

УДК 622.24.05

Д.Ю. Сериков, к.т.н., Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина,
e-mail: serrico@rambler.ru

Совершенствование геометрии вооружения шарошечных буровых долот с боковой гидромониторной промывкой

Представлены результаты работы, направленной на совершенствование геометрии вооружения шарошечных буровых долот с боковой гидромониторной симметричной промывкой.

Ключевые слова: шарошечное буровое долото, косозубое вооружение, неньютоновская жидкость.

Одним из путей повышения эффективности работы шарошечного бурового инструмента наряду с совершенствованием вооружения и повышением стойкости опорных узлов является улучшение системы очистки скважины. Знание гидродинамических процессов, происходящих в призабойной зоне, позволяет определять степень и интенсивность очистки забоя и долота от бурового шлама, а следовательно, и эффективность той или иной схемы промывки.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования гидродинамических процессов достаточно полно отражают общую картину распределения скоростных потоков и давлений в призабойной зоне и вдоль стенки скважины. Однако полностью отсутствуют исследования, связанные с влиянием геометрии вооружения шарошек на гидравлическую среду призабойной зоны.

По мнению большинства исследователей, на эффективность очистки скважины влияют такие факторы, как объем и скорость промывочной жидкости, подаваемой на забой, схемы и конструкции промывочных устройств (их гидравлическое совершенство, количество, высота, место расположения и угол наклона относительно плоскости забоя) и др. [2, 3]. На рисунке 1 графически показаны пути и скорости движения шлама при боковой симметричной промывке, полученные инженерами

французского Института нефти. Как видно из приведенного рисунка, при традиционной симметричной схеме расположения гидромониторных насадок подъем шлама преимущественно осуществляется через центральную зону долота и вдоль спинок лап [4]. Также известно, что при схеме промывки с тремя боковыми гидромониторными насадками величина скорости поперечного потока при приближении к центру забоя на расстояние около 0,14 радиуса долота падает до нуля.

Это объясняется тем, что центр забоя является местом взаимодействия потоков промывочной жидкости из трех симметрично расположенных боковых насадок. В этой области образуется застойная зона, центром которой является место встречи всех трех потоков, а диаметр этой зоны зависит от размеров инструмента и величин скоростей соударяющихся потоков [2].

Это подтверждают и результаты замера вторичной измельчаемости шлама при данной схеме промывки долота,

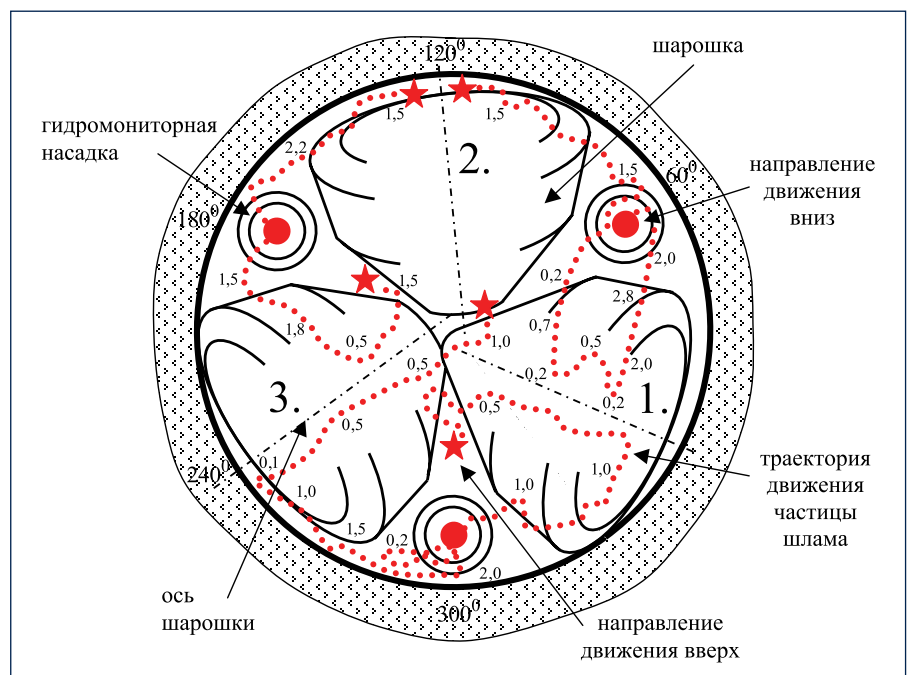


Рис. 1. Траектории и скорости (м/с) движения шлама при симметричной схеме промывки: 1 – три боковые насадки; 2 – две боковые насадки и одна эжекционная

полученные А.М. Гусманом и Б.И. Мительманом.

