

## РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЛОТ С РЕЗЦАМИ PDC

Б.Т. Ратов<sup>1</sup>, Б.В. Федоров<sup>1</sup>, Э.Ж. Омирзакова<sup>2</sup>, Д.Р. Коргасбеков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> КазНИТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: ratov69@mail.ru

<sup>2</sup> Каспийский общественный университет (Каспийский университет), Алматы, Казахстан

**Аннотация:** Рассмотрен процесс формирования скважины. Первоначально формируется пилот-скважина с образованием дополнительных свободных поверхностей в массиве. Дальнейшее углубление забоя вызывает контакт выбуриваемого керна с резцами кернолома. В результате столбик керна оказывается связан с массивом только своим основанием, что облегчает его разрушение и вынос продуктов разрушения струей промывочной жидкости, выбрасываемой из гидронасадки. Одновременно резцы, расположенные на первой ступени лопастей расширителя, вступая в контакт с массивом, производят его разрушение и расширение скважины до промежуточного диаметра. Дальнейшее углубление забоя скважины вызывает параллельно процессы разрушения керна, увеличения диаметра скважины и контакт резцов, расположенных на 2-ой ступени лопастей расширения, что вызовет расширение скважины до второго промежуточного диаметра. Непрерывное углубление забоя скважины повторяет те же вышеупомянутые процессы с расширением скважины до номинального диаметра ДН. Так как расширение скважины до требуемого размера требует значительно меньше энергии, чем при углублении пилотом, лопасти расширителя на каждой ступени имеет всего по 4 резца PDC (по числу лопастей), несмотря на значительно больший объем разрушаемой породы. Очистка скважины от бурового шлама осуществляется с помощью промывочной системы, в которую входят: каналы, сообщающиеся с центральным сквозным каналом, и гидронасадки, установленные на торце пилота, внутренней перегородке трубчатого корпуса и на лопастях расширителя.

**Ключевые слова:** долото, резцы, бурение скважин, установка, пикобур, буровой раствор, керн, кернолом, лопасть, алмазно-твердосплавные пластины, канал для прохода бурового раствора.

**Для цитирования:** Ратов Б. Т., Федоров Б. В., Омирзакова Э. Ж., Коргасбеков Д. Р. Разработка и совершенствование конструктивных параметров долот с резцами PDC // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 73–80. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-73-80.

### Development and improvement of design factors for PDC cutter bits

B.T. Ratov<sup>1</sup>, B.V. Fedorov<sup>1</sup>, E.J. Omirzakova<sup>2</sup>, D.R. Korgasbekov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ratov69@mail.ru

<sup>2</sup> Caspian Public University (Caspian University), Almaty, Kazakhstan

**Abstract:** The process of hole making is examined. First, a pilot hole is made with formation of additional free surfaces. In further deepening of coal, cutters come into contact with core. As a result, the core column is only connected to rock mass at bottom, which facilitates core breaking and

removal by wash liquid fed from hydraulic nozzle. At the same time, picks in the first row on the blade of the reamer get into contact with rock mass, break it and ream out the hole to an intermediate diameter. The further deepening of the hole goes in parallel with core breaking and hole reaming to the second intermediate diameter under the contact between the second row picks and rock mass. The process is continued until the hole is reamed to the rated diameter DH. The hole reaming up to a required size needs much less energy than the pilot hole making; for this reason, each reamer blade has only 4 PDC cutters (in accordance with the number of the blades) despite much greater volume of rock breaking. Mud cleaning is carried out using the washing system composed of channels connected to the central end-to-end channel and hydraulic nozzles mounted at the end of the pilot hole maker, internal brattice in the tube body and on the blades of the reamer.

**Key words:** drill bit, drilling, plant, bladed bit, mud, core, core breaker, blade, diamond carbide blades, mud flow channel.

**For citation:** Ratov B. T., Fedorov B. V., Omirzakova E. J., Korgasbekov D. R. Development and improvement of design factors for PDC cutter bits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(11):73-80. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-73-80.

