

**Нескоромных Вячеслав Васильевич**, доктор техн. наук, профессор, **Белозеров Илья Романович**, аспирант, **Бовин Константин Анатольевич**, старший преподаватель

Сибирский федеральный университет, Институт Горного дела, геологии и геотехнологий, 660025, Россия, г. Красноярск, пр. им. газ. Красноярский рабочий, 95

E-mail: belozerovir@mail.ru

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ИЗНОШЕННЫХ БУРОВЫХ ДОЛОТ**

***Аннотация:** Стоимость буровых трехшарошечных долот достаточно высока, а причины их замены в производственных условиях не всегда определяются полным использованием ресурса. В ряде случаев долота, отработавшие определенный объем, по-прежнему имеют некоторый потенциал для использования после ремонтно-восстановительных работ. В то же время важно объективно определять целесообразность таких работ, влекущих за собой определенные затраты, а именно будет ли выгодным восстановление долот в сравнении с вариантом полной замены изношенного долота на новое. Исследование экономической целесообразности применения восстановленных шарошечных долот проводилось на производственном участке ОАО «ПНК» Крутокаченский щебеночный завод. Для исследований применены аналитический и статистический методы, позволившие вывести критерий эффективности ремонтно-восстановительных мероприятий отработанных буровых долот. Проведенные исследования показали не только экономическую эффективность восстановительных мероприятий, но и ремонтпригодность шарошечных долот, что позволяет снизить затраты на буровой инструмент и, как следствие, на буровзрывные работы в целом. Кроме того разработка технических мероприятий, направленных на ремонт быстроизнашивающихся элементов долота, введение в эксплуатационный цикл операций промежуточной промывки позволяют уравновешивание ресурса конструктивных элементов.*

***Ключевые слова:** шарошечное долото, стойкость долота, восстановление работоспособности долота, буровой шлам, эксплуатационный цикл, экономическая эффективность.*

***Информация о статье:** принята 16 декабря 2020 г.  
DOI: 10.26730/1816-4528-2021-1-27-32*

Для бурения взрывных скважин на карьерах используется значительный объем буровых долот. Основной объем буровых работ (более 85%) выполняют шарошечными долотами. Наибольшее применение на карьерах черной и цветной металлургии, а также при добыче нерудных полезных ископаемых, преимущественно с крепкими породами, для выполнения буровзрывных работ получили трехшарошечные буровые долота [1].

Ежегодные затраты на буровые работы на карьерах в ближайшие годы могут достигнуть 30 млрд рублей, из которых 60-65% и более составят затраты на буровой инструмент [2]. Анализ научных работ [1-4] показывает, что повышение экономической эффективности буровых работ может быть достигнуто за счет увеличения стойкости шарошечных долот.

Стоимость буровых трехшарошечных долот достаточно высока, а причины их замены в производственных условиях не всегда определяются полным использованием ресурса. Данное явление объясняется тем, что трехшарошечное долото является технически сложной системой, состоящей из отдельных функциональных блоков,

которые в свою очередь состоят из отдельных деталей. Отказ одного из блоков влечет за собой мгновенный отказ шарошечного долота в целом. Более подробно о надежности трехшарошечных долот описано в работах Н.В. Грибенникова [5-6].

В ряде случаев долота, отработавшие определенный объем, по-прежнему имеют некоторый потенциал для использования после ремонтно-восстановительных работ.

В то же время важно объективно определять целесообразность таких работ, влекущих за собой определенные затраты, а именно будет ли выгодным восстановление долот в сравнении с вариантом полной замены изношенного долота на новое.

Наиболее часто, порядка 80% случаев, ресурс шарошечного долота ограничивается ресурсом одной подшипниковой опоры, отказ которой приводит к отказу шарошечного долота в целом [7-9]. В связи с этим ресурс остальных элементов долота остаются недоиспользованным.

Проблема увеличения стойкости шарошечного долота за счет увеличения или сохранения ресурса подшипниковых опор шарошечного долота является актуальной не только в России, но и

в зарубежных странах, о чем свидетельствует ряд научных работ [10-13].