Промывочная жидкость со шламом поднимается от забоя вверх во внутреннюю надшарошечную зону, где останавливается, эжектируется струями промывочной жидкости из насадок и устремляется вновь к забою. При этом совершается многократное перемалывание шлама зубьями шарошек, что влечет при данной схеме промывки к их интенсивному износу именно в этой зоне [3].

На рисунке 2 представлена картина движения потоков промывочной жидкости вдоль стенки скважины для схемы промывки с тремя боковыми насадками.

Как видно из приведенного рисунка, для данной схемы промывки характерны два основных потока: нисходящий – в свободном проеме промывочная жидкость эжектируется струей насадки и направляется в сторону забоя, причем эжекции подвергается и жидкость, находящаяся выше насадки, что влечет повторное попадание на забой уже поднятого шлама (положение – 60°); восходящий – вдоль спинки лапы промывочная жидкость после взаимодействия струй из соседних насадок поднимается вверх высокоскоростным потоком, увлекая с собой шлам с забоя скважины, что обуславливает ускоренный износ лапы в этой зоне (положение $0-30^\circ$). Некоторое смещение потока поднимающейся жидкости от положения 0° объясняется конструктивными особенностями долот, насадки которых в теле долота расположены под углом к оси вращения инструмента в сторону набегающей шарошки. Поэтому взаимодействие двух потоков из соседних насадок происходит в точке, смещенной в сторону положения 30° . Кроме того, после соударения струи промывочной жидкости из насадки с поверхностью забоя в сторону набегающей шарошки устремляется поток большей мощности, чем в противоположную. Это влечет еще большее отклонение результирующего потока и несколько снижает износ лап долота от взаимодействия с поднимающимся шламом.

Еще одним моментом, отрицательно влияющим на качество очистки призабойной зоны, является наличие шероховатости поверхности забоя, т.е. лунок,

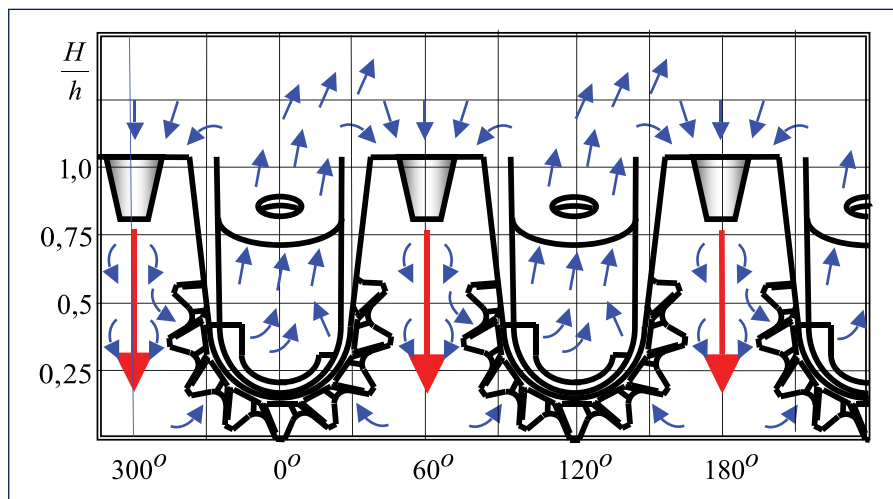


Рис. 2. Схема направления потоков промывочной жидкости вдоль стенки скважины при симметричной схеме промывки

создаваемых под воздействием зубьев вооружения. Зоны мелких вихрей, образующихся в этих местах, оттесняют основной поток от поверхности забоя, выравнивают поле скоростей этого потока и сосредотачивают его в проеме между шарошками.

Кроме того, анализ износа вооружения шарошек отработанных буровых долот с боковой симметричной гидромониторной промывкой свидетельствует о том, что для них характерен преимущественный износ вооружения верхних венцов шарошек, куда транспортируется шлам с периферии [2].

Таким образом, анализ гидравлических потоков и их влияния на очистку забоя от выбуренного шлама показывает наличие в симметричной схеме промывки

ряда недостатков, что приводит к выводу о необходимости поиска новых технических решений, направленных на повышение эффективности очистки забоя.

