

АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОЦЕССА САЛЬНИКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

Л.Г. Тошниезов¹, Ж.Б. Тошов¹

¹ Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан,
e-mail: toshniyozovlaziz@gmail.com

Аннотация: Проведен анализ теоретических и экспериментальных исследований процесса сальникообразования при бурении скважин. Выявлены причины проявления сальника на поверхности бурового породоразрушающего инструмента и пути предотвращения процесса сальникообразования. Процесс образования сальника анализировался с точки зрения динамики промывочных жидкостей и динамики вооружения, и в обоих случаях задача рассматривалась в двух аспектах: в плане ликвидации образовавшихся сальников и в плане предотвращения процесса сальникообразования. Большинство шарошечных долот, выпускаемых различными фирмами мира, имеют две основные схемы промывки — центральную или боковую (гидромониторную). Данная статья, в отличие от предыдущих опубликованных на эту тему работ, раскрывает преимущества и недостатки не только двух стандартных вариантов промывки, но и использования комбинированного вида очистки забоя скважины. Определено, что в области предотвращения сальникообразования учеными предлагаются добавления реагентов в буровые растворы, но большинство из предложений основаны на экспериментальных случаях. Кроме того, исследования показали, что вычисляемые кинетические критерии оценки работоспособности лишь косвенно влияют на системы очистки забоя скважин от выбуренного шлама и на долговечность опорных подшипников шарошек. Авторы, изучив динамику промывки и динамику вооружения, считают, что правильный выбор дизайна соответствующих гидродинамических узлов и конструкции долота в целом можно уменьшить или предотвратить сальникообразование.

Ключевые слова: сальникообразование, буровое долото, процесс бурения, буровой раствор, гидродинамика узлов, динамика вооружения, реагенты-«детергенты», опора, шлам.

Для цитирования: Тошниезов Л. Г., Тошов Ж. Б. Анализ теоретических и экспериментальных исследований в области процесса сальникообразования при бурении скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 11. — С. 139–151. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-139-151.

Theoretical and experimental research into process of packing in drilling

L.G. Toshniyozov¹, J.B. Toshov¹

¹ Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan, e-mail: toshniyozovlaziz@gmail.com

Abstract: The theoretical and experimental research into the process of packing in drilling is reviewed. The causes of packing on the surface of rock-breaking drill tool and the ways of its prevention are identified. The packing process was analyzed from the viewpoints of drilling fluid dyna-

mics and drilling bit cutting structure dynamics, and in both cases, the problem was considered with two purposes: elimination of packers and prevention of packing. Most rolling cutter bits manufactured by various firms in the world have two basic circuits of flushing—central and side waterways (jet flushing). This article, as against the other publications on this subject, describes advantages and disadvantages of the two standard variants, as well as their combination for bottomhole cleaning. For packing prevention, scientists suggest adding of agents in drilling fluids, but the majority of the suggestions are based on tests of special cases. Furthermore, the research shows that the calculated kinetic criteria of efficiency only indirectly influence systems of bottomhole cleaning from chips and on durability of support bearings of roller cutters. The authors have examined the washout dynamics and the drilling bit cutting structure dynamics and think the correctly selected design of hydrodynamic units and structure of the bit can reduce or even prevent packing.

Key words: packing, drill bit, drilling process, drilling fluid, hydrodynamics of units, drilling bit cutting structure dynamics, cleansing agents, support, mud.

For citation: Toshniyozov L. G., Toshov J. B. Theoretical and experimental research into process of packing in drilling. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(11):139-151. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-139-151.

Введение

Буровое оборудование — это общий термин, используемый для машин, которые применяют силы удара и вращения для бурения (по большей части) скважин, в зависимости от метода работы оно классифицируется как бурение с верхним ударом, бурение в скважине и бурение роторными буровыми установками. Существует множество предыдущих исследований, касающихся конструкции бурового долота, бурения горных пород, передачи энергии удара и эффективности бурения [1]. Исследование процесса сальникообразования является не менее важным для специалистов нефтегазовой и горной промышленности.

