долота со сферическими головками, у которых происходит непрерывный контакт зубцов с забоем. К долотам ударного или ударно-сдвигающего действия относятся шарошечные долота с коническими шарошками. Несмотря на все расширяющуюся область применения долот PDC, до последнего времени одним из наиболее распространенных инструментов для бурения различных скважин являются шарошечные долота. Этими долотами выполняется наибольший объем бурения скважин в большинстве стран. Из всех буровых долот шарошечные долота имеют самую сложную конструкцию. Весьма сложной и специфической является и технология их изготовления. К материалу деталей шарошечных долот предъявляются тоже очень высокие требования. На поверхности корпуса шарошки расположены породоразрушающие элементы. Они могут быть стальными, профрезерованными непосредственно на выступающем кольцеобразном участке корпуса шарошки, называемым венцом. Такие элементы называют зубьями или зубцами. Породоразрушающие элементы могут быть также выполнены в виде стержней, изготовленных спеканием из карбидовольфрамового порошка (твердого сплава), запрессованных в отверстия, просверленные на венцах шарошек. Такие элементы называют зубками. Совокупность породоразрушающих элементов принято называть вооружением шарошки или долота в целом. В связи с этим различают долота с фрезерованным вооружением или с твердосплавным вооружением. Шарошки установлены на опорах, состоящих из нескольких различных подшипников.

Опора в процессе вращения шарошки обеспечивает передачу осевой нагрузки и крутящего момента, приложенных к долоту, через подшипники на элементы вооружения шарошки, непосредственно контактирующие с породой забоя. Рассмотрим схему сил, действующих на шарошку со стороны забоя (рис. 1) [1].

Со стороны забоя на шарошку действуют вертикальная составляющая удельной реакции забоя  $q_1$ , удельные нагрузки  $q_2$  и  $q_3$ , вызываемые поперечным проскальзыванием зубьев по забою и стенкам скважины в направлении вращения долота, удельная нормальная реакция стенки скважины  $q_4$  на затылочную часть шарошки и удельная нагрузка  $q_5$ , связанная с проскальзыванием зубьев шарошки в радиальном направлении, вызванном смещением оси шарошки в плане  $e_0$ .

