

УДК 622.24.051

## СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ ПО ВООРУЖЕНИЮ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ

**Пяльченков В.А.**

*ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,  
Тюмень, e-mail: general@tsogu.ru;*

*ФГКВООУ ВПО «Тюменское высшее военно-инженерное командное училище (военный институт)  
имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова», Тюмень*

Предлагается способ уменьшения неравномерности распределения осевой нагрузки по вооружению. При проектировании шарошечных долот размещение венцов на поверхности шарошек производится так, чтобы обеспечить необходимую величину перекрытия забоя и достаточные зазоры между венцами. Вооружение стремятся располагать по шарошкам равномерно. Однако этого недостаточно, чтобы обеспечить равномерную загрузку венцов и в целом шарошек. Относительная загруженность различных венцов шарошек долота зависит от их вертикальной жесткости, определяемой главным образом, конструкцией опорного узла и положением венца на шарошке. Предлагается для уменьшения неравномерности загруженности венцов располагать их на поверхности шарошек так, чтобы средний радиус кольцевой поверхности забоя, разрушаемого венцом, был смещен относительно вертикали, проходящей через центр нижнего шарика замкового подшипника не менее чем на 5–6 мм. В соответствии с этими рекомендациями разработана опытная конструкция долота, защищенная авторским свидетельством.

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

## A METHOD OF REDUCING UNEVEN DISTRIBUTION OF AXIAL LOAD ON THE ARMS OF ROLLER BITS

**Pyalchenkov V.A.**

*FGBOU VPO «Tyumen State Oil and Gas University», Ministry of education  
and science of Russia, Tyumen, e-mail: general@tsogu.ru;*

*FGKVOU VPO «Tyumen Higher Military Engineering Command School (Military Institute)  
named after Marshal of Engineering Troops A.I. Proshlyakov» Russian Defense Ministry, Tyumen*

A method of reducing the unevenness of the distribution of the axial load on the arms. In the design of roller bits placement of crowns on the surface of the cutters is made so as to provide the desired overlap for the bottom and sufficient clearance between the crowns. Weapons tend to locate on the cutter evenly. But it is not enough to ensure even loading of crowns and overall cutter. The relative workload of the various cutters of the bit depends on their vertical stiffness, determined mainly by the design of the reference node and the position of the crown on the cutter. It is proposed to reduce uneven load of wreaths to place them on the surface of the cutter so that the average radius of the circumferential surface of the mine, destroy the crown, was displaced relative to the vertical passing through the center of the lower ball bearing locking for not less than 5–6 mm. In accordance with these recommendations, developed by an experienced design bit that is protected by copyright.

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

В результате экспериментальных исследований загруженности твердосплавного вооружения шарошечных долот, проведенных по новой методике с использованием оригинального измерительного устройства [2, 3, 10, 11, 13, 14], установлено, что осевая нагрузка и вращающий момент распределяются по вооружению долот весьма неравномерно. Исследования проводились на серийно выпускаемых долотах Ш215,9К-ПВ и Ш215,9ТКЗ-ЦВ-3, оснащенных твердосплавным вооружением. Наибольшую по величине осевую нагрузку для долот исследуемых типов размеров воспринимают венцы, расположенные в средней части радиуса долота. Из них наиболее загруженными являются венцы, расположенные на радиусе долота 70 и 71 мм. Конструкция опорных узлов шарошек долот типа К

и ТКЗ практически одинакова и отличаются эти долота друг от друга главным образом конструктивным исполнением вооружения и размещением венцов на шарошках. В этой связи представляется необходимым установить характер изменения величины максимального осевого усилия, действующего на венец в зависимости от радиуса долота, на котором этот венец расположен. Эта зависимость, совмещенная со схемой опорного узла шарошки, приведена на рис. 1.

Как видно из приведенного рисунка, разброс точек, характеризующий загруженность отдельных венцов, довольно значителен, однако качественная закономерность все же прослеживается. Она заключается в том, что зависимость имеет максимум, лежащий близко к середине радиуса долота, при удалении от которого как к оси долота,

так и к периферии происходит уменьшение среднего значения максимума усилия, действующего на венец. Причем наибольшее осевое усилие для обоих типов исследуемых долот действует на венцы, радиус расположения которых равен примерно 70 мм. Это согласуется с полученными нами результатами аналитических и экспериментальных исследований [4, 5, 6, 9]. Причем эта неравномерность сохраняется при различном конструктивном исполнении вооружения. Распределение осевой нагрузки по шарошкам долот также неравномерно, максимальная осевая нагрузка воспринимается первой шарошкой, минимальная – третьей. Однако степень неравномерности распределения осевой нагрузки по шарошкам долота в значительной мере зависит от конструкции вооружения и главным образом от характера расположения венцов на шарошках вдоль радиуса долота, что особенно значительно проявляется у долот со штыревым твердосплавным вооружением. Полученные результаты позволяют проанализировать существующие конструкции долот с точки зрения загруженности их элементов и предложить рекомендации по их оптимизации.