Одним из перспективных способов, позволяющих эффективно бороться с застойными зонами, образующимися в различных местах забоя, является оснащение шарошечного бурового инструмента косозубым вооружением. Данный тип вооружения позволяет превращать зубчатые венцы шарошек в мини-шнеки, которые в зонах пониженных скоростей потока промывочной жидкости механически эвакуируют шлам в заданном направлении. При совпадении направлений течений основных потоков промывочной жидкости с направлением



Рис. 3. Гидравлическая модель венца с косозубым симметричным вооружением



ем механической эвакуации не только повышается эффективность удаления шлама из зоны разрушения породы, но и предотвращается образование застойных зон.

С целью определения возможности косозубого вооружения влиять на направление и величину проходящего через него потока промывочной жидкости была создана 3D-модель периферийного венца шарошки бурового инструмента с косозубым вооружением (рис. 3). Для решения поставленной задачи использовался программный комплекс Ansys Fluent. Этот математический CFD (структурно жидкостная динамика) пакет предназначен для решения задач гидрогазодинамики, основан на решении уравнения Навье – Стокса разными методами. Метод решения зависит

от выбора модели турбулентности. В данном случае использовалась модель турбулентности SST k-omega. Поскольку модель зубчатого венца вооружения бурового инструмента является циклической и симметричной, для расчета использовалась секция зубчатого венца с заданием условия симметрии. Вращение венца моделировалось при скоростях 150, 300 и 600 об./мин. При этом использовалась неньютоновская промывочная жидкость с плотностью 2200 кг/м³. Начальная скорость потока – 0,1 м/с.

Анализ результатов расчетов гидродинамической модели течения промывочной жидкости сквозь косозубое вооружение вращающегося венца свидетельствует о том, что для всех трех скоростей вращения характерна одна и

та же особенность – резкое увеличение скорости потока при попадании в зону вращения зубьев с последующим плавным незначительным уменьшением на протяжении прохождения межзубного пространства и более существенным падением в зоне выхода из зоны воздействия вооружения. При этом увеличение скорости промывочной жидкости при прохождении зубьев вооружения зависит от частоты вращения венца. Чем выше скорость вращения, тем больше прирост скорости течения жидкости. На основе проведенных исследований, с целью повышения эффективности работы бурового инструмента за счет более качественной очистки забоя скважины от шлама путем оптимизации процесса его эвакуации в затрубное пространство была разработана перспективная схема шарошечного долота для бурения мягких и средних пород с косозубым вооружением и боковой симметричной гидромониторной промывкой (рис. 4). Новая конструктивная схема бурового инструмента отличается от известных на сегодняшний день тем, что шарошки бурового долота с фрезерованным или литым вооружением оснащены венцами с косозубым вооружением, причем зубья периферийных венцов имеют левое направление подъема образующей винтовой линии площадок притупления при осуществлении бурения путем вращения долота по часовой стрелке и правое – при вращении долота против часовой стрелки, а зубья остальных венцов наклонены в противоположную сторону, при этом оси сопел гидромониторных насадок промывочных узлов направлены в межвенцовое пространство между периферийным и смежным с ним венцом. При этом по меньшей мере ось сопла гидромониторной насадки одного из промывочных узлов направлена к плоскости, перпендикулярной к оси долота, под углом $90^{\circ} \pm 100^{\circ}$, а ось другого – под углом $80^{\circ} \pm 90^{\circ}$.

На рисунке 4 представлена конструктивная схема бурового шарошечного долота, содержащего лапы 1 с наклонными цапфами 2, на которых посредством подшипников, один из которых замковый, установлены конические шарошки 3 с литыми или фрезерованными зубьями и размещенные между