Эффективное разбуривание мягких пород может быть ограничено налипанием на поверхность породоразрушающего инструмента частиц, которые могут способствовать появлению процесса сальникообразования. Сальникообразование является одной из проблем, которая может возникнуть в любое время при бурении вязких, пластичных, не полностью сформированных глинистых пород, поглощающих воду из бурового раствора. Далее процесс способствует снижению механической скорости бурения, закли-

ванию промывочных каналов и затягиванию промежуточных промывок, потерям бурового раствора.

Повышенная склонность мягких пород со способностью к налипанию на металл породоразрушающего инструмента и элементы КНБК (компоновка низа бурильной колонны) как под влиянием молекулярных сил притяжения и механического зацепления (адгезии), так и под давлением сжатия шлама, возникающим в межзубцовых пространствах шарошек, между лопастями долот PDC (Polycrystalline Diamond Bits) и на элементах КНБК, способствует проявлению сальников при прохождении этих пород [2].

Низкие структурномеханические свойства глинистых растворов и большое содержание песка в них обуславливают неудовлетворительную очистную и несущую способность и ведут к интенсивному загрязнению ствола скважины, сальникообразованию и затяжкам снаряда.

Причинами сальникообразования могут быть:

- недостаточная очистка забоя скважины;
- работа долота при отсутствии циркуляции промывочной жидкости;

- бурение липких пород [3].

Борьба с проявлением процесса сальникообразования осуществляется следующими путями:

- изменением формы зубков, венцов и профиля, оптимизацией геометрических параметров конструкции породоразрушающего инструмента;
- улучшением динамики промывочных узлов;
- применением специальных буровых растворов.

Для наших исследований важно и необходимо провести анализ по одной из составляющих общей динамики буровых долот шарошечного типа, заключающейся в устройствах промывочных узлов. Эта составляющая важна с точки зрения и эффективной очистки забоя скважины, и рационального использования гидродинамического эффекта, и использования гидродинамики соответствующих узлов для недопущения процесса сальникообразования в области забоя, формируемого шарошечными долотами. Отметим сразу же, что здесь эта задача рассматривается в двух аспектах: в плане борьбы с сальниками и в плане борьбы с процессом сальникообразования. Последнему впредь будет отдаваться предпочтение.

Анализ динамики промывки узлов

С процессом сальникообразования сегодня объективно связаны такие негативные последствия, как чрезмерные энергозатраты при бурении, сравнительно низкие механические скорости бурения, прихваты буровых инструментов на забое скважины и т.д. [4]. Предотвращение сальника и процесса его образования путем оптимизации промывочных узлов может привести к уменьшению больших затрат.

Большинство шарошечных долот имеют центральную или боковую (гидромо-

ниторную) схемы промывки. При этом стандартной является боковая промывка через сменные гидромониторные насадки.

Недостатком металлических торцевых уплотнений являются увеличенные габариты всего узла и сложность изготовления, требующая более высокой точности элементов уплотнения и всей опоры.

Указанным выше недостатком обладают и аналоги предыдущих изобретений, и Российские патенты [5] (рис. 1, 2). Основную опасность для этих технических решений представляют радиальные и осевые люфты, образующиеся вследствие хотя и не значительного износа подшипниковых узлов. Более всего этому негативу подвержены буровые долота по патенту [5]. Здесь негативную роль играет и ограниченность пространства для изготовления необходимых выемок в телах шарошек для размещения резиновых и фторопластовых колец.

Вариантом боковой промывки является промывка через мини удлиненные и удлиненные (приближенные к забою) насадки. При этом мини удлиненные насадки, имея длину в 2,5—4 раза превосходящую длину стандартной насадки, взаимозаменяемы с ними по посадочным размерам, т.е. в одно гнездо гидромониторного канала долота может устанавливаться как стандартная, так и мини удлиненная насадка.