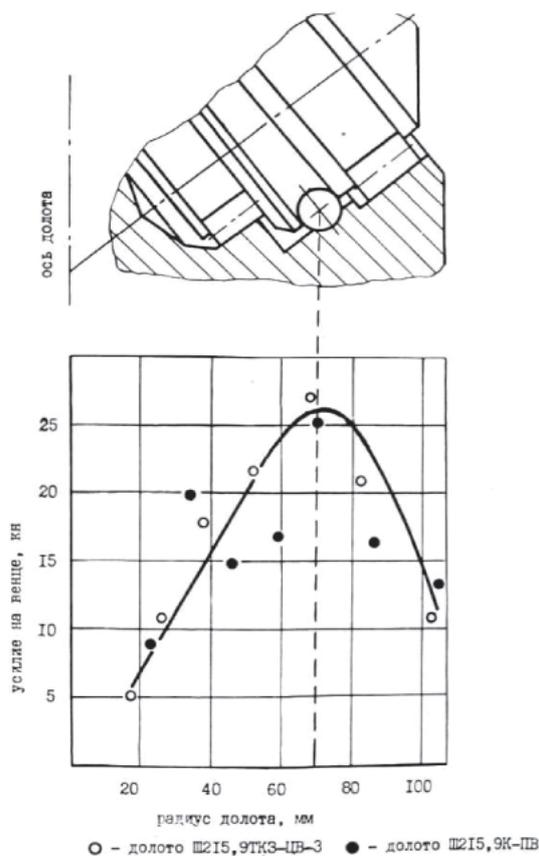


Рис. 1. Влияние положения венцов на их загруженность

В настоящее время при проектировании шарошечных долот размещение венцов на поверхности шарошек производится с таким расчетом, чтобы обеспечить необходимую величину перекрытия забоя и достаточные зазоры между венцами, исключающие возможность зацепления между собой сопряженных венцов при осевом смещении шарошек в пределах осевого люфта в подшипниках. Кроме того, вооружение стремятся располагать по шарошкам равномерно. Однако, как показали наши исследования, этого недостаточно, чтобы обеспечить равномерную загрузку венцов и в целом шарошек.

Рассмотрим схему размещения венцов по поверхности шарошек серийно выпускаемых долот, оснащенных твердосплавным вооружением. Долота типа К и ТКЗ предназначены для бурения в породах разной крепости. Поэтому и конструкция их вооружения различна. Если долота типа К, предназначенные для бурения в крепких абразивных породах, оснащены зубками с полусферической головкой, то долота типа ТКЗ, предназначенные для бурения в твердых абразивных породах, имеют комбинированное вооружение, состоящее из чередующихся зубков с полусферической и клиновидной головкой. Вылет зубков из тела шарошки также различен. Однако, несмотря на значительные различия в конструкции вооружения долот, порядок размещения венцов на поверхности шарошек аналогичен. На рис. 2 приведены схемы поражения забоя для долот Ш215,9К-ПВ и Ш215,9ТКЗ-ЦВ-3, совмещенные со схемой опорного узла шарошки. Цифрами указаны средние радиусы кольцевых участков забоя, поражаемых каждым венцом.

Так, периферийный венец третьей шарошки долот обоих типов выполнен двояким, зубки размещены в шахматном порядке и частично перекрываются. Средние венцы шарошек долота типа К размещены на радиусах 84, 71 и 59 мм. У долота типа ТКЗ средние венцы расположены на радиусах 83, 70 и 52 мм. Так как диаметры зубков средних и вершинных венцов у долота типа ТКЗ больше, чем у долота типа К, то положение остальных венцов вдоль радиуса долота у долот обоих типов различное. Таким образом, у долота типа К и у долота типа ТКЗ один из венцов расположен на радиусе  $R = 70-71$  мм и именно этот венец из-за более высокой вертикальной жесткости шарошки при приложении внешнего усилия на этом радиусе является наиболее нагруженным. Как установлено нами при исследовании плоской фотоупругой модели шарошечного узла [4, 7, 12], перемещение точки приложения внешнего усилия вправо

или влево от радиуса  $R = 70$  мм на 5–6 мм приводит к значительному перераспределению нагрузки между подшипниками опоры, обуславливающему уменьшение вертикальной жесткости шарошечного узла. Поэтому для уменьшения неравномерности загрузки отдельных венцов шарошек необходимо располагать **венцы** на поверхности шарошек так, чтобы средний радиус **кольцевой** поверхности забоя, разрушаемого венцом, был смещен относительно радиуса  $R = 70$  мм не менее чем на 5–6 мм.