## Введение

В последние годы для бурения нефтяных и газовых скважин все шире применяется сравнительно новый вид породоразрушающего инструмента — долота PDC. Вооружение последних представляет твердосплавные пластинки, покрытые тонким слоем (0,5—0,7 мм) поликристаллических алмазов. По микротвердости алмазно-твердосплавные пластинки не уступают природным алмазам (950—1000 МПа) и лишены анизотропности [1]. Большим преимуществом упомянутого инструмента является его способность к самозатачиванию в процессе разрушения забоя скважины и весьма большая стойкость долот PDC (до 4000 м скважин и выше). Их показатели по проходке на долото и механическая скорость примерно в 3—4 раза выше, чем у шарошечных долот. Эти данные получены при разбуривании малоабразивных мягких пород и пород средней твердости: мел, карналиты, глинистые сланцы, алевролиты, малоабразивные известняки и т.д. В Казахстане внедрение долот PDC взамен шарошечных долот на крупном нефтяном месторождении Узень показало, что долота PDC превышают стойкость шарошечных долот в 6—7 раз, а по производительности превосходят их в 2—2,2 раза [2].

Вместе с тем, имеются определенные возможности для совершенствования лопастных долот, вооружение которых представляет резцы PDC, твердый сплав или алмазные зерна. Дело в том, что при использовании современных лопастных долот механизм разрушения забоя скважины заключается в преодолении твердости горных пород. В результате действия осевой нагрузки вооружение инструмента (резцы или зерна) внедряется в породу на определенную глубину, а при вращении долота снимается ее слой, и забой скважины углубляется. Однако углубление последней замедляется вследствие нулевых окружных скоростей вращения инструмента в центральной части забоя (по оси вращения долота), где происходит лишь раздавливание породы, что замедляет общий процесс бурения. Кроме того, применяемая круглая форма алмазно-твердосплавных пластин для вооружения долот PDC затрудняет процесс бурения с рациональной осевой нагрузкой на инструмент даже при проходке однородных по твердости горных пород по мере износа упомянутых пластин.

## Постановка проблемы

Одним из путей совершенствования конструкции лопастных долот PDC для бурения скважин является рациональ-

ное перераспределение энергии, подводимой к инструменту, сосредоточение ее значительной доли для формирования пилот-скважины малого диаметра. Оставшуюся часть энергии нужно подводить ступенчато, увеличивая диаметр скважины до требуемого, номинального размера.

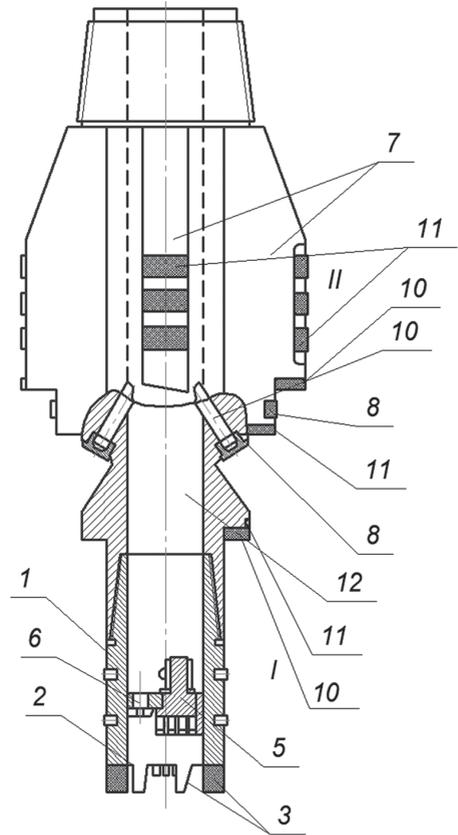
Концентрация энергии при бурении пилот-скважины достигается путем размещения большого количества породоразрушающих элементов, приходящихся на единицу площади разрушаемого забоя. Такой принцип успешно реализован в геологоразведочном бурении, где созданы и успешно работают пикобуры [3].

С учетом опыта применения последних нами разработано и запатентовано долото типа пикобур для бурения нефтяных и газовых скважин (рисунок), состоящее из двух основных конструктивных узлов: пилота I и расширителя II, соединенных резьбой. Назначение пилота — бурение опережающей скважины малого диаметра (в данном случае — 76 мм), назначение расширителя — формирование скважины номинального диаметра.