Как стандартные, так и мини удлиненные насадки производства зарубежных фирм изготавливаются, как правило, из вольфрамокобальтового твердого сплава, обеспечивающего необходимую износостойкость насадок даже в условиях прокачки через них скоростных потоков промывочной жидкости с большим содержанием абразивных частиц [6].

Полностью удлиненные насадки состоят из стальных приварных патрубков, подводящих промывочную жидкость к забою скважины, на выходе которых

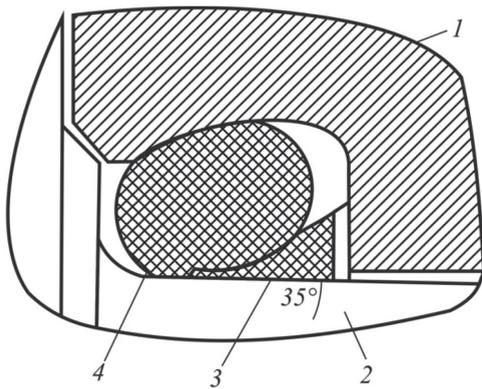


Рис. 1. Схема комбинированного радиального уплотнения: 1 – корпус; 2 – цапфа; 3 – фторопластовое кольцо; 4 – резиновое силовое кольцо
 Fig. 1. Layout of combination radial seal: 1—body; 2—pin; 3—fluoroplastic ring; 4—strong rubber ring

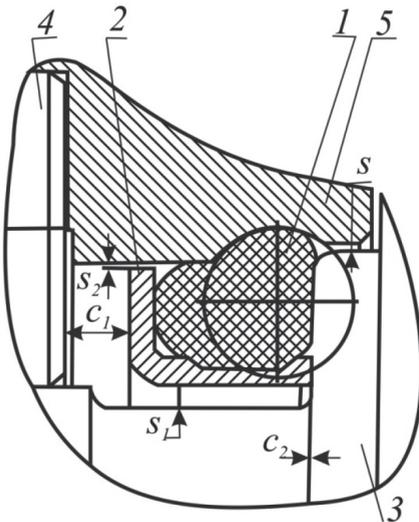


Рис. 2. Схема уплотнения с улучшенной деформационной характеристикой: 1 – эластичное кольцо; 2 – металлическая втулка; 3 – ступенчатая расточка; 4 – подшипник; 5 – цапфа; S, S₁, S₂ – радиальные зазоры; C₁, C₂ – осевые зазоры

Fig. 2. Layout of seal with improved deformation characteristics: 1—elastic ring; 2—metal bush sleeve; 3—stepwise reboring; 4—bearing; 5—pin; S, S₁, S₂—radial clearances; C₁, C₂—axial clearances

установлены стандартные или мини удлиненные твердосплавные гидромониторные насадки. Наружные поверхности патрубков, обращенные к стенкам скважины для предохранения от абразивного износа, как правило, армируются износостойкой наплавкой на основе карбида вольфрама или (и) твердосплавными зубками.

Центральная промывка через круглое отверстие в центре долота, в котором может устанавливаться насадка, обычно применяется в долотах малого диаметра с негерметизированными опорами.

В долотах диаметром более 200 мм может применяться комбинированная промывка, сочетающая боковые и центральную гидромониторные насадки. Использование центральной насадки предотвращает налипание породы на шарошки (сальникообразование) и обеспечивает лучшую очистку забоя и повышение механической скорости бурения.

Центральные насадки могут быть как обычной цилиндрической, так и диффузионной формы (насадки Vortex фирмы Hughes Christensen). Диффузионные насадки увеличивают турбулентность потока, устраняя застойные зоны на забое скважины, улучшают очистку шарошек и одновременно снижают возможность эрозии тела шарошек, обычно наблюдаемой при использовании стандартных центральных насадок.

ОАО «Волгабурмаш» применяет в некоторых своих долотах комбинированную промывку через патентованные удлиненные щелевые боковые насадки и трехщелевую центральную насадку, направляющие струи промывочной жидкости между шарошками. Щелевые насадки изготавливаются из специального износостойкого легированного чугуна.