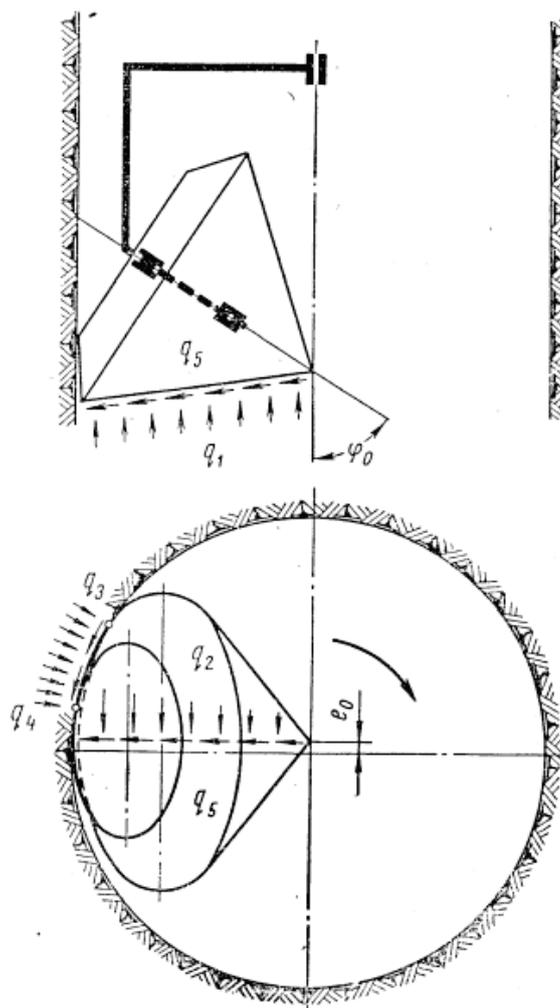


Рис. 1. Нагрузки, действующие на тело шарошки со стороны разрушаемой породы

Необходимо отметить, что представленная схема сил, действующих на вооружение и опору шарошки, является достаточно условной. Ввиду высокой сложности процесса взаимодействия вооружения шарошек с породой и сложности конструкции шарошечного долота вопрос о величине и источниках возникновения нагрузок в опоре шарошки до сих пор недостаточно изучен и является дискуссионным [1–8]. В частности, имеются противоречивые данные о загруженности деталей вооружения и подшипников. Непосредственное измерение усилий, действующих на отдельные элементы вооружения (зубки) долота П215,9К-ПВ со стороны материала забоя, было проведено с помощью специального устройства [9–13]. Эти измерения показали, что величины усилий, действующих на зубки разных венцов и разных шарошек, отличаются друг от друга. Самыми загруженными зубками у испытуемых долот являются зубки, расположенные на средних венцах всех шарошек. Статистическая обработка результатов измерения, представленных в виде цифровой информации, выполненная по специальной программе, позволила установить, что математическое ожидание осевого усилия за шесть оборотов долота, действующего на средний венец первой шарошки, может составлять около 20 % от общей осевой силы, прило-

женной к долоту. Это существенно превышает величины усилий, приходящихся на зубки периферийных и вершинных венцов этой шарошки. Математические ожидания осевых усилий, действующих на средние венцы других шарошек, также превышают аналогичные усилия, действующие на зубки периферийных и вершинных венцов. Результаты измерений показали, что отдельные зубки среднего венца первой шарошки долота П215,9К-ПВ могут воспринимать до 50 % всей осевой нагрузки.

#### Объект и методы исследования

Одним из факторов, обуславливающих неравномерность загруженности зубков, расположенных на разных венцах шарошек, является различная жесткость системы «шарошка — забой», при взаимодействии с забоем венцов шарошек, расположенных на разных радиусах долота. К такому выводу можно прийти, рассмотрев плоскую модель взаимодействия шарошек долота, нагруженного осевой силой и крутящим моментом с материалом забоя в случае, когда каждая шарошка опирается на один зубок (рис. 2).

Если предположить, что корпус долота может перемещаться только строго вертикально, без перекосов, то такая система будет один раз статически неопределимой. Чтобы ее решить, нужно, кроме уравнений статики, составить дополнительные уравнения совместной деформации деталей долота. Таким образом, величины усилий  $P_1$  и  $P_2$  будут обратно пропорциональны жесткости шарошечного узла при контакте с забоем соответствующих зубков. Для проверки данного предположения были проведены аналитические и экспериментальные исследования вертикальной жесткости шарошечного узла в зависимости от радиуса приложения осевой нагрузки к шарошке. На основе этого предположения был разработан экспериментально-теоретический метод расчета величины усилий, действующих на вооружение шарошек долота [14]. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными позволяет сделать вывод о том, что этот метод может применяться и для качественной, и для количественной оценки величин нагрузок, действующих на венцы шарошек, особенно на стадии проектирования при выборе оптимального расположения вооружения по шарошке.

#### Результаты

Анализ результатов измерений позволил установить, что математическое ожидание величины осевой силы, действующей на тот или иной венец шарошек долота, зависит от того, на каком расстоянии от оси долота находится данный венец. Величина вертикального перемещения венца, происходящего

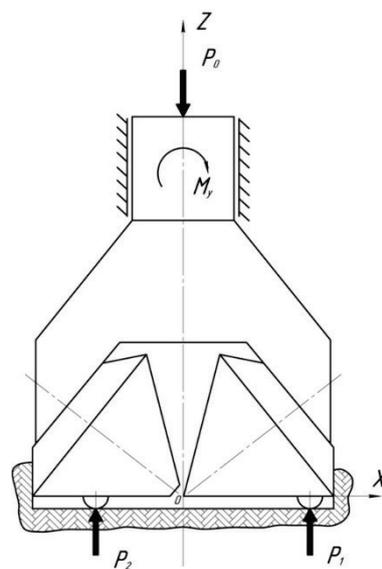


Рис.2. Плоская модель шарошечного долота

в результате деформации подшипников опорного узла, цапфы, выборки зазоров в подшипниках, происходящего под действием приложенной к венцу осевой нагрузки, также зависит от расстояния от оси долота до данного венца. Эти зависимости, полученные в результате измерений [12, 15], приведены на рисунке 3. Здесь же представлена конструкция подшипников, на которых закреплены шарошки испытываемого долота П215,9К-ПВ.