Ш215,9К-ПВ и отличается только схемой расположения венцов на поверхности шарошек. Венцы расположены на шарошках таким образом, чтобы радиус  $R = 71$  мм приходился на середину межвенцового зазора. Средние венцы первой и второй шарошек опытного долота расположены на радиусах  $R = 63$  мм и  $R = 81$  мм, т.е. смещены относительно указанного радиуса на 8 мм и на 10 мм соответственно. Периферийный венец третьей шарошки опытного долота так же, как и серийного, имеет два ряда зубков, однако для обеспечения перекрытия забоя эти ряды смещены друг относительно друга на большую величину и не перекрываются. Все остальные венцы размещены на шарошках исходя из условия полного перекрытия забоя. Межвенцовые зазоры приняты такими же, как у долот серийной конструкции. Опорные узлы шарошек полностью идентичны узлам серийного долота. На рис. 3 приведена схема поражения забоя опытного долота, совмещенная со схемой опорного узла.

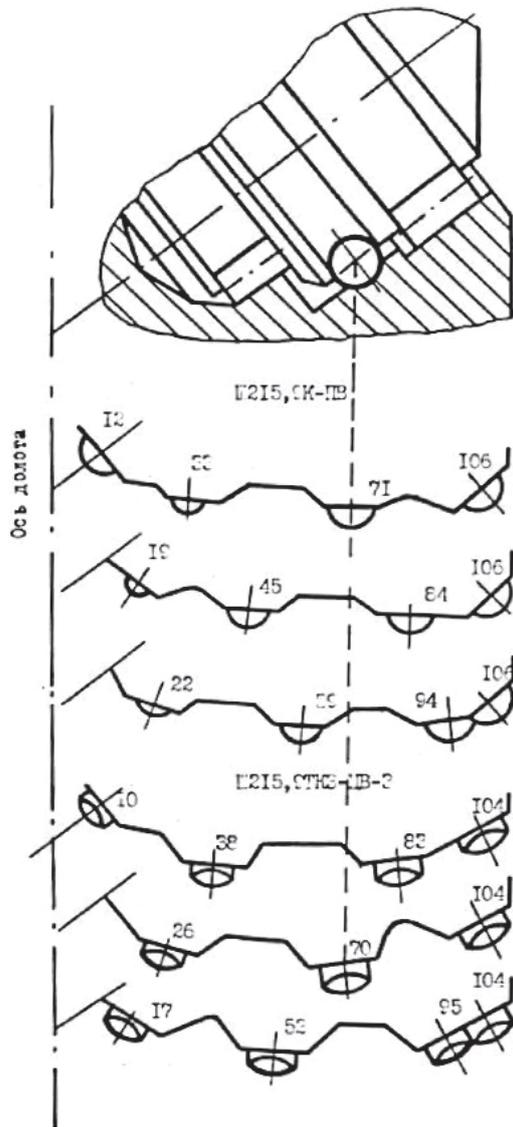


Рис. 2. Схема опорного узла шарошки и схема поражения забоя исследуемыми долотами

В соответствии с этими рекомендациями нами была разработана опытная конструкция долота Ш215,9К-ПВ-РЭ, защищенная авторским свидетельством [1]. Опытное долото разработано на базе серийного долота