Вариантом боковой промывки является также асимметричная схема промывки с использованием двух мини удлиненных насадок. При этом гидромониторный

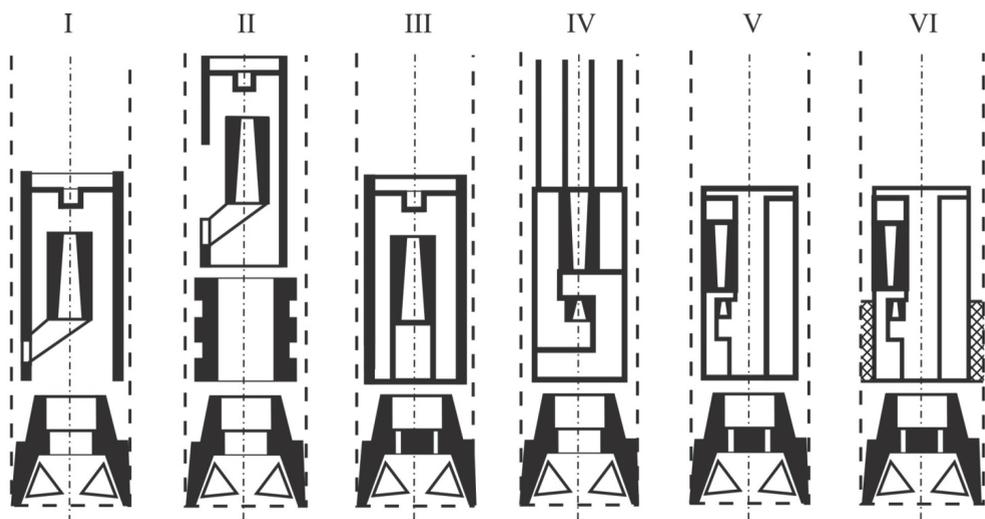


Рис. 3. Схемы применения основных конструкций скважинных эжекционных систем при различных условиях бурения: I — с обратной забойной местной промывкой; II — с дросселированием инжектируемого потока; III — с прямой промывкой призабойной зоны; IV — с двойной бурильной колонной; V, VI — при параллельном включении соответственно с гидравлически связанной и изолированной призабойной зоной

Fig. 3. Main structures of downhole ejection systems in various conditions of drilling: I—with local bottomhole backflow; II—with throttling of injected flow; III—with direct bottomhole flushing; IV—with twin drill string; V and VI—with parallel arrangement with hydraulically treated and isolated bottomhole zone

узел на третьей лапе долота отсутствует, что дает увеличение площади проходного сечения вокруг долота и способствует более эффективному выносу шлама.

При всем существующем многообразии вариантов крепления гидромониторных насадок наибольшее распространение получили три способа:

1. Пружинным кольцом (фирмы Hughes Christensen, ReedHycalog, L.P. и Varel), причем пружинное кольцо может устанавливаться как открыто, у торца насадки (стандартный вариант), так и скрытно, в канавке насадки (вариант для осложнения условий бурения), что предохраняет его от размыва и выпадения.

2. Резьбовым переходником (фирма «SMITH»).

3. Обводным шплинтом (гвоздем) — фирмы Security DBS, ОАО «Волгабурмаш».

Уплотнение насадки во всех случаях осуществляется резиновым кольцом круглого сечения.

По количеству новых технических решений промывочные узлы не уступают (если не лидируют) выше рассмотренной проблеме по герметизации опор шарошечных долот. Но поскольку для нас этот вопрос является второстепенным, приведем здесь лишь несколько схем промывочных узлов: схемы использования струйных насосов (рис. 3) [7].

Представленные схемы характеризуют эти системы по критерию их сложности во время эксплуатации и ремонта [7].