Пилот состоит из трубчатого корпуса 1, в торцевой части которого имеются выступы 2, на наклонных поверхностях которых размещены припаянные алмазно-твердосплавные пластины (АТП) 3 прямоугольной формы. Между выступами в торцевой части размещены две гидронасадки 4 для подачи бурового раствора. Трубчатый корпус имеет внутри перегородку, на которой смонтированы кернолом 5 с резами и дополнительная гидронасадка 6. На противоположной торцевой части трубчатого корпуса 1 выполнена резьба для соединения с расширителем. Последний состоит из четырех лопастей 7, ступенчато уменьшающихся в направлении к забою скважины. На боковой поверхности меньшей ступени лопастей выполнены наклонные каналы 8 с гидронасадками 9. Все ступени

лопастей и боковые поверхности последних оснащены алмазно-твердосплавными пластинами 10, 11. Назначение пластин 10 — расширять забой скважины, назначение пластин 11 — калибровать увеличивающийся ствол скважины после каждой ступени расширения.

В центральной части расширителя выполнен сквозной канал 12 для прохода



Долото пикобур: 1 — трубчатый корпус; 2 — выступы; 3 — алмазно-твердосплавные пластинки (АТП); 4 — гидронасадки; 5 — кернолом; 6 — гидронасадка; 7 — лопасть; 8 — каналы для течения бурового раствора; 9 — гидронасадки; 10, 11 — пластинки АТП; 12 — канал для прохода бурового раствора

Pico-bit bit: 1 — tubular body; 2 — protrusions; 3 — diamond carbide inserts (ATP); 4 — hydraulic precipitation; 5 — kernol; 6 — hydropump; 7 — blade; 8 — channels for the flow of drilling fluid; 9 — hydraulic precipitation; 10, 11 — ATP plates; 12 — channel for the passage of drilling fluid

бурового раствора, а в верхней торцевой части нарезана замковая резьба для соединения с бурильной колонной или с валом забойного двигателя.

Рассмотрим особенности формирования скважины долотом-пикобуром. После спуска последнего в скважину, подачи бурового раствора, создания требуемой осевой нагрузки и передачи крутящего момента первоначально формируется опережающий кольцевой забой диаметром  $d_0$ . Это операция осуществляется с помощью шести алмазно-твердосплавных резцов 3 и гидродинамического давления бурового раствора, выбрасываемого из 2-х гидронасадок 4 (рисунок). Образующийся керн по мере его роста по высоте контактирует с резами вращающегося кернолома и разрушается, а продукты разрушения выносятся струей промывочной жидкости, вытекающей из гидронасадки 6.

Нами в работе [4] выведена формула для определения скорости бурения долотом PDC традиционной конструкции. В данном случае с учетом формирования кольцевого забоя пилот-скважины упомянутая формула несколько изменится и примет вид:

$$v_0 = \frac{K_0 m n C_0}{P_{\text{ш}} (R - r)}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где  $K_0$  — коэффициент, зависящий от угла наклона резания  $\gamma$  (обычно  $\gamma = 90 + \gamma$ ;  $\gamma = 20^\circ$ ) и силы трения пластинки АТП о породу забоя; принимается  $f = 0,3$ ; при этих величинах  $K_0 = 2,9$ ;  $m$  — число алмазно-твердосплавных резцов;  $n$  — частота вращения пикобура;  $C_0$  — осевая нагрузка на один резец;  $P_{\text{ш}}$  — твердость разрушаемой породы по Л.А. Шрейнеру;  $R, r$  — наружный и внутренний радиусы кольцевого забоя.

Мощность  $N_{\text{р.з}}$ , необходимая для разрушения породы при формировании кольцевого забоя пилот-скважины, по Б.И. Возвиженскому [5] определяется по формуле:

$$N_{\text{р.з}} = 327 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{\text{сж}} n m h^{0,75} \pi (R - r)^2, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{\text{сж}}$  — временное сопротивление буримой породы сжатию, Дан/см<sup>2</sup>;  $h$  — глубина внедрения алмазно-твердосплавных резцов в породу;  $n, m, R, r$  — имеет те же значение что в формуле (1).

Величина  $h$  для резцов PDC определяется по формуле [4]:

$$h = \frac{(f \cos \gamma - \sin \gamma) C_0}{f^2 O, 62 P_{\text{ш}} \beta \text{tg} \gamma}, \quad (3)$$

где  $b$  — ширина реза PDC, которая в рассматриваемом случае равна ширине кольцевого забоя, т.е.  $b = R - r$ .