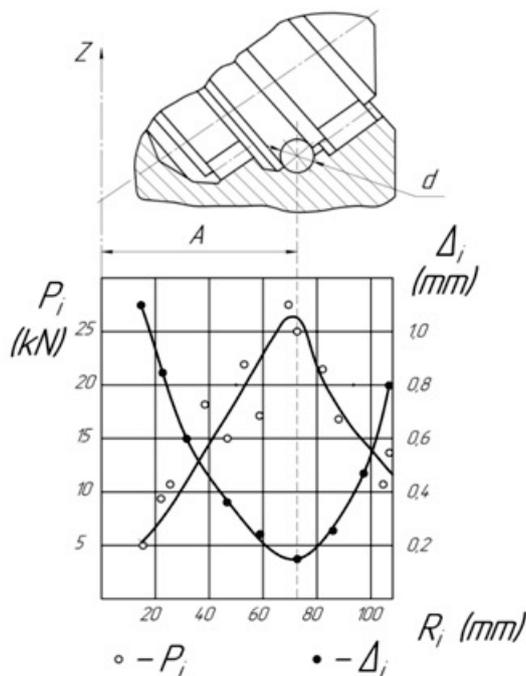


Рис. 3. Зависимость осевого усилия на венце  $P_i$  и вертикального перемещения венца  $\Delta_i$  от расстояния до оси долота  $R_i$  для долота П215,9К-ПВ

Анализируя приведенные на рисунке 3 зависимости, нетрудно сделать вывод о том, математическое ожидание усилия, действующего на венец, обратно пропорционально его перемещению. Чем жестче венец, тем большую долю осевой нагрузки он воспринимает. Причем обе кривые имеют экстремум, находящийся на одинаковом расстоянии  $A$  от оси долота. Сопоставляя эти кривые с конструкцией подшипникового узла шарошек, можно убедиться, что на таком же расстоянии от оси долота находится центр нижнего тела качения шарикового подшипника. Различное перемещение венцов и их различная загруженность могут быть обусловлены изменением напряженного состояния деталей долота при изменении точки приложения

усилия, действующего на венец со стороны разрушаемой породы [16, 17].

Приведенный анализ позволяет предложить новый подход к выбору схемы размещения зубков вооружения на корпусе шарошек долота. Суть этого нового подхода к проектированию вооружения шарошек заключается в том, чтобы исключить размещение венцов шарошек на расстоянии  $A$  (см. рис. 3) от оси долота. Данный подход защищен авторским свидетельством на изобретение [18], полученным на конструкцию «Буровое шарошечное долото», отличающееся тем, что с целью повышения долговечности работы долота путем более равномерного распределения нагрузки по отдельным подшипникам и венцам шарошек, все венцы расположены по шарошкам согласно соотношению:

$$|A - R_i| \geq d/2, \quad (1)$$

где  $A$  — максимальное расстояние от оси долота до центра шарика замкового подшипника;  $R_i$  — максимальное расстояние от оси долота до точки пересечения оси симметрии венца с образующей шарошки;  $d$  — диаметр шарика замкового подшипника.

Анализ серийных конструкций шарошечных долот Ш215,9К-ПВ и Ш215,9ТКЗ-ЦВ-3, на которых проводились исследования, показал, что приведенное выше условие (1) не соблюдается у обоих типов долот. Средние венцы первых шарошек этих долот расположены на радиусах  $R_i$ , равных расстоянию  $A$ . Как показали наши исследования [19, 20], именно на зубки этих венцов действует наибольшее по величине осевое усилие.

### Обсуждение

Руководствуясь предложенной в [18] формулой изобретения, в конструкцию долота Ш215,9К-ПВ были внесены изменения, заключающиеся в размещении зубков на корпусах шарошек в соответствии с выражением (1). Новое расположение венцов по шарошкам долота Ш215,9К-ПВ представлено на рисунке 4. Также на рисунке представлена конструкция подшипников, на которых закреплены шарошки.

Прежде чем изготавливать долото с новым расположением венцов по шарошкам, по разработанному нами методу [14] были определены величины математических ожиданий осевых усилий, которые будут действовать на венцы шарошек со стороны забоя. Результаты расчетов подтвердили, что у долота с новым расположением венцов по шарошкам расчетные математические ожидания осевых усилий должны распределяться по венцам более равномерно, чем у серийных долот. После аналитической проверки предложенной схемы расположения вооружения, было принято решение об изготовлении натурных образцов долот.