Схема I реализует обратную призабойную промывку и используется для повышения эффективности отбора керна в процессе бурения. Наличие между струйным насосом и долотом дросселирующего элемента (рис. 3, схема II) позволяет снизить дифференциальное давление на забое скважины при бурении. Схема III реализует прямую призабойную промывку и позволяет увеличить расход промыв-

вочной жидкости на забое скважины по сравнению с подачей бурового насоса. Эжекционная система с двойной колонной бурильных труб (рис. 3, схема IV) применяется для уменьшения дифференциального давления на забое при бурении неглубоких скважин. По данной схеме рабочий поток, нагнетаемый буровым насосом, подается по межколонному пространству, а инжектируемый поток по затрубному пространству поступает с наземного резервуара. Схема с параллельным включением струйного насоса V позволяет повысить качество очистки забоя скважины за счет принудительного выноса шлама из наддолотной области.

При использовании уплотнительного элемента (рис. 3, схема VI) достигаются частичная изоляция призабойной зоны и уменьшение дифференциального давления в скважине.

Схемы, по мнению автора патента, повышают износостойкость рабочих поверхностей насадок и эффективность гидромониторного эффекта (рис. 4) [8]. В первом случае предложено выполнить

насадки в форме нескольких спирально-закрученных пазов (рис. 4, а), сообщенных между собой по образующей и имеющих длину не менее одной полуоборота. Формы каналов насадки в виде многозаходных спирально-изогнутых цилиндрических пазов при прохождении через них под напором жидкости придает струе при выходе из насадки вид закрученной спирали, а разделение общего потока приводит к увеличению длины ядра равномерных скоростей, а, следовательно, и к росту струй, закрученных между собой (рис. 4, б), что придает потоку ламинарное или приближающееся к нему течение. Это приводит к значительному увеличению подводимой к забою мощности без повышения перепада давления в насадках долота, что особенно важно при турбинном способе бурения.

Несмотря на большее количество новых технических решений в плане повышения эффективности очистки забоя скважины от выбуренного шлама, вопрос этот до сегодняшнего дня остается открытым. Так, автор работы [9] не без

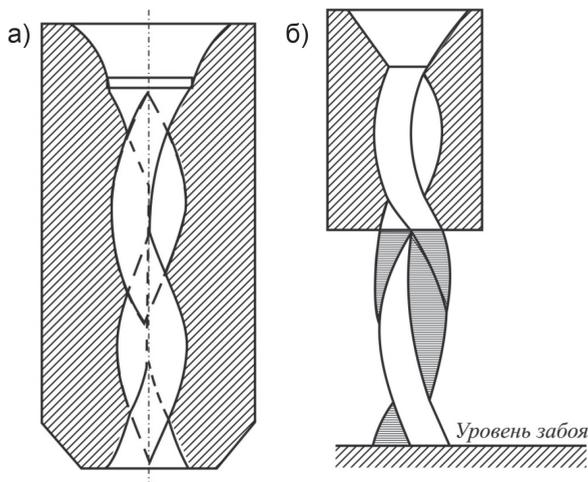


Рис. 4. Схемы насадки с рабочей поверхностью в форме спирально-закрученных пазов уплотнения долота: насадки в форме нескольких спирально-закрученных пазов (а); насадки в виде многозаходных спирально-изогнутых цилиндрических пазов (б)

Fig. 4. Nozzles with acting face in the form of helically twisted seal recesses of drill bit: (a) nozzles in the form of a number of helically twisted recesses; (b) nozzles in the form of multiple-thread helically twisted cylindrical clearances

основания утверждает, что на очистку забоя скважины от шлама и выноса его на дневную поверхность приходится более 70% затрачиваемой энергии в процессе проводки глубоких скважин. Автор работы [10] прямо указывает, и тоже не без основания, на одну из причин потери энергии при использовании гидромониторных насадок: «... к.п.д. полезного использования гидравлической энергии струй для увеличения механической скорости не более 30%». А ведь увеличения механической скорости бурения можно и не достичь.