В данной работе рассмотрен аналитический подход к выводу критерия эффективности ремонтно-восстановительных мероприятий отработанных буровых долот. Под термином «отработанных» понимаются долота, которыми выполнен определенный объем бурения, но при этом имеется некоторый потенциал их повторного использования после проведения ремонтно-восстановительных работ.

Стоимость метра скважины через основные показатели бурового процесса и стоимость бурового инструмента можно определить по формуле:

$$C_n = \frac{C_{cm}}{T} \left( \frac{1}{v_n} + \frac{T - T_{\bar{o}}}{L} \right) + \frac{C}{L}, \quad (1)$$

где  $C_{cm}$  – стоимость станко-смены работы бурового агрегата, руб.;  $T$  – продолжительность станко-смены, час;  $v_n$  – механическая скорость бурения долотом до восстановления, м/ч;  $T_{\bar{o}}$  – время бурения в общих затратах времени в смене, час;  $L$  – проходка на долото, м;  $C$  – цена долота, руб.

$$C_e = \frac{C_{cm}}{T} \left( \frac{1}{v_e} + \frac{T - T_e}{L_e} \right) + \frac{C_e}{L_e}, \quad (2)$$

где  $v_e$  – механическая скорость бурения восстановленным долотом, м/ч;  $T_e$  – время бурения восстановленным долотом в общих затратах времени в смене, час;  $L_e$  – проходка восстановленным долотом, м;  $C_e$  – цена восстановленного долота, руб.

Цена восстановленного долота  $C_e$  определяется как сумма остаточной стоимости долота и стоимости работы и материалов для восстановления долота. При этом очевидно, что остаточная стоимость долота чаще всего равна нулю или даже может быть отрицательной, учитывая, что отработанные долота нуждаются в утилизации. Именно затраты по утилизации отработанного долота могут снизить общую стоимость долота после восстановления. В то же время, если иметь в виду, что отработанное долото и после восстановления требует утилизации, стоимость этой опции можно в расчете не использовать.

Целесообразность использования восстановленных долот может быть при соблюдении условия:

$$C_n \geq C_e.$$

Исходя из этого соотношения, а именно равенства уравнений (1) и (2), можно определить допустимую стоимость долота с учетом ремонтно-восстановительных работ:

$$C_e \leq \frac{C_{cm} L_e}{T} \left[ \left( \frac{1}{v_n} - \frac{1}{v_e} \right) + \left( \frac{T - T_{\bar{o}}}{L} - \frac{T - T_e}{L_e} \right) \right] + \frac{C L_e}{L}$$

Если выражение в квадратных скобках будет равно нулю, что возможно при равенстве конкурирующих значений, то выражение (3) можно привести к виду:

$$C_e \leq \frac{C L_e}{L}, \quad (4)$$

что определяет возможность выполнения условия при более значительном ресурсе восстановленного долота.

В целом выражение (3) позволяет оценить совокупность эксплуатационных характеристик для определения экономической целесообразности ремонтно-восстановительных работ.

Исследование экономической целесообразности применения восстановленных шарошечных долот проводилось на производственном участке ОАО «ПНК» «Крутокаченский щебеночный завод». Данный завод разрабатывает одноименное месторождение доломитов с целью получения щебня для балластной отсыпки железнодорожного полотна.

Отделение горной массы производится взрывным способом. Крепость пород  $f=7-10$  по шкале профессора М.М. Протоdjeяконова. Бурение взрывных скважин осуществляется буровым станком СБШ-250-МНА-32 при следующих режимных параметрах: осевая нагрузка на долото – 200 кН; скорость вращения – 90 об/мин; давление воздуха – 7,5 кг/м<sup>2</sup>.

