УДК 622.24.051

ИСПЫТАНИЯ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА С УМЕНЬШЕННОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТЬЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО ЭЛЕМЕНТАМ ВООРУЖЕНИЯ

Пяльченков В.А.

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

Предлагаются результаты стендовых и промысловых испытаний шарошечных долот с уменьшенной неравномерностью распределения осевой нагрузки по элементам вооружения. Установлено, что относительная загруженность венцов шарошек долота зависит от их вертикальной жесткости, определяемой главным образом конструкцией опорного узла и положением венца на шарошке. У опытных долот венцы на шарошках расположены 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 результате испытаний установлено, что распределение нагрузки по элементам вооружения опытного долота значительно более равномерное, чем у серийного долота, как по венцам, так и по шарошкам. Промысловые испытания показали, что средняя проходка на одно опытное долото превышает проходку на одно серийное долото на 27%. Анализ отработавших долот показал, что повышение проходки связано с увеличением времени работы долота за счет более равномерного изнашивания опорных элементов.

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

TEST ROLLER CONE BITS WITH REDUCED UNEVEN LOAD DISTRIBUTION ON THE ELEMENTS OF WEAPONS

Pyalchenkov V.A.

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: general@tsogu.ru

The results of bench and field tests of drill bits with reduced uneven distribution of axial load on the elements of weapons. It is established that the relative workload of the cutters of a drill bit depends on their vertical stiffness, determined mainly by the design of the reference node and the position of the crown on the cutter. I experienced bits of the crowns on the cutter arranged 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. as a result of tests it is established that the load distribution on the elements of armament bit experienced significantly more uniform than that of the serial bits like the crowns and the cutters. Field tests have shown that the average sinking one experienced bit higher than the sinking one serial bit at 27%. Analysis of used bits showed, that the increase of penetration due to extended hours of bit due to more uniform wear of the supporting elements.

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

Изучение отработанных в промысловых условиях шарошечных долот, а также результаты экспериментальных и аналитических исследований позволили установить, что загруженность элементов вооружения весьма неравномерна. Нашими исследованиями, проведенными по оригинальной методике с использованием специального измерительного устройства, защищенного авторским свидетельством [2, 3, 10, 11, 13, 14], установлено, что наибольшую по величине осевую нагрузку для долот Ш215,9К-ПВ и Ш215,9ТКЗ-ЦВ-3 воспринимают венцы, расположенные в средней части радиуса долота. 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 загруженности 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.

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 Ш215,9К-ПВ и отличается только схемой расположения венцов на поверхности шарошек. На рис. 1 приведена схема поражения забоя опытного долота, совмещенная со схемой опорного узла.

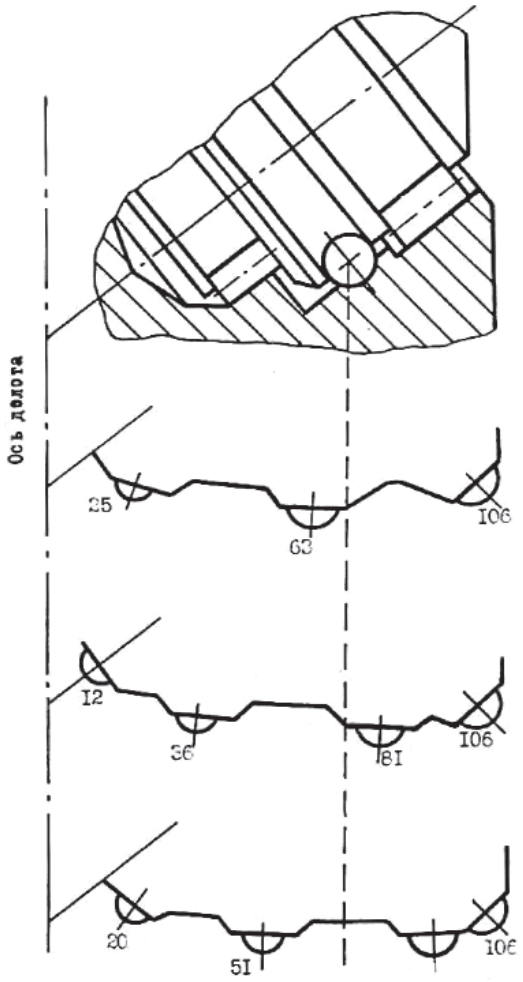

Рис. 1. Схема опорного узла шарошки и схема поражения забоя опытного долота

Для выбранной схемы расположения венцов был проведен расчет усилий, действующих на венцы. 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 со 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. Для проведения экспериментальных исследований загруженности вооружения из изготовленной партии было выбрано одно долото с минимальной разницей уровней расположения шарошек вдоль оси долота относительно упорного уступа, не превышающей 0,2 мм. Исследования проводили по методике, изложенной в работе [11]. Цель испытаний заключалась в определении средних величин осевых нагрузок, действующих на различные венцы всех шарошек опытного долота. В таблице. приведены результаты испытаний, а на рис. 2 приведена диаграмма загруженности венцов опытного долота, совмещенная со схемой вооружения шарошки и схемой дифференциации забоя.