Исследование динамики вооружения долот

По вполне объективным причинам до 70-х годов прошлого столетия динамика буровых долот отождествлялась с динамикой вооружения. Действительно, при достаточно малых глубинах скважин динамика вооружения и являлась основной динамикой буровых долот. А вследствие этого внимание исследователей в основном было сосредоточено на поисках функциональных зависимостей между физико-механическими свойствами горных пород и динамикой вооружения.

В отличие от предыдущих исследований, в последнее время ученых больше интересовали пути повышения долговечности породоразрушающего инструмента [11, 12]. Во многих случаях исследователи уделяли большее внимание поиску решений проблемы отбора и разработке материалов для режущих инструментов.

Начиная с работ школ В.С. Федорова, Л.А. Шрейнера, Р.М. Эйгелеса и до настоящего времени, аналитическая структура формулы механической скорости бурения от параметров режимов бурения строилась при условии идеальной очистки забоя скважины:

$$V_m = f(P, n, Q), \quad (1)$$

где V_m — механическая скорость бурения, м/час; P — осевая нагрузка на до-

лото, тс; n — число оборотов в минуту, об/мин; Q — количество промывочной жидкости, л/сек.

Считалось при этом, что промывку всегда можно обеспечить путем увеличения количества промывочной жидкости. Как правило, функциональные зависимости вида (1) строились эмпирическими методами и без учета условий на забое скважин, т.е. в условиях дневной поверхности. Естественно, при этом в научных исследованиях в динамике промывочной жидкости нужды не было, т.е. она не рассматривалась как элемент общей динамики буровых долот. А в противном случае означало бы, что промывочную жидкость необходимо рассматривать как многофазную среду в контексте гидродинамических законов или искать иные пути учета влияния динамики промывочной жидкости на процессы, происходящие на забое скважины, в том числе, во взаимосвязи с процессом разрушения горной породы; т.е. во взаимосвязи с динамикой вооружения, являющейся функционально связанной в явной форме с

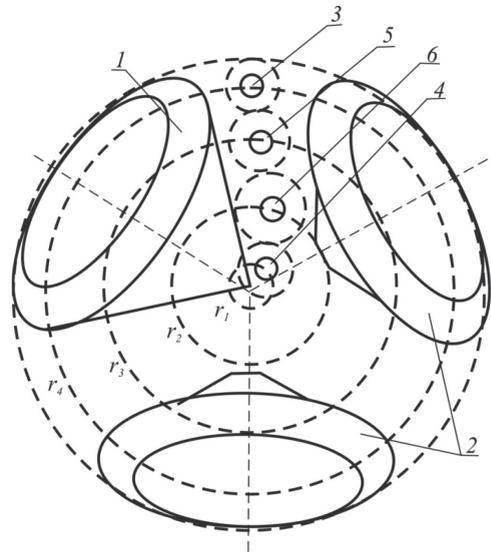


Рис. 5. Схема трехшарошечного долота с новой компоновкой

Fig. 5. New layout of three-cone rock bit

конструктивными параметрами буровых долот. А следовательно, и методология решения обратных оптимизационных задач должна была бы строиться на двух составляющих динамики буровых долот: на динамике вооружения и на динамике промывочной жидкости. Однако так вопрос не ставился и не решался, хотя гидродинамическим вопросам в процессе бурения уделялось, и особенно в последнее десятилетие уделяется достаточно много внимания. Ниже мы остановимся на этих вопросах более детально. Сейчас же необходимо обратить внимание на взаимосвязи фундаментальных вопросов гидродинамики в аспекте их использования при решении прикладных задач.

Восходящие потоки промывочной жидкости представляют из себя многофазные среды. В общем случае многофазные среды очень разнообразны по структуре: жидкость + жидкость, жидкость + + твердые частицы, жидкость + твердые частицы + различные включения. Для нашего случая, естественно, наибольший интерес представляет многофазная среда жидкость + твердые частицы [13].