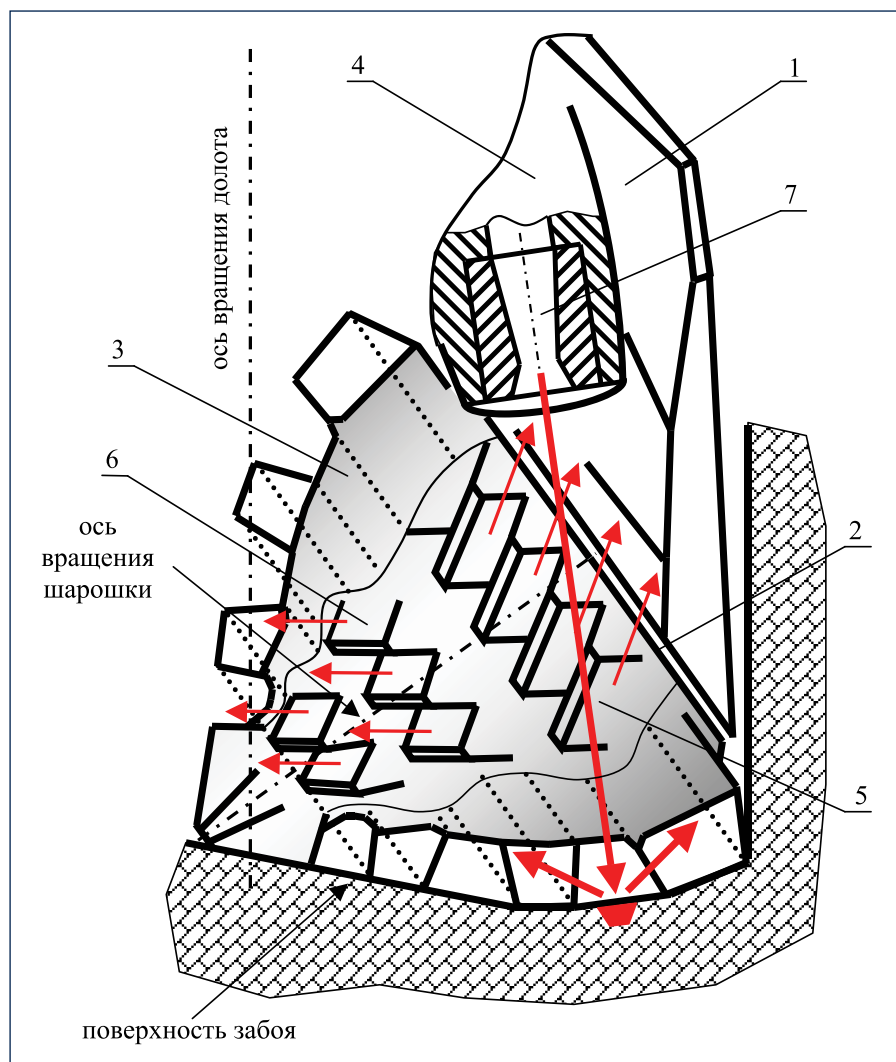


Рис. 4. Принципиальная схема воздействия косозубого вооружения шарошек на поверхность забоя и гидравлическую среду призабойной зоны

шарошками 3 напорные промывочные узлы 4 с гидромониторными насадками 7. Все зубья шарошек 3 расположены под углом к ее образующей, при этом зубья 5 периферийных венцов имеют левое направление подъема образующей винтовой линии площадок притупления при осуществлении бурения путем вращения долота по часовой стрелке и правое – при вращении долота против часовой стрелки, а зубья шести остальных венцов наклонены в противоположную сторону. При этом оси сопел гидромониторных насадок семи промывочных узлов направлены в межвенцовое пространство между периферийным и смежным с ним венцом. В зависимости от свойств разбуриваемых пород и применяемых способов и режимов бурения угол наклона сопла к плоскости забоя выбирается равным от 80 до 100° по отношению к плоскости, перпендикулярной оси вращения долота. Чем более мягкие породы, а следовательно, чем больший объем шлама на забое, тем больше должен быть угол наклона оси ядра струи к плоскости забоя, так как такое направление струи позволяет сразу же после разрушения породы направлять ее в сторону стенок скважины и затем – в затрубное пространство. Остальная часть струи промывочной жидкости используется для очистки центральной части забоя поперечным потоком, образующимся после отражения струи от забоя. Это позволит свести к минимуму повторное измельчение шлама зубьями долота и минимизировать износ вооружения непосредственно струей промывочной жидкости.

На рисунке 5 представлена принципиальная схема воздействия косоугольного вооружения шарошек на поверхность забоя и гидравлическую среду для гидромониторных долот классической схемы, т.е. с тремя боковыми симметричными гидромониторными насадками. Данная конструктивная схема может использоваться как на долотах для бурения мягких пород, т.е. со смещением осей шарошек в плане, так и для разбуривания пород средней категории твердости, где смещение осей минимально [1].