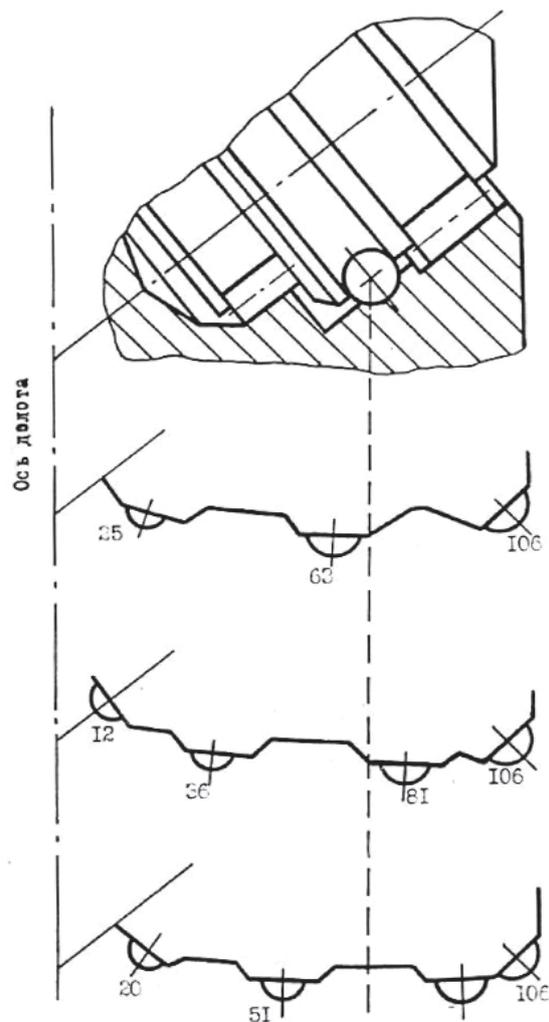


Рис. 3. Схема опорного узла шарошки и схема поражения забоя опытного долота

Для выбранной схемы расположения венцов по поверхностям шарошек опытного долота был проведен расчет усилий, действующих на венцы при различных вариантах контактирования вооружения с забоем. Расчет проводился по разработанному нами экспериментально-теоретическому методу [9]. Поскольку конструкция опорных узлов шарошек не изменилась, то при расчетах было принято, что величина деформации шарошечного узла подчиняется зависимости, установленной ранее для серийных долот [8]. Расчет показал, что по сравнению с расчетными значениями усилий, действующих на средние венцы шарошек серийного долота, определенных этим же методом, расчетные значения усилий, действующих на средние венцы шарошек опытного долота, меньше и различаются между собой не столь значительно. Так, если для серийного долота расчетная нагрузка на средние венцы первой, второй и третьей шарошки составляла соответственно 37,6; 32,4 и 34,7 Кн, то для опытного долота эти усилия равны соответственно 31,3; 30,5 и 28,4 Кн. В целом по шарошкам нагрузка распределена также более равномерно. Партия опытных долот в количестве 26 штук была изготовлена по разработанному нами чертежам. На рис. 4 показана фотография опытного долота.



Рис. 4. Долото опытной конструкции

Были проведены стендовые и промышленные испытания опытных долот, результаты которых показали их более высокую долговечность по сравнению с серийной конструкцией.

#### Список литературы

1. Буровое шарошечное долото; а.с.1461855 СССР: МКИЗ Е 21 В 10/16 / А.Ф. Брагин, В.А. Боднарчук, В.А. Пяльченков, Ю.И. Басанов, Г.В. Жуков. – № 4213595/23-03; заявл.20.03.87; опубл.28.02.89, Бюл. № 8. – 2 с.: черт.
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. Пяльченков В.А. Повышение работоспособности шарошечных долот путем рационального распределения нагрузок по элементам вооружения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1983. – 23 с.
4. 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.
5. Пяльченков В.А. Аналитическое определение реакций в опорах шарошечного долота // Известия вузов. Нефть и газ. – 2014. – № 3. – С. 66–72.
6. 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).
7. Пяльченков В.А. Методы исследования нагруженности вооружения и подшипников опоры шарошечных долот // Известия вузов. Нефть и газ. – 2015. – № 1. – С. 88–95.
8. 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).
9. Пяльченков В.А. Расчет нагруженности элементов вооружения долота // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: [www.science-education.ru/121-18865](http://www.science-education.ru/121-18865) (дата обращения: 08.07.2015).
10. Пяльченков В.А. Стенд для исследования нагруженности вооружения шарошечных долот // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: [www.science-education.ru/129-21473](http://www.science-education.ru/129-21473) (дата обращения: 28.08.2015).
11. Пяльченков В.А., Смолин Н.И. Методика проведения исследований распределения нагрузки по зубьям шарошечного долота // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: [www.science-education.ru/129-21853](http://www.science-education.ru/129-21853) (дата обращения: 29.09.2015).
12. Пяльченков В.А. Моделирование нагруженности подшипников опоры шарошечного долота // Механика и процессы управления: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 105–109.
13. Устройство для исследования шарошечного долота; а.с. 840268 СССР: МКИЗ Е 21 В 9/08 / В.Н. Виноградов, В.А. Коротков, А.Н. Пашков, А.Ф. Брагин, В.А. Пяльченков. – № 2729036/22-03; заявл.23.02.79; опубл.23.06.81, Бюл. № 23. – 4 с.: черт.
14. Устройство для измерения нагрузки на опорные подшипники шарошечного долота; а.с.1474251 СССР: МКИЗ Е 21 В 10/22 / А.Ф. Брагин, В.А. Боднарчук, Г.В. Жуков, Ю.И. Басанов, Я.Н. Дрогомйрецкий, В.А. Пяльченков. – № 4211956/22-03; заявл.20.03.87; опубл.23.04.89, Бюл. № 15. – 3 с.: черт.