В многофазных средах (жидкость + + различные твердые и жидкие включения) при воздействии силы гравитации течение происходит с осаждением, а также с разделением по фазе и фракционному составу. При таких течениях профиль скоростей и концентрация характеризуются ассиметричным распределением по сечению трубы.

На основании характера распределения концентрации по сечению трубы наблюдаются следующие структуры течения смесей [14, 15]:

1) раздельное:

- выше поверхности раздела течет одна смесь, ниже — другая, с различными физико-механическими параметрами;

- сверху течет однофазная среда, снизу — смесь или наоборот, например,

сверху — вода, снизу — вода с твердыми частицами. Течение нефтяных смесей в нефтепроводах: легкая фаза — сверху, тяжелая — снизу;

2) кольцевое, при котором на границе твердой системы образуется менее вязкая или идеальная, в ядре смесь.

На практике разделение течения имеют место в круглых, овальных и эллипсоидных трубах. Поверхность раздела между средами может иметь постоянные, переменные, волнообразные и другие формы.

Структура течения предположительно может меняться, после перераспределения концентрации твердых частиц по поперечному сечению трубы. Вот, что показывают эксперименты. Безусловно, эти и другие визуально наблюдаемые явления сами по себе представляют определенный интерес при сознательном поддержании гидродинамической картины процесса промывки буримой скважины.

При анализе современного состояния вопросов, связанных с решением задач по оптимизации процесса промывки скважин, исследователи исходят, в первую очередь, в каждом конкретном случае от назначения буровых растворов, их природы и состава. Если говорить о назначении буровых растворов, то принято иметь в виду при этом непрерывную очистку забоя скважины от шлама и удаление его из рабочего пространства породоразрушающего инструмента с обеспечением максимального разрушения горной породы, охлаждения и смазки долота и колонны бурильных труб.

Немаловажную роль играют специальные буровые растворы для кольматации стенок скважин в рыхлых породах. При этом определенные требования предъявляются, когда буровой раствор используется в качестве рабочего агента для гидравлических и пневматических двигателей, устанавливаемых непосредственно над долотом.

Исходя из сложности задачи оптимизации гидродинамического процесса, уже на стадии ее постановки с целью очистки скважин от выбуренного шлама постоянно ведется поиск путей решения как на фундаментальном, так и на прикладном уровнях.

Исследование применение специальных буровых растворов

Согласно исследованиям авторов [16] и [17] есть возможность предупреждать проявления сальникообразования при бурении в глинистых отложениях.

По мнению авторов [16], сухая глина не обладает склонностью к прилипанию. Однако склонность к прилипанию увеличивается с повышением пластичности глины, которая возрастает с увеличением объемом воды. При дальнейшем увеличении содержания воды в глине она становится настолько пластичной и слабосвязанной, что легко диспергируется. Авторы считают, что существует зона повышенного риска образования сальника, относящаяся к пластичному состоянию разбуhrиваемой глинистой породы, в котором слабы когезионные силы. Положение этой зоны зависит от типа сланца, вида и содержания в нем глинистых минералов и его давления набухания.

Регулирование технологических свойств растворов и добавление специальных добавок может привести к предотвращению сальникообразования. Например, эксперимент с применением специально подготовленных реагентов для бурового раствора при бурении в условиях Западной Сибири показал высокую эффективность. Бурение глинистых отложений с использованием подготовленных растворов позволило: предотвращать сальникообразование, повысить скорость проникновения, эффективно удалять осыпающиеся пески и выбуренную породу, снизить поверхностное натяжение и убавить слипание активных глин, улучшить

смазочные качества бурового раствора. Для предотвращения сальникообразования также существуют реагенты-«детергенты», которые образуют тонкую пленку на поверхности металлов и снижают силы поверхностного натяжения на границе контакта «металл — выбуренная порода».