Особенностью данной конструкции является обеспечение однонаправлен-

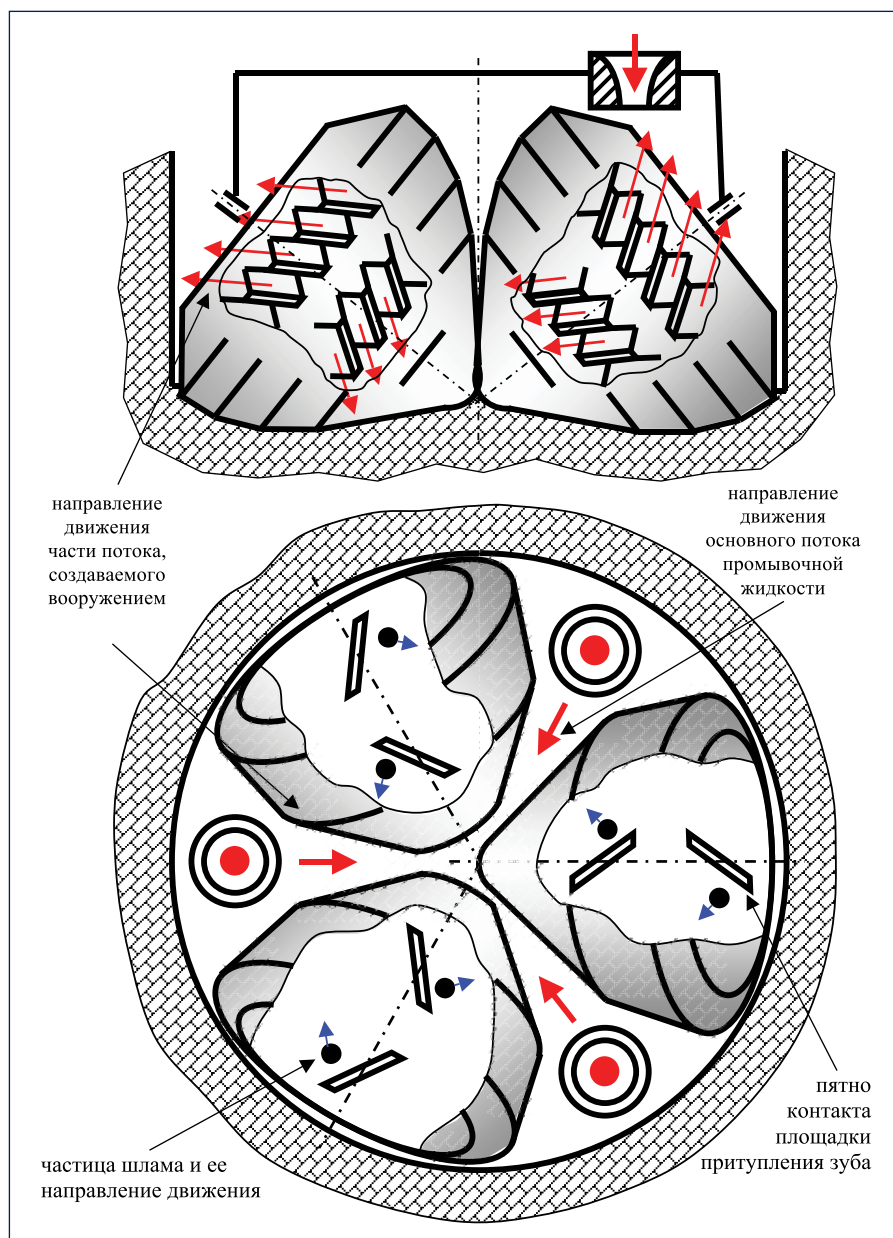


Рис. Принципиальная схема воздействия косоугольного вооружения шарошек на поверхность забоя и гидравлическую среду призабойной зоны

ности механической эвакуации шлама проскальзывающими по забою зубьями вооружения с основными потоками промывочной жидкости, образующимися при ее истечении из трех боковых гидромониторных насадок.

Принцип работы конструкции заключается в следующем. Под действием осевой нагрузки и крутящего момента породоразрушающие зубчатые элементы шарошек осуществляют разрушение забоя и калибровку стенок скважины, а промывочная жидкость, прокачиваемая через боковые гидромониторные узлы,

удаляет шлам с поверхности забоя. При этом благодаря предложенной схеме разнонаправленного расположения зубьев периферийных и основных венцов шарошек и определенной ориентированности промывочных гидромониторных узлов на забое образуются поперечные потоки, которые направляют одну часть потока промывочной жидкости, обогащенного шламом, в сторону стенок скважины и далее в затрубное пространство, а другую часть – в центральную зону забоя с последующим отводом его в затрубное пространство.