Проанализируем формулы (1) и (2). Из (1) следует что при бурении конкретной горной породы при рациональных параметрах  $C_0, n$  скорость бурения пилот-скважины прямо пропорциональна количеству резцов ( $m$ ) и обратно пропорциональна радиусу (диаметру) скважин. Это означает, что при формировании пилот-скважины нужно повышать энергооборуженность пилотной части долота, разместив на торце пилота наибольшее количество породоразрушающих элементов, и бурить пилот-скважину по возможности меньшим диаметром. Упомянутые принципы положены в основу конструирования пилота долота пикобура: на торце размещено 6 алмазно-твердосплавных резцов прямоугольной формы и две гидронасадки. Это позволило бурить пилот-скважину достаточно малым диаметром (76 мм) с большой скоростью и сохранять неизменной осевую нагрузку в однородной породе по мере износа резцов, имеющих прямоугольную форму.

Что касается формулы (2), то ее анализ показывает, что мощность на разрушение забоя повышается пропорционально увеличению количества породоразрушающих элементов на торце пилота и нелинейно возрастает в зависимости от площади кольцевого забоя (с учетом формулы (3) для глубины внедрения резцов).

Следует далее отметить, что формирование пилот-скважины позволяет получить две дополнительные поверхности обнажения в буримом массиве. Их наличие позволяет значительно снизить энергоемкость и мощность на разрушение как керна, так и кольцевых объемов околоскважинного массива при работе расширителя.

В работах [7—9] показано, что эффективность механического воздействия породоразрушающего элемента на горную породу в значительной степени зависит от его положения по отношению к ограничивающим разрушаемый массив свободным поверхностям. При этом имеет место два вида разрушения: выколом и сколом. Разрушение выколом происходит в том случае, когда массив представляет полупространство, а воздействие на породу осуществляется через единственную свободную поверхность. Разрушение при наличии нескольких свободных поверхностей принято называть сколом.

Энергоемкость разрушения пород средней твердости в режиме выкола по разным данным составляет от 100—200 Дж/см<sup>3</sup>. Энергоемкость разрушения пород при чистом сколе, когда вторая свободная поверхность имеет неограниченные размеры, составляет всего 0,5 Дж/см<sup>3</sup> [9]. С уменьшением размеров свободных поверхностей энергоемкость разрушения растет.

В рассматриваемом случае разрушение выколом можно рассматривать процесс формирования пилотом долота опережающего кольцевого забоя в массиве. Образовавшиеся свободные поверхности (боковая поверхность керна и стенки пилот-скважины) способствуют разрушению керна и стенок пилот-скважины в режиме скола. При этом энергоемкость разрушения снижается в 2—3 раза [6—8, 10—19] по сравнению с разрушением выколом.

В свете изложенного процесс формирования скважины представляется следующим образом. Первоначально формируется пилот-скважина с образованием дополнительных свободных поверхностей в массиве. Дальнейшее углубление забоя вызывает контакт выбуриваемого керна с резцами кернолома. В результате столбик керна оказывается связан с массивом только своим основанием, что облегчает его разрушение и вынос продуктов разрушения струей промывочной жидкости, выбрасываемой из гидронасадки 6 (см. рисунок).

Одновременно резцы 10, расположенные на первой ступени лопастей расширителя, вступая в контакт с массивом, производят его разрушение и расширение скважины до промежуточного диаметра  $d_1$ . Дальнейшее углубление забоя скважины вызывает параллельно процессы разрушения керна, увеличения диаметра скважины и контакт резцов 10, расположенных на 2-ой ступени лопастей расширения, что вызовет расширение скважины до второго промежуточного диаметра  $d_2$ . Непрерывное углубление забоя скважины повторяет те же вышеупомянутые процессы с расширением скважины до номинального диаметра  $D_H$ . Так как расширение скважины до требуемого размера требует значительно меньше энергии, чем при углублении пилотом, лопасти расширителя на каждой ступени имеет всего по 4 резца PDC (по числу лопастей), несмотря на значительно больший объем разрушаемой породы.

Очистка скважины от бурового шлама осуществляется с помощью промывочной системы, в которую входят: каналы, сообщающиеся с центральным сквозным каналом 12 (рисунок) и упомянутые гидронасадки установленные на торце пилота, внутренней перегородке трубчатого корпуса 1 и на лопастях расширителя.