Все изготовленные долота были тщательно проверены на соблюдение параметров точности, установленных нормативной документацией. В результате обмеров было отобрано долото, разность высот шарошек которого была минимальной. Это было сделано для того, чтобы максимально снизить влияние точности изготовления на результаты исследований [19, 20]. У отобранного долота на стенде [10–12] были замерены величины математических ожиданий осевых усилий, действующих на венцы шарошек со стороны забоя в стендовых условиях. Результаты экспериментальных стендовых испытаний также показали, что у долота с новым расположением венцов по шарошкам математические ожидания осевых усилий распределяются по венцам более равномерно, чем у серийных долот. Так, например, наиболее загруженные средние венцы первой, второй и третьей шарошек серийного долота воспринимают 19,1, 12,2 и 9,9 %

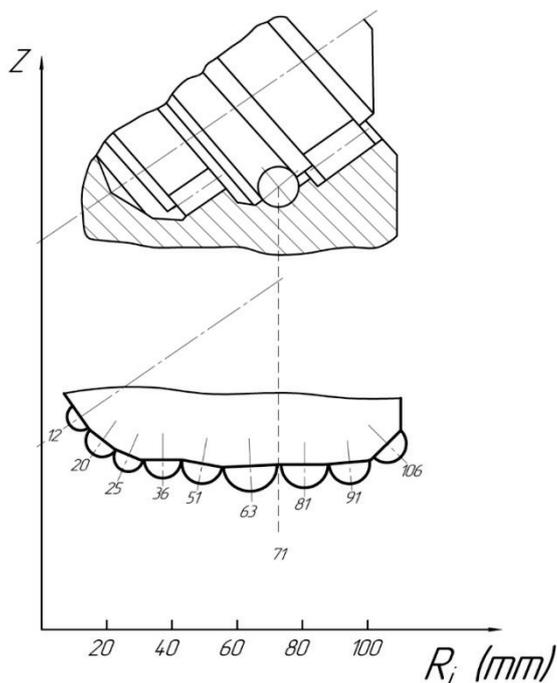


Рис. 4. Новое расположение венцов по шарошкам долота Ш215,9К-ПВ

всей осевой нагрузки на долото. У долота с новым расположением венцов соответствующие значения составляют 15,5, 14,1 и 13,3 %. Таким образом, наиболее нагруженный средний венец первой шарошки серийного долота воспринимает осевую нагрузку в 1,93 раза большую, чем наименее нагруженный средний венец третьей шарошки. У долота с новым расположением венцов по шарошкам аналогичный показатель равен всего лишь 1,17. Более равномерно у новых долот распределяется нагрузка и по отдельным шарошкам.

### **Выводы**

По результатам аналитических исследований и стендовых испытаний еще нельзя сделать достоверные выводы о преимуществах новой конструкции изделия. Подтвердить эти преимущества могут только испытания изделия, в том числе и бурового долота, в производственных условиях. Подобные испытания для долот предлагаемой конструкции были проведены при бурении взрывных скважин на горнорудном карьере. Выполнялось бурение крепких пород, таких как доломиты и магнезиты, для разбуривания которых и предназначены долота данного типа. Одним из основных показателей эффективности работы буровых долот является средняя проходка на долото. Испытания показали, что долота с новым расположением венцов по шарошкам позволили получить среднюю проходку, в 1,24–1,3 раза превышающую среднюю проходку на одно долото серийной конструкции. Обследование вышедших из строя долот новой конструкции и серийных показали, что работоспособность почти всех долот была ограничена стойкостью опорных узлов шарошек. Вооружение в большинстве случаев оставалось работоспособным. Более высокие показатели работы долот с новым расположением вооружения по шарошкам обусловлено тем, что на разные шарошки действует примерно одинаковая осевая нагрузка, и вследствие этого происходит примерно одинаковый износ подшипниковых узлов. Таким образом, обеспечивается равнопрочность всех деталей долота.

Выполненные аналитические, экспериментальные и производственные исследования шарошечных долот с новым расположением зубков по шарошкам подтвердили возможность повысить показатели эффективности работы долот с минимальными затратами. При конструировании новых долот и совершенствовании существующих конструкций необходимо использовать возможность выравнивания нагруженности отдельных деталей долота и тем самым обеспечить их равнопрочность.

### **Библиографический список**

1. Мокшин А. С., Владиславлев Ю. Е., Комм Э. Л. Шарошечные долота. – М.: Недра, 1971. – 216 с.
2. Беликов В. Г., Посташ С. А. Рациональная отработка и износостойкость шарошечных долот. – М.: Недра, 1972. – 160 с.
3. Долговечность буровых долот / В. Н. Виноградов [и др.]. – М.: Недра, 1977. – 256 с.
4. Симонов В. В., Выскребцов В. Г. Работа шарошечных долот и их совершенствование. – М.: Недра, 1975. – 240 с.
5. Беляев А. И. Исследование технологических процессов сборки шарошек буровых долот с твердосплавным вооружением: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1977. – 205 с.
6. Богомолов Р. М. Исследование работоспособности твердосплавного вооружения шарошечных долот: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1975. – 22 с.
7. Кирпичников В. М. Исследование износостойкости и долговечности спеченных твердых сплавов применительно к вооружению шарошечных долот: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1981. – 21 с.