Для удобства все венцы шарошек пронумерованы по порядку от периферийного венца первой шарошки (венец 1), до вершинного венца третьей шарошки (венец 9).

Результаты стендовых испытаний опытного долота Ш215,9К-ПВ-РЭ
(осевая нагрузка на долото P = 80 кН, угловая скорость долота ω_g = 3,3 $с^{-1}$)

Показатели загруженности венца	Порядковый номер венца								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среднее значение усилия, кН	9,8	14,4	9,4	8,8	13,1	9,7	11,9	12,4	3,6
Среднее значение усилия, %	10,5	15,5	10,1	9,4	14,1	10,4	12,8	13,3	3,9
Средний максимум усилия, кН	13,1	20,5	15,4	12,1	19,3	15,7	13,6	18,0	5,6
Средний минимум усилия, кН	7,1	8,0	3,2	5,0	5,8	3,3	9,5	5,8	1,0
Амплитуда усилия, кН	6,0	12,5	12,2	7,1	13,5	12,4	4,1	12,2	4,6

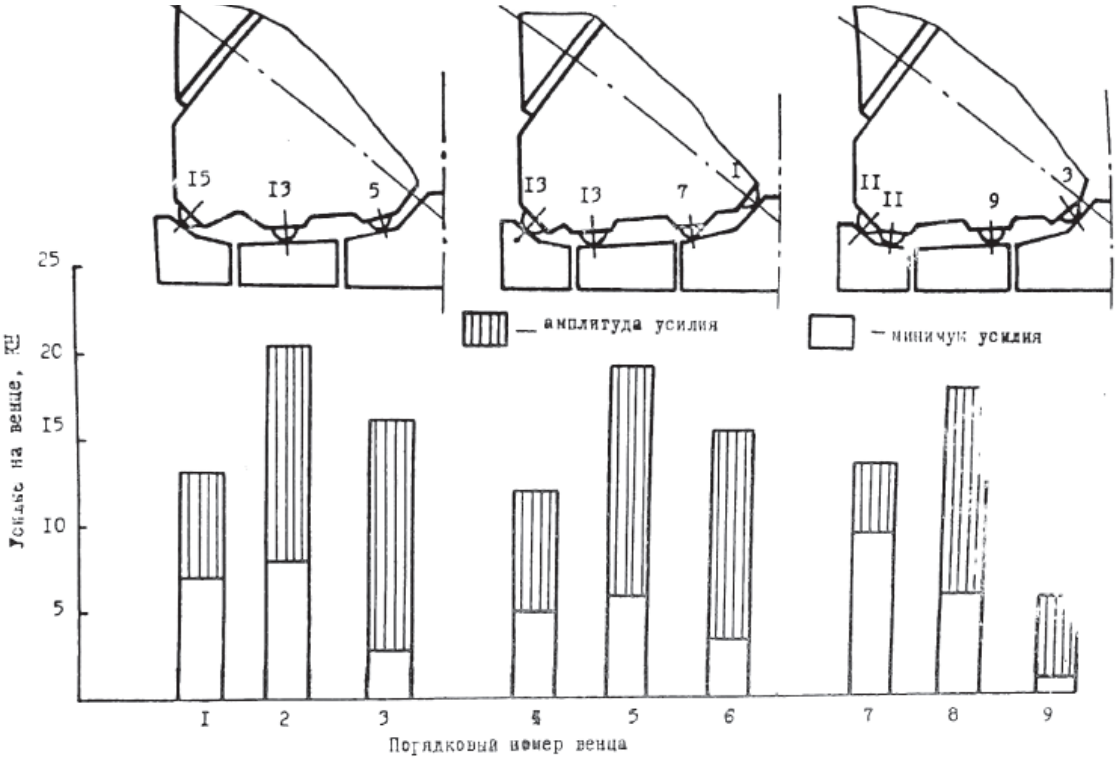

Рис. 2. Диаграмма распределения осевой нагрузки по венцам шарошек опытного долота (осевая нагрузка на долото P = 80 кН, угловая скорость долота ω_g = 3,3 c^{-1})

Испытания проводились при осевой нагрузке на долото P = 80 кн и угловой скорости долота 3,3 c^{-1}. В результате испытаний установлено, что распределение нагрузки по элементам вооружения опытного долота значительно более равномерное, чем по элементам вооружения серийного долота. Наиболее нагруженными венцами у опытного долота, как и у серийного, являются средние венцы, но разница в загруженности средних и соседних с ними венцов у опытного долота меньше, чем у серийного. Так, если загруженность среднего венца первой шарошки серийного долота превышает загруженность периферийного и вершинного венцов соответственно в 1,8 и в 1,43 раза, то для опытного долота эти соотношения равны соответственно 1,48 и 1,53. Весьма важным является также и то, что у опытного долота наблюдается значительно более равномерное распределение осевой нагрузки между шарошками, что обеспечивает более равномерную загрузку подшипников опор [5, 6]. Если у серийного долота первая, вторая и третья шарошки воспринимают соответственно 43,1; 30,4 и 26,5 % общей осевой нагрузки на долото, то у опытного долота нагрузка, воспринимаемая первой, второй и третьей шарошками, составила 36,1; 33,9 и 30,0 % осевой нагрузки на долото. Таким образом, применение новой схемы размещения венцов по поверхностям шарошек позволило уменьшить степень неравномерности распределения осевой нагрузки, как по отдельным венцам, так и в целом по шарошкам.