## Выводы

• Обоснованы основные конструктивные параметры долота-пикобура для бурения скважин. Основной принцип, заложенный в его конструкции — бурение пилот-скважины с последующим ее расширением до номинального размера. При этом необходимо перераспределить подводимую к долоту энергию, сконцентрировав большую ее часть для бурения пилот-скважины. Для этого следует разместить на пилоте расширителя максимальное количество породоразрушающих элементов

(резцов PDC) совместно с гидронасадками, применение которых обеспечит дополнительный гидродинамический эффект.

• Показано, что создание дополнительных поверхностей обнажения при формировании керна и пилот-скважины значительно облегчает расширение скважины до номинального диаметра.

• После изготовления будут проведены испытания опытного образца долота-пикобура с целью проверки работоспособности его основных конструктивных элементов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин А. Г., Оганов А. С., Сазонов А. А., Бастриков С. Н. Строительство нефтяных и газовых скважин. Т. 1. — М.: Изд. центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2013.

2. Fedorov B., Ratov B., Sharauova A. Development of the model of petroleum well boreability with PDC bore bits for Uzen oil field (the Republic of Kazakhstan) // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017, 3/1 (87), p. 16–22. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99032.

3. Володин Ю. И. Основы бурения. — М.: Недра, 1996.

4. Федоров Б. В., Коргасбеков Д. Р. и др. Долото типа пикобур и научное обоснование его параметров // Горный журнал Казахстана. — 2018. — № 11. — С. 39–43.

5. Федоров Б. В., Хузина Л. Б., Ратов Б. Т., Шараяова А. Б. Моделирование процесса углубления скважины долотами PDC // Нефть и газ. — 2017. — № 4 (100). — С. 77–85.

6. Ганджумян Р. А. Практические расчеты в разведочном бурении. — М.: Недра, 1986.

7. Протасов Ю. И. Теоретические основы механического разрушения горных пород. — М.: Недра, 1985. — 242 с.

8. Куликов И. В., Воронов В. Н., Николаев И. И. Пневмоударное бурение разведочных скважин. — М.: Недра, 1987.

9. Крюков Г. М. Теория разрушения пород при шарошечном и ударно-вращательном бурении взрывных скважин. дисс. доктора техн. наук. — М., 1981.

10. Sudakov A. K., Khomenko O. Ye., Isakova M. L., Sudakova D. A. Concept of numerical experiment of isolation of absorptive horizons by the rmoplastic materials // Scientific bulletin of National Mining University, 2016, no. 5(155), pp. 12–16.

11. Khomenko O. Ye., Sudakov A. K., Malanchuk Z. R., Malanchuk Ye. Z. Principles of rock pressure energy usage during under ground mining of deposits // Scientific Bulletin of NMU. 2017, no 2(158), pp. 34–43.

12. Sudakov A. K., Dreus A. Yu., Khomenko O. Ye., Sudakova D. A. Analitic study of heattransfer in absorbing horizon of boreholesin the formation of protection cryogenic plugging material // Scientific Bulletin of NMU. 2017, no 3(159). pp. 32–46.

13. Rakishev B. R., Shashenko A. N., Kovrov A. S. Trends of the rock failure conceptions development // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2018, vol. 5, no 431, pp. 161–169. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.46>.

14. Wills B. A., Finch J. Wills Mineral Processing Technology / An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 2015. Edition 8. p. 512.

15. Krylov I. O., Valavin V. S. Effects of ultrasonic treatment of old tailings at the Kamysh-Burun Iron Ore Plant // Ekologiya i promyshlennost Rossii. 2018. Vol. 22. No. 2. pp. 13–19.

16. Rovin S. L., Rovin L. E. Processing of iron-bearing mining waste // Litie i metally. 2015. No 4(81). pp. 67–70.

17. Povolotsky A. D., Povolotsky V. D., Potapov K. O., Roshchin V. E., Shestakov A. L., Rozovsky A. L. Method for processing iron-bearing waste. Patent RU 2 539 884 s1. Published: 21.07.2015. Bul. No. 3.

18. Bortnikov A. V., Samukov A. D., Spiridonov P. A., Shuloyakov A. D. Batch preparation technology for mineral cotton production based on the use of mineral processing waste // *Obogashchenie Rud.* 2015. No. 3. pp. 45–49. DOI: 10.17580/or.2015.03.09.