**References**

1. Burovye sharoshechnoe doloto; a.s.1461855 SSSR: MKIZ E 21 V 10/16 / A.F. Bragin, V.A. Bodnarchuk, V.A. Pyalchenkov, Yu.I. Basanov, G.V. Zhukov. no. 4213595/23-03; zayavl.20.03.87; opubl.28.02.89, Byul. no. 8. 2 s.: chert.
2. Pyalchenkov V.A. Povyishenie rabotosposobnosti sharoshechnykh dolot putem ratsionalnogo raspredeleniya nagruzok po elementam vooruzheniya: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tehnikeskikh nauk / Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet nefi i gaza imeni I.M. Gubkina. Moskva, 1983, 216 p.
3. Pyalchenkov V.A. Povyishenie rabotosposobnosti sharoshechnykh dolot putem ratsionalnogo raspredeleniya nagruzok po elementam vooruzheniya: Avtoref. dis.... kand. tehn. nauk. Moskva, 1983, 23 p.
4. Pyalchenkov V.A. Issledovanie raspredeleniya nagruzki mezhdru podshipnikami oporyi sharoshechnogo dolota s ispolzovaniem fotouprugoy modeli // Izvestiya vuzov. Neft i gaz. 2014. no. 1. pp. 57–61.
5. Pyalchenkov V.A. Analiticheskoe opredelenie reaktsiy v oporah sharoshechnogo dolota // Izvestiya vuzov. Neft i gaz. 2014. no. 3. pp. 66–72.
6. Pyalchenkov V.A. K otsenke dolgovechnosti podshipnikov oporyi sharoshechnogo dolota // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. no. 6; URL: www.science-education.ru/120-16677 (data obrascheniya: 08.01.2015).
7. Pyalchenkov V.A. Metodyi issledovaniya nagruzhennosti vooruzheniya i podshipnikov oporyi sharoshechnykh dolot // Izvestiya vuzov. Neft i gaz. 2015, no. 1, pp. 88–95.
8. Pyalchenkov V.A. Eksperimentalnoe issledovanie deformiruемости elementov sharoshechnogo dolota // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. no. 1; URL: www.science-education.ru/121-17926 (data obrascheniya: 05.04.2015).
9. Pyalchenkov V.A. Raschet nagruzhennosti elementov vooruzheniya dolota // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. no. 1; URL: www.science-education.ru/121-18865 (data obrascheniya: 08.07.2015).
10. Pyalchenkov V.A. Stend dlya issledovaniya zagruzhennosti vooruzheniya sharoshechnykh dolot // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. no. 2; URL: www.science-education.ru/129-21473 (data obrascheniya: 28.08.2015).
11. Pyalchenkov V.A., Smolin N.I. Metodika provedeniya issledovaniy raspredeleniya nagruzki po zubyam sharoshechnogo dolota // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. no. 2; URL: www.science-education.ru/129-21853 (data obrascheniya: 29.09.2015).
12. Pyalchenkov V.A. Modelirovanie zagruzhennosti podshipnikov oporyi sharoshechnogo dolota // Mehanika i protsessyi upravleniya. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tyumen: TyumGNGU, 2015. pp. 105–109.
13. Ustroystvo dlya issledovaniya sharoshechnogo dolota; a.s. 840268 SSSR: MKIZ E 21 V 9/08 / V.N. Vinogradov, V.A. Korotkov, A.N. Pashkov, A.F. Bragin, V.A. Pyalchenkov. no. 2729036/22-03; zayavl.23.02.79; opubl. 23.06.81, Byul. no. 23. 4 p.: chert.
14. Ustroystvo dlya izmereniya nagruzki na opornyie podshipniki sharoshechnogo dolota; a.s.1474251 SSSR: MKIZ E 21 V 10/22 / A.F. Bragin, V.A. Bodnarchuk, G.V. Zhukov, Yu.I. Basanov, Ya.N. Drogomiretskiy, V.A. Pyalchenkov. no. 4211956/22-03; zayavl.20.03.87; opubl.23.04.89, Byul. no. 15. 3 p.: chert.