С целью промышленной проверки разработанных рекомендаций на Карагайском руднике комбината «Магнезит» были проведены испытания партии опытных долот Ш215,9К-ПВ-РЭ. В качестве базовых долот для сравнения приняты серийно выпускаемые долота Ш215,9К-ПВ, применяемые на руднике. Бурение вертикальных взрывных скважин глубиной 17–20 м опытными и серийными долотами проводились в идентичных геолого-технических условиях в горных породах, представленных доломитами с коэффициентом крепости по шкале профессора М.М. Протодьяконова 8–13 ед. и магнезитами с коэффициентом крепости 10–13 ед. Бурение проводилось с использованием станков шарошечного бурения 2СБШ-200 при осевой нагрузке на долото 15...20 тонн и частоте

вращения бурового става 80...120 об/мин. Очистка забоя производилась воздушно-водяной смесью при расходе сжатого воздуха 18...20 м^3/мин и расходе технической воды 4...6 л/мин. За период испытаний отработано 25 опытных долот Ш215,9К-ПВ-РЭ и 25 серийных долот Ш215,9К-ПВ. В процессе бурения производилось хронометрирование, по результатам которого определялись показатели эффективности работы долот. В результате проведенных испытаний установлено, что средняя проходка на одно опытное долото при бурении по магнезиту равна 180 метрам, что превышает среднюю проходку на одно серийное долото, равную 139 метрам, на 30 %. При бурении по доломиту средняя проходка на одно опытное долото составила 229 метров, что на 24 % превышает среднюю проходку на одно серийное долото, равную 184 метрам. В целом по руднику средняя проходка на одно опытное долото превышает проходку на одно серийное долото на 27 %. Как показали результаты хронометрирования, средняя механическая скорость проходки у опытных и серийных долот была практически одинаковой и равнялась 19,7 м/ч при бурении по магнезиту и 21,25 м/ч при бурении по доломиту.

Отработавшие опытные и серийные долота подвергались визуальному осмотру и замерам. Установлено, что основной причиной выхода из строя как серийных, так и опытных долот явился износ опорных узлов шарошек. Наблюдается чрезмерный износ беговых дорожек и тел качения, приводящий к заклиниванию опор, выпадению тел качения и появлению осевых и радиальных люфтов в опорах более 5 мм. Вооружение всех опытных долот осталось практически работоспособным. Необходимо отметить, что и серийные долота выходили из строя также в результате износа опорных узлов при работоспособном вооружении. На шарошках серийных долот наблюдались отдельные сколы зубков. Так как в условиях Карагайского рудника долота типа К не дорабатываются по вооружению, не удалось полностью выявить эффективность новой схемы расположения венцов по шарошкам долота. Повышение проходки на одно опытное долото связано с увеличением времени работы долота за счет более равномерного изнашивания опорных элементов шарошек опытных долот, обусловленного более равномерной их загруженностью по сравнению с серийными.

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 (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 (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 (дата обращения: 08.07.2015).

10. Пяльченков В.А. Стенд для исследования загруженности вооружения шарошечных долот // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: 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 (дата обращения: 29.09.2015).

12. Пяльченков В.А. Моделирование загруженности 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. Дрогомирецкий, В.А. Пяльченков. – № 4211956/22-03; заявл.20.03.87; опубл.23.04.89, Бюл. № 15. – 3 с.: черт.

References

1. Burovoe 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. 8. 2 s.: chert.

2. Pyalchenkov V.A. Povyishenie rabotosposobnosti sharoshechnyih dolot putem ratsionalnogo raspredeleniya nagruzok po elementam vooruzheniya : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tehnicheskih nauk / Rossiyskiy gosudarstvennyiy universitet nefti i gaza imeni I.M. Gubkina. Moskva, 1983, 216 p.

3. Pyalchenkov V.A. Povyishenie rabotosposobnosti sharoshechnyih dolot putem ratsionalnogo raspredeleniya nagruzok po elementam vooruzheniya: Avtoref. dis…. kand. tehn. nauk. Moskva, 1983, 23 p.

4. Pyalchenkov V.A. Issledovanie raspredeleniya nagruzki mezhdu 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 // Sovremennyie problemyi 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 sharoshechnyih dolot // Izvestiya vuzov. Neft i gaz. 2015, no. 1, pp. 88–95.

8. Pyalchenkov V.A. Eksperimentalnoe issledovanie deformiruemosti elementov sharoshechnogo dolota // Sovremennyie problemyi 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 // Sovremennyie problemyi 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 sharoshechnyih dolot// Sovremennyie problemyi 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// Sovremennyie problemyi 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. Materialyi Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tyumen: TyumGNGU, 2015. pp. 105–109.

13. Ustroystvo dlya issledovaniya sharoshechnogo dolota [Tekst]; 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.