19. Yushina T. I., Krylov I. O., Valavin V. S., Sysa P. A. Producibility of iron-bearing materials from industrial waste of Kamysh-Burin Iron Ore Plant using Romelt process // *Gornyy Zhurnal.* 2017. No. 6. pp. 53–57. DOI: 10.17580/gzh.2017.06.10. **MAA**

## REFERENCES

1. Kalinin A. G., Oganov A. S., Sazonov A. A., Batrikov S. N. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin.* T. 1 [Oil and gas well construction. Vol. 1], Moscow, Izd. tsentr RGU nefi i gaza im. I.M. Gubkina, 2013.

2. Fedorov B., Ratov B., Sharauova A. Development of the model of petroleum well boreability with PDC bore bits for Uzen oil field (the Republic of Kazakhstan). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017, 3/1 (87), p. 16–22. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99032.

3. Volodin Yu. I. *Osnovy bureniya* [Drilling fundamentals], Moscow, Nedra, 1996.

4. Fedorov B. V., Korgasbekov D. R. Bladed bit and scientific justification of its parameters. *Gornyy zhurnal Kazakhstana.* 2018, no 11, pp. 39–43. [In Russ].

5. Fedorov B. V., Khuzina L. B., Ratov B. T., Sharauova A. B. Modeling borehole drilling by PDC cutter bits. *Neft' i gaz.* 2017, no 4 (100), pp. 77–85. [In Russ].

6. Gandzhumyan R. A. *Prakticheskie raschety v razvedochnom burenii* [Practical calculus in exploration drilling], Moscow, Nedra, 1986.

7. Protasov Yu. I. *Teoreticheskie osnovy mekhanicheskogo razrusheniya gornyykh porod* [Theory of rock disintegration], Moscow, Nedra, 1985. 242 p.

8. Kulikov I. V., Voronov V. N., Nikolaev I. I. *Pnevmodarnoe burenie razvedochnyykh skvazhin* [Air-percussion drilling of exploration holes], Moscow, Nedra, 1987.

9. Kryukov G. M. *Teoriya razrusheniya porod pri sharoshechnom i udarno-vrashchatel'nom burenii vzryvnykh skvazhin* [Theory of rock disintegration in roller-bit and rotary-percussive drilling of blastholes], Doctor's thesis, Moscow, 1981.

10. Sudakov A. K., Khomenko O. Ye., Isakova M. L., Sudakova D. A. Concept of numerical experiment of isolation of absorptive horizons by the rmo-plastic materials. *Scientific bulletin of National Mining University,* 2016, no. 5(155), pp. 12–16.

11. Khomenko O. Ye., Sudakov A. K., Malanchuk Z. R., Malanchuk Ye. Z. Principles of rock pressure energy usage during under ground mining of deposits. *Scientific Bulletin of NMU.* 2017, no 2(158), pp. 34–43.

12. Sudakov A. K., Dreus A. Yu., Khomenko O. Ye., Sudakova D. A. Analytic study of heattransfer in absorbing horizon of boreholes in the formation of protection cryogenic plugging material. *Scientific Bulletin of NMU.* 2017, no 3(159). pp. 32–46.

13. Rakishev B. R., Shashenko A. N., Kovrov A. S. Trends of the rock failure conceptions development. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences.* 2018, vol. 5, no 431, pp. 161–169. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.46>.

14. Wills B. A., Finch J. Wills Mineral Processing Technology. *An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery.* 2015. Edition 8. p. 512.

15. Krylov I. O., Valavin V. S. Effects of ultrasonic treatment of old tailings at the Kamysh-Burin Iron Ore Plant. *Ekologiya i promyshlennost Rossii.* 2018. Vol. 22. No. 2. pp. 13–19.

16. Rovin S. L., Rovin L. E. Processing of iron-bearing mining waste. *Litie i metally.* 2015. No 4(81). pp. 67–70.

17. Povolotsky A. D., Povolotsky V. D., Potapov K. O., Roshchin V. E., Shestakov A. L., Rozovsky A. L. *Patent RU 2 539 884 s1.* 21.07.2015. Method for processing iron-bearing waste.

18. Bortnikov A. V., Samukov A. D., Spiridonov P. A., Shuloyakov A. D. Batch preparation technology for mineral cotton production based on the use of mineral processing waste. *Obogashchenie Rud.* 2015. No. 3. pp. 45–49. DOI: 10.17580/or.2015.03.09.