Для бурения взрывных скважин применяются шарошечные долота типа 215,9 ОК-ПВ Ш18У. В результате сбора данных выявлено, что эксплуатационный цикл шарошечных долот заключается в бурении скважин до полного отказа долота. После отработки долото транспортируется на склад для утилизации. Визуальный осмотр отработанных шарошечных долот подтвердил исследования, связанные с причинами отказов бурового инструмента, изложенные в работах [7-9].

Наиболее частой причиной отказа являлось заклинивание одной из подшипниковой опоры шарошечного долота. Заклинивание опоры происходило чаще всего в результате истирания козырька опоры о стенку скважины. Изнашивание козырька лапы долота приводит к увеличению зазора между козырьком и шарошкой, что повышает вероятность попадания более крупного бурового шлама в полость подшипниковой опоры. Крупная фракция бурового шлама содержит разрушенные и прочные кристаллы горной породы, что приводит к заклиниванию подшипникового узла и его изнашиванию. При этом процесс заклинивания шарошек четко фиксируется в процессе бурения рывками и появлением крутильных колебаний бурового става, а в результате приводит к истиранию конуса шарошки и быстрого износа твердосплавного вооружения.

Анализ эксплуатационного цикла шарошечных долот на предприятии ОАО «ПНК» «Круто-

каченский щебеночный завод» выявил отсутствие операций, влияющих на повышение срока службы бурового инструмента. Например, отсутствуют операции по удалению смазки и обкатки долота в масляной ванне, не применяются промежуточная промывка, смазка и восстановление изношенных поверхностей долота.

Средняя проходка долота на предприятии ОАО «ПНК» «Крутокаченский щебеночный завод» с применением данного эксплуатационного цикла составила 850 м.п. Среднерыночная стоимость долот тапа 215,9 ОК-ПВ Ш18У колеблется от 42000 до 45000 руб.

На основании анализа причин отказов шарошечных долот, для определения экономической эффективности восстановительных мероприятий изношенных шарошечных долот был разработан способ реставрации шарошечных долот.

Для восстановления были выбраны три шарошечных долота с работоспособными разноименными шарошками. Далее работоспособные шарошки вместе с лапами отделили от корпуса у его основания, произвели промывку подшипниковых узлов с целью извлечения бурового шлама из полости шарошки. Отделенные и подготовленные лапы с шарошками установили на корпус шарошечного долота и присоединили сваркой. В дальнейшем с помощью электродуговой наплавки восстановили первоначальные геометрические параметры долота по диаметру и произвели смазку подшипниковых узлов путем погружения долота в емкость с разогретой пластичной смазкой.

Трудозатраты на восстановление шарошечного долота составили около 20 чел/час. Ориентировочная стоимость восстановления шарошечного долота с учетом заработной платы и израсходованных материалов составила около 4500-5000 руб.

Важно подчеркнуть – в связи с тем, что техническое оснащение производственного участка и сама технология восстановления не отработаны, а технический персонал не обладает необходимыми навыками этой работы, так как данные операции выполнялись ими впервые, затраты на восстановление шарошечного долота можно снизить при организации постоянно действующего производственного участка по восстановлению шарошечных долот. Именно поэтому предполагаем, что стоимость восстановления долота можно снизить не менее чем на треть, т.е. до 3000-4000 руб.

Восстановленные шарошечные долота испытаны на ОАО «ПНК» «Крутокаченский щебеночный завод», при этом эксплуатационный цикл и режимные параметры бурения оставались прежними. В данных условиях восстановленное шарошечное долото имело средний ресурс 133 п.м., о чем свидетельствует «Акт испытаний реставрированного долота 215,9 ОК-ПВ Ш18У».

Причиной вывода из эксплуатации восстановленного долота являлось зашламливание подшипниковых опор и как следствие, затруднение вращения шарошек. Осмотр шарошечного долота показал, что повышение интенсивности попадания бурового шлама в подшипниковые опоры произошло из-за несовершенства подобранной технологии восстановления козырьков опоры методом электродуговой наплавки, в результате чего наплавленный материал был сколот при трении о стенки скважины. При этом ресурс твердосплавного вооружения конусов шарошек и самих конусов практически не изменился.