8. Комм Э. Л. Исследование влияния конструктивных и технологических факторов на работоспособность, износ и нагруженность опор шарошечных долот: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1978. – 28 с.
9. Pyalchenkov V., Dolgushin V., Kulyabin G. Work Capacity and Durability of Rolling Cutter Drill Bits (Analysis of Criteria and Research Results) // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, Issue 6. – P. 468–475.
10. Пяльченков В. А. Стенд для исследования нагруженности вооружения шарошечных долот [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21473>.
11. Experimental Method for Measuring the Forces Acting On the Cutters of the Rolling Cutter Bit / V. A. Pyalchenkov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, Issue 5. – P. 663–669.
12. Способ экспериментального определения усилий, действующих на вооружение и опоры шарошечного долота / В. А. Пяльченков [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 8. – С. 112–115.
13. А. С. 840268 Российская Федерация, М. Кл.<sup>3</sup> Е 21 В 9/08 Устройство для исследования шарошечного долота № 2729036 / Виноградов В. Н., Коротков В. А., Пашков А. Н., Брагин А. Ф., Пяльченков В. А.; заявл. 23.02.79; опубл. 23.06.81.
14. Пяльченков В. А. Расчет нагруженности элементов вооружения долота // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. – 2015. – № 1-1. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18865>.
15. Analytical and experimental study of the deformation of roller cone bit parts / V. A. Pyalchenkov [et al.] // Amazonia Investiga. – 2019. – Vol. 8, Issue 21. – P. 23–32.
16. Пяльченков В. А. Моделирование нагруженности подшипников опоры шарошечного долота // Механика и процессы управления: Всеросс. науч.-практ. конф. (22 апр. 2015 г.). – Тюмень, 2015. – С. 105–109.
17. Pyalchenkov V. A., Dolgushin V. V., Kulyabin G. A. The Model for Studies of Load for the Roller Bit Support Bearings // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, Issue 19. – P. 5548–5553.
18. А. С. 1461855 Российская Федерация, М. Кл.<sup>3</sup> Е 21 В 10/16 Буровое шарошечное долото заявка № 4213595 / Брагин А. Ф., Боднарчук В. А., Пяльченков В. А., Басанов Ю. И., Жуков Г. В.; заявл. 20.03.87; опубл. 28.02.89.
19. Pyalchenkov V., Pyalchenkov D., Nikitina L. Influence of test modes and accuracy of manufacturing a roller cone bit on loading of its elements // Amazonia Investiga. – 2019. – Vol. 8, Issue 23. – P. 613–620.
20. Исследование нагруженности вооружения шарошечного долота в зависимости от погрешностей его изготовления / В. А. Пяльченков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2019. – № 1. – С. 113–120. DOI: 10.31660/0445-0108-2019-1-113-120

### References

1. Mokshin, A. S., Vladislavlev, Yu. E., & Komm, E. L. (1971). Sharoshechnye dolota. Moscow, Nedra Publ., 216 p. (In Russian).
2. Belikov, V. G., & Postash, S. A. (1972). Ratsional'naya otrabotka i iznosostoykost' sharoshechnykh dolot. Moscow, Nedra Publ., 160 p. (In Russian).
3. Vinogradov, V. N., Sorokin, G. M., Pashkov, A. N., & Rubarkh, V. M. (1977). Dolgovechnost' burovyykh dolot. Moscow, Nedra Publ., 256 p. (In Russian).
4. Simonov, V. V., & Vyskrebtsov, V. G. (1975). Rabota sharoshechnykh dolot i ikh sovershenstvovanie. Moscow, Nedra Publ., 240 p. (In Russian).
5. Belyaev, A. I. (1977). Issledovanie tekhnologicheskikh protsessov sborki sharoshek burovyykh dolot s tverdosplavnym vooruzheniem. Diss. kand. tekhn. nauk, 205 p. (In Russian).
6. Bogomolov, R. M. (1975). Issledovanie rabotosposobnosti tverdosplavnogo vooruzheniya sharoshechnykh dolot: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. Moscow, 22 p. (In Russian).
7. Kirpichnikov, V. M. (1981). Issledovanie iznosostoykosti i dolgovechnosti spechennykh tverdykh splavov primenitel'no k vooruzheniyu sharoshechnykh dolot: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. Moscow, 21 p. (In Russian).