19. Yushina T. I., Krylov I. O., Valavin V. S., Sysa P. A. Producibility of iron-bearing materials from industrial waste of Kamysh-Burin Iron Ore Plant using Romelt process. *Gornyy Zhurnal.* 2017. No. 6. pp. 53–57. DOI: 10.17580/gzh.2017.06.10.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Ратов Боранбай Товбасарович*<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор, e-mail: ratov69@mail.ru,  
*Федоров Борис Владимирович*<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор,  
*Омирзакова Элмира Женисовна* — канд. техн. наук, ассоц. профессор,  
Каспийский общественный университет (Каспийский университет), Алматы, Казахстан,  
*Коргасбеков Дархан Рахметолаевич*<sup>1</sup> — тьютор, магистр техн. наук,  
<sup>1</sup> КазННТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.

**Для контактов:** Ратов Б.Т., e-mail: ratov69@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*B.T. Ratov*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: ratov69@mail.ru,  
*B.V. Fedorov*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
*E.J. Omirzakova*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. professor,  
Caspian Public University, (Caspian University), Almaty, Kazakhstan,  
*D.R. Korgasbekov*<sup>1</sup>, Tyutor, Master of technical science,  
<sup>1</sup> Satbayev University, 050013, Almaty, Kazakhstan.

**Corresponding author:** B.T. Ratov, e-mail: ratov69@mail.ru.



---

### РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

---

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕЙ ПРИ ХРАНЕНИИ В ШТАБЕЛЕ

(№ 1209/11–19 от 25.10.2019; 17 с.)

*Гаврилова Дарья Ивановна*<sup>1</sup> — инженер,  
*Никитина Изабелла Михайловна*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, ведущий инженер,  
*Минаев Владимир Иванович*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, ведущий инженер,  
*Эпштейн Светлана Абрамовна*<sup>1</sup> — д-р техн. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией,  
<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС», e-mail: apshtein@yandex.ru.

Рассмотрены методы борьбы с окислением и самовозгоранием углей при их хранении, в том числе с применением специальных химических ингибиторов или растворов. Для оценки окислительных процессов, протекающих в угле при его хранении в штабеле, наиболее информативным является показатель высшей теплоты сгорания топлива в расчете на сухое беззольное состояние топлива. Экспериментальные результаты по мониторингу изменения этого показателя позволили установить, что процессы окисления двух бурых углей начинают развиваться через 15–19 недель после закладки штабелей. Обработка поверхности экспериментальных штабелей полимерной эмульсией «AMS-1000» позволяет ингибировать процессы окисления бурых углей и сократить снижение их калорийности при длительном хранении. Показано, что применение полимерной эмульсии для послонной обработки бурых углей при формировании штабеля может привести к дополнительным рискам самонагревания угля.

Ключевые слова: уголь, хранение, угольный штабель, показатели качества, химические ингибиторы, полимерная эмульсия, стойкость к окислению.

#### THE USE OF FILM-FORMING POLYMER EMULSIONS TO REDUCE THE OXIDATION OF COALS DURING STORAGE IN A STACK

*D.I. Gavrilova*<sup>1</sup>, Engineer, *I.M. Nikitina*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Leading Engineer,  
*V.I. Minaev*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Leading Engineer,  
*S.A. Epshtein*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Head of Laboratory, e-mail: apshtein@yandex.ru,  
<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

The methods of combating oxidation and spontaneous combustion of coals during their storage, including the use of special chemical inhibitors or solutions, are considered. It is shown that for the assessment of oxidative processes occurring in coal during its storage in the stack, the most informative is the indicator of the highest heat of combustion of fuel based on the dry ashless state of the fuel. Experimental results on monitoring of change of this indicator allowed to establish that processes of oxidation of two brown coals begin to develop in 15–19 weeks after a bookmark of stacks. Surface treatment of experimental stacks with polymer emulsion «AMS-1000» allows to inhibit the oxidation of brown coals and, thus, to reduce the reduction of their calorific content during long-term storage. The use of polymer emulsion for layer-by-layer processing of brown coals in the formation of a stack can lead to additional risks of self-heating of coal.

Key words: coal, storage, coal stack, quality indicators, chemical inhibitors, polymer emulsion, oxidation resistance.