Данные, порученные в результате испытания восстановленного шарошечного долота, позволяют оценить экономическую эффективность по формуле (4), где:

Цв – цена восстановленного долота, 5000 руб.;

Ц – цена долота, 45 000 руб.;

Лв – проходка восстановленным долотом, 133 м.п.;

L – проходка на долото, 850 м.п.

$$5000 \leq \frac{45000 * 133}{850}$$
$$5000 \leq 7041,17$$

Выполнение неравенства при оценке экономической эффективности восстановительных мероприятий изношенных буровых долот по полученным данным позволяет утверждать, что данный способ восстановления экономически целесообразен. В то же время имеются определенные резервы совершенствования как технологии восстановления, так и снижения стоимости ремонтно-восстановительных работ некоторой рационализацией производства.

Несмотря на небольшую проходку восстановленного долота 133 п.м, что составляет 15% от средней проходки новыми шарошечными долотами, стоимость бурения одного погонного метра по буровому инструменту при бурении восстановленным долотом снизилась на 29%.

Анализ причин вывода из эксплуатации восстановленного долота показывает, что остаточный ресурс отдельных элементов долота остался недоиспользованным, так как своевременный вывод из эксплуатации позволил сохранить поверхности конусов шарошек и твердосплавного вооружения от истирания о забой при заклинивании подшипниковой опоры.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что стоимость затрат на буровой инструмент, а следовательно, на буровзрывные работы в целом можно снизить путем изменения эксплуатационного цикла и включения дополнительных видов работ по восстановлению бурового инструмента.

Внедрение в эксплуатационный цикл операций по промежуточной промывке и восстановлению козырьков подшипникового узла позволит

продлить работоспособность шарошечного долота, так как основной причиной выхода из строя подшипникового узла является зашламливание внутренней полости шарошки, что вследствие приводит к интенсивному износу конструктивных элементов подшипникового узла, а также к его заклиниванию.

Преждевременный вывод из эксплуатации шарошечного долота на стадии критического износа подшипниковых узлов без допуска эксплуатации в заклинившем состоянии позволит сохранить ресурс конструктивных элементов долота с целью его дальнейшего восстановления.

Организация мероприятий по восстановлению шарошечных долот и дальнейшая их эксплуатация позволит снизить затраты на буровой инструмент и как следствие на буровзрывные работы в целом.

Проведенные исследования не только показывают экономическую эффективность восстановительных мероприятий, но и демонстрируют ремонтпригодность шарошечных долот, что в свою очередь дает возможность для разработки технических мероприятий, направленных на ремонт наиболее быстроизнашивающихся элементов долота и, как следствие, уравнивание ресурса конструктивных элементов.

Разработка способа многократной реставрации подшипникового узла, направленного на восстановление начальных геометрических параметров беговых дорожек, козырьков лап и замену тел качения позволит уравнивать его ресурс относительно остальных конструктивных элементов.

Совокупность всего вышеперечисленного, внедрение в эксплуатационный цикл мероприятий по промежуточному обслуживанию и преждевременному выводу из эксплуатации шарошечного долота для последующего проведения ремонта подшипниковых узлов и износившихся конструктивных элементов позволиткратно увеличить срок службы шарошечных долот.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котов, К.Н. Применение реновационных технологий для бурового инструмента // Молодежь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section09.html>.
2. Харьковская Н.П. Оценка эксплуатационной надежности шарошечных станков и долот с восстановлением // Молодой ученый 2016. №20 (124). С. 218-223
3. Гилев А.В. Повышение эффективности эксплуатации буровой техники на горных предприятиях: монография; Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. — 372 с.