8. Komm, E. L. (1978). Issledovanie vliyaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh faktorov na rabotosposobnost', iznos i nagruzhennost' opor sharoshechnykh dolot. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. Moscow, 28 p. (In Russian).
9. Pyalchenkov, V., Dolgushin, V., & Kulyabin, G. (2016). Work Capacity and Durability of Rolling Cutter Drill Bits (Analysis of Criteria and Research Results). Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 7(6), pp. 468-475. (In English).
10. Pyalchenkov, V. A. (2015). Stand for study of the workload of arms roller bit. Modern problems of science and education, (2-2). (In Russian). Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21473>
11. Pyalchenkov, V. A., Pyalchenkov, D. V., Dolgushin, V. V., & Kulyabin, G. A. (2016). Experimental Method for Measuring the Forces Acting On the Cutters of the Rolling Cutter Bit. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 7(5), pp. 663-669. (In English).
12. Pyalchenkov, V. A., Pyalchenkov, D. V., Dolgushin, V. V., Danilov, O. F., & Kurbanov, Ya. M. (2016). Method of experimental determination of forces, acting on the cutting elements and the bearings of rolling cutter bit. Oil Industry, (8), pp. 112-115. (In Russian).
13. Vinogradov, V. N., Korotkov, V. A., Pashkov, A. N., Bragin, A. F., & Pyalchenkov, V. A. A. C. 840268 Rossiyskaya Federatsiya, M. K1.3 E 21 V 9/08 Ustroystvo dlya issledovaniya sharoshechnogo dolota № 2729036. Applied: 23.02.79. Published: 23.06.81. (In Russian).
14. Pyalchenkov, V. A. (2015). Calculation of loaded elements of bit cutting structure. Modern problems of science and education, (1-1). (In Russian). Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18865>
15. Pyalchenkov, V. A., Kulyabin, G. A., Dolgushin, V. V., & Pyalchenkov, D. V. (2019). Analytical and experimental study of the deformation of roller cone bit parts. Amazonia Investiga, 8(21), pp. 23-32. (In English).
16. Pyalchenkov, V. A. (2015). Modelirovanie zagruzhennosti podshipnikov opory sharoshechnogo dolota. Mekhanika i protsessy upravleniya: Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (22 April, 2015). Tyumen, pp. 105-109. (In Russian).
17. Pyalchenkov, V. A., Dolgushin, V. V., & Kulyabin, G. A. (2017). The Model for Studies of Load for the Roller Bit Support Bearings. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12(19), pp. 5548-5553. (In English).
18. Bragin, A. F., Bodnarchuk, V. A., Pyalchenkov, V. A., Basanov, Yu. I., & Zhukov, G. V. A. C. 1461855 Rossiyskaya Federatsiya, M. K1.3 E 21 V 10/16 Burovoe sharoshechnoe doloto zayavka № 4213595. Applied: 20.03.87. Published: 28.02.89. (In Russian).
19. Pyalchenkov, V., Pyalchenkov, D., & Nikitina, L. (2019). Influence of test modes and accuracy of manufacturing a roller cone bit on loading of its elements. Amazonia Investiga, 8(23), pp. 613-620. (In English).
20. Pyalchenkov, V. A., Pyalchenkov, D. V., Dolgushin, V. V., & Kulyabin, G. A. (2019). Studying load of the cutting structure of rolling cutter bit depending on the errors of its manufacture. Oil and Gas Studies, (1), pp. 113-120. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2019-1-113-120

#### **Сведения об авторах**

**Пяльченков Владимир Алексеевич**, к. т. н., доцент кафедры прикладной механики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: [pial228@rambler.ru](mailto:pial228@rambler.ru)

**Пяльченков Дмитрий Владимирович**, к. т. н., доцент кафедры бизнес-информатики и математики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

#### **Information about the authors**

**Vladimir A. Pyalchenkov**, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Applied Mechanics, Industrial University of Tyumen, e-mail: [pial228@rambler.ru](mailto:pial228@rambler.ru)

**Dmitry V. Pyalchenkov**, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Business Informatics and Mathematics, Industrial University of Tyumen