Промывочная жидкость, под действием давления бурового насоса проходя через боковые гидромониторные насадки, движется к поверхности забоя и соударяется с ним в месте, лежащем на окружности с диаметром, равным диаметру долота за вычетом удвоенной длины зубьев и половины межвенцового расстояния, разделяющего периферийный и соседний с ним венец вооружения, для каждой из шарошек. С учетом определенной направленности соударения струи с поверхностью забоя она разделяется и подхватывается «шнековым» воздействием разнона-

правленного зубчатого косозубого вооружения периферийного и соседнего с ним венцов. Часть струи, подхватываемая косозубым вооружением основных венцов, движется к центру долота, при этом проскальзывающее вооружение по забю за счет «шнекового» эффекта также транспортирует шлам в том же направлении. Далее вследствие различия в геометрических размерах шарошек и их вооружения основной поток из центральной части долота частично перераспределяется в сторону третьей, наиболее короткой шарошки. Другая

часть струи, подхватываемая косозубым вооружением периферийных венцов, движется сразу к периферии долота и далее эвакуируется в затрубное пространство. При этом проскальзывающее по забю косозубое вооружение за счет «шнекового» эффекта первоначально в зоне непосредственного воздействия зубьев на забю транспортирует шлам в сторону центра долота, тем самым отваливая его от стенки скважины. Но как только зубья периферийного венца выходят из соприкосновения с породой и входят в зону гидравлической среды забоя, также за счет «шенкового» эффекта они начинают транспортировать поднимаемый с поверхности забоя шлам в сторону периферийной части долота. В результате происходит совпадение потоков промывочной жидкости и потоков, создаваемых периферийными венцами косозубого вооружения.

Таким образом, применение предложенной конструктивной схемы шарошечного бурового долота благодаря более рациональной геометрии вооружения и созданию благоприятных условий как механических, так и гидравлических, для удаления шлама с забоя скважины позволит повысить проходку и скорость бурения и тем самым снизить себестоимость буровых работ.

Литература:

1. Сериков Д.Ю. Совершенствование конструкций шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2014. – № 2.
2. Васильев А.В. Совершенствование схем промывочных устройств гидромониторных долот: дисс. на соискание ученой степени к.т.н. – М., 1982.
3. Гусман А.М., Мительман Б.И. Экспериментальное исследование влияния схемы и режима промывки забоя на вынос шлама из зоны долота. – М.: Труды ВНИИБТ, 1979. – Вып. 48: Гидравлика в бурении.
4. Cholet H., Baron G., Larayres R., Brisac J. Unique bit design improves hydraulics and performance // World Oil. – October, 1971.

UDC 622.24.05

D.Yu. Serikov, Candidate of Science (Eng.), I.M. Gubkin Russian State University of Oil and Gas, e-mail: serrico@rambler.ru

Improvement of geometry of the jet roller cutter drilling bit structure

Results of work aimed at improvement of geometry of the symmetric jet roller cutter drilling bit structure.

Keywords: roller cutter drilling bit, helical structure, non-Newtonian fluid.

References:

1. Serikov D.Yu. Sovershenstvovanie konstruktsyi sharoshechnogo burovogo instrumenta s kosozubym vooruzheniem (Improvement of the roller cutter drilling tool with helical structure) // Chemical and Oil and Gas Machine Building. – 2014. – No. 2.
2. Vasiliev A.V. Sovershenstvovanie skhem promyvochnykh ustroystv gidromonitornykh dolot (Improvement of the jet drilling bit washing devices system): Ph.D. thesis in Engineering Science. – Moscow, 1982.
3. Gusman A.M., Mitelman B.I. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya skhemy i rezhima promyvki zaboya na vynos shlama iz zony dolota (Experimental study of impact of the bottom flushing diagram and mode on the bit cutting transport). – Moscow: Works of VNIIBT, 1979. – Issue 48: Hydraulics in drilling.
4. Cholet H., Baron G., Larayres R., Brisac J. Unique bit design improves hydraulics and performance // World Oil. – October, 1971.