4. Гилев А.В., Бовин К.А., Шигин А.О., Белозеров И.Р. Анализ проходки шарошечных долот в условиях Олимпиадинскогогока ЗАО «ПО-ЛЮС» // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 2-1.;
5. Грибенников Н.В. Разборные шарошечные долота и их проектирование. Екатеринбург: Издательский дом «Автограф», 2012.
6. Грибенников Н.В. Сравнительная оценка предельного состояния конструктивных элементов неразборных и разборных буровых шарошечных долот // Известия Уральского государственного горного университета 2013. №1 С. 43-55.
7. Катанов Б.А. Основные направления совершенствования карьерных буровых долот // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2005. — №1 С. 51-53.
8. Пяльченков В.А. Испытания шарошечного долота с уменьшенной неравномерностью распределения нагрузки по элементам вооружения // Фундаментальные исследования. — 2016. — № 1-1. — С. 48-52.
9. Тополянский П.А., Соснин Н.А. Повышение долговечности опор качения буровых долот методом финишного плазменного упрочнения // Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций. Материалы 4-й Всероссийской практической конференции 16-18 апреля 2002 г. Санкт-Петербург. Изд. СПбГТУ, 2002. — С. 56-59.
10. Gromakovsky D. G., Kudyurov L. V., Shigin S. V. Improving the Working Capacity Resource for a Roller Cone-Drill Rod Joint of a Drill Bit // Journal of Friction and Wear. — 2018. - Vol. 39№ 6. — С. 528-534.
11. Orazzini Simone, KasirinRegillio, Ferrari Giampaolo, Bertini Alessandro, Bizzocchi Isabella, Ford, Robert, Qingxiu Li, Ming Zhang. New Roller Cone Bit Technology For Geothermal Application Significantly Increases On-Bottom Drilling Hours // Geothermal Resources Council Transactions — 2011. — Vol. 35 — С. 215-224.
12. Luiz F. P. Drilling Action of Roller-Cone Bits: Modeling and Experimental Validation // Journal of Energy Resources Technology — 2010 - Vol. 132 — 9 стр.
13. Pyalchenkov V., Kulyabin G., Dolgushin, V., & Pyalchenkov, D. Analytical and experimental study of the deformation of roller cone bit parts. // Amazonia Investiga — 2019 - № 8(21) — С. 23-32. Retrieved from <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/44>
14. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при бурении скважин: учебное пособие. — М.: ИНФРА-М; Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. — 336 с.
15. Нескоромных В.В. Оптимизация в геологоразведочном производстве. — М.: ИНФРА-М; Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. — 199 с.

**Vyacheslav V. Neskoromnykh**<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences Prof., **Ilya R. Belozerov**<sup>1</sup>, Postgraduate Student, **Konstantin A. Bovin**<sup>1</sup>, Senior Lecturer

<sup>1</sup>Siberian Federal University, Institute of Mining, Geology and Geotechnology, 660025, Russia, Krasnoyarsk, ave.im. gaz. Krasnoyarskiy rabochiy, 95

\* E-mail: belozerovir@mail.ru

## ECONOMIC CRITERION OF THE EFFICIENCY OF RECOVERY MEASURES OF WEARED DRILL BITS

**Abstract:** *The cost of three-cone drill bits is quite high, and the reasons for its replacement under production conditions are not always determined by the full use of the resource. In some cases, bits that have worked out a certain volume still have some potential for use after repair and restoration work. At the same time, it is important to objectively determine the feasibility of such works, entailing certain costs, namely, whether the restoration of bits will be beneficial in comparison with the option of completely replacing a worn-out bit with a new one. The study of the economic feasibility of using remanufactured drill bits was carried out by OJSC Krutokachensky crushed stone plant. For research, analytical and statistical methods were used, which made it possible to derive a criterion for the effectiveness of repair and restoration measures for used drill bits. The studies carried out have shown not only the economic efficiency of recovery measures, but also the maintainability of drill bits, which makes it possible to reduce the cost of drilling tools and, as a consequence, for drilling and blasting operations in general. In addition, the development of technical measures aimed at the repair of quickly wearing out parts of the bit, the introduction of intermediate flushing operations into the operational cycle, allow balancing the resource of structural elements.*

**Keywords:** *drill bit; bit durability; restoration of bit performance; drill cuttings; operational cycle; economic efficiency.*

**Article info:** received December 16, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-1-27-32

### REFERENCES

1. Kotov, K.N. Application of Renovation Technologies for Drilling Tools // Youth and Science: Collection of Materials of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, dedicated to the 155th anniversary of the birth of K.E. Tsiolkovsky [Electronic resource]. - Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012. - Access mode: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section09.html>.
2. Kharkovskaya N.P. Assessment of the operational reliability of roller cone machines and bits with restoration // Young Scientist 2016. No. 20 (124). P. 218-223.
3. Gilev A.V. Povysheniye effektivnosti ekspluatatsii iburovoy tekhniki nagornykh predpriyatiyakh: mono-grafiya; Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2013. - 372 p.
4. Gilev A.V., Bovin K.A., Shigin A.O., Belozerov I.R. Analysis of the boring of drill bits in the conditions of the Olimpiada POLUS JSC // Modern problems of science and education. - 2015. - No. 2-1;
5. Gribennikov N.V. Razbornyyesharoshchennyedolotaiikhproyektirovaniye. Yekaterinburg: Izdatel'skiy dom «AvtoGRAF», 2012.
6. Gribennikov N.V. Comparative assessment of the limiting state of structural elements of non-collapsible and collapsible roller cone drill bits // Bulletin of the Ural State Mining University 2013. No. 1 P. 43-55.
7. Katanov B.A. The main directions in improvement of open-pit drill bits // Bulletin of Kuzbass State Technical University. - 2005. - No. 1 P. 51-53.
8. Pyalchenkov V.A. Drill bit's tests with a reduced uneven distribution of the load over the elements of the armament // Fundamental research. - 2016. - No. 1-1. - P. 48-52
9. Topolyansky P.A., Sosnin N.A. Increasing the durability of the rolling bearings of drill bits by the method of final plasma hardening // Technologies of repair, restoration, hardening and renewal of machines, mechanisms, equipment and metal structures. Materials of the 4th All-Russian Practical Conference April 16-18, 2002 St. Petersburg. Ed. SPbSTU, 2002. - P. 56-59
10. Gromakovskiy D. G., Kuduyurov L. V., Shigin S. V. Improving the Working Capacity Resource for a Roller Cone – Drill Rod Joint of a Drill Bit // Journal of Friction and Wear. - 2018. - Vol. 39 # 6. - P. 528-534.
11. Orazzini Simone, Kasirin Regillio, Ferrari Giam-paolo, Bertini Alessandro, Bizzocchi Isabella, Ford, Robert, Qingxiu Li, Ming Zhang. New Roller

Cone Bit Technology For Geothermal Application Significantly Increases On-Bottom Drilling Hours // Geothermal Re-sources Council Transactions - 2011. - Vol. 35 - p. 215-224

12. Luiz F. P. Drilling Action of Roller-Cone Bits: Modeling and Experimental Validation // Journal of Energy Resources Technology - 2010 - Vol. 132 - 9 p.

13. Pyalchenkov V., Kulyabin G., Dolgushin, V., & Pyalchenkov, D. Analytical and experimental study of the deformation of roller cone bit parts. //

#### **Библиографическое описание статьи**

Нескоромных В.В., Белозеров И.Р., Бовин К.А. Экономический критерий эффективности восстановительных мероприятий изношенных буровых долот // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 1 (153). – С. 27-32.

Amazonia Investiga - 2019 - No. 8 (21) - P. 23-32. Retrieved from <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/44>

14. Neskromnykh V.V. Razrusheniye gornykh porod pribureniiskvazhin: uchebnoyeposobiye. – M.: INFRA-M; Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2015. – 336 p.

15. Neskromnykh V.V. Optimizatsiya v geologorazvedochnom proizvodstve. – M.: INFRA-M; Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2015. – 199 p.

#### **Reference to article**

Neskromnykh V.V., Belozerov I.R., Bovin K.A. Economic criterion of the efficiency of recovery measures of worn drill bits. Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.1 (153), pp. 27-32.