Во всем мире ученые и исследователи активно трудятся над разработкой новой добавки для буровых растворов. До настоящего времени были получены разного вида добавки для увеличения скорости бурения, но одно из последних новшеств современной отрасли бурения действует иным образом. Ведущая компания в буровой отрасли «Baker Hughes Drilling Fluids» изобрела новую добавку и назвала ее PENETREX. В отличие от ранее произведенных добавок для буровых растворов, новый препарат служит для минимизации налипания частиц сланцевого шлама и препятствует образованию сальника на нижней части долота и КНБК.

Авторами разработки новой добавки были проведены лабораторные исследования по эффективности применения PENETREX и достигнуты положительные результаты. Использование PENETREX привело к образованию оболочки на КНБК, уменьшающей сопротивление вращению и продольному перемещению колонны; рациональному расходу добавки; сокращению времени спускоподъемных операций; снижению эксплуатационных расходов и т.д. [3].

Исследование вторичных эффектов

По нашему мнению, наиболее интересными представляются исследования на базе так называемых вторичных эффектов и в аспекте экспериментальных наработок относительно конструкций промывочных узлов и каналов. Рассмотрим эти вопросы более детально.

Вне всякого сомнения, вторичные эффекты являются следствием внутривихревых динамических процессов. И эффектами они именуется лишь потому, что до сих пор эти динамические процессы в потоках не нашли должного теоретического объяснения.

Известно, что все природные тела в той или иной степени обладают тремя основными свойствами: упругостью, вязкостью и пластичностью. Построение реологических моделей во всем их многообразии не охватывает всех свойств буровых растворов, к тому же, они пока не содействуют даже правильной постановке оптимизационных задач в области динамики промывочных жидкостей. По нашему глубокому убеждению, поиск причины чрезмерных затрат энергии следует искать только на пути познания физики сальникообразования. Закономерность и принцип Мопертюи в приложении к динамической системе — шламовая частица во встречном потоке промывочной жидкости открывают перед нами большие перспективы по оптимизации этого процесса по критерию его энергоемкости. Безусловно, это касается в первую очередь так называемых вторичных эффектов. Считается, что когда «скорость потока в трубе относительно мала, то частицы жидкости перемещаются прямолинейно, и их траектории параллельны оси трубы. Когда скорость превышает определенное значение, на это движение накладываются флуктуации (возмущения), которые приносят в поток некоторый беспорядок и приводят к смешению частиц раствора. Ламинарное течение сменяется турбулентным» [13].

Итак, на практике мы постоянно наблюдаем ламинарное, и турбулентное течения и переходы из одного в другое.

Естественно возникают два вопроса:

1. При каких условиях движение жидкости ламинарное и при каких — турбулентное?

2. Когда происходит переход одного режима течения в другой?

Для течения жидкости в трубах на этот вопрос впервые ответил Осбор Рейнольдс в следующей аналитической зависимости:

$$Re = \frac{V_m l \rho}{\eta}, \quad (2)$$

где Re — число Рейнольдса; V_m — средняя скорость течения; l — характерный размер канала; ρ — плотность жидкости; η — вязкость жидкости.

Экспериментально были установлены следующие границы числа Рейнольдса:

$Re < 2100$ — устойчивое ламинарное течение;

$2100 < Re < 4000$ — неустойчивое, переходное течение;

$Re > 4000$ — устойчивое турбулентное течение.

Заключение

Исследования показали, что вычисляемые кинетические критерии оценки работоспособности лишь косвенно влияют на системы очистки забоя скважин от выбуренного шлама и на долговечность опорных подшипников шарошек.

На сегодняшний день для уменьшения и предотвращения повреждения пласта из-за образованных сальников использование буровых растворов с полимерами является более логическим решением. Полимеры в буровых растворах уменьшают липкость глинистых пород и способствуют повышению течения раствора.

Несмотря на полученные положительные результаты, все еще существуют опасения, что невозможно предотвратить процесс сальникообразования, если глина впитала воду в себя и повышается ее пластичность.

Переход ламинарного режима течения жидкости в турбулентный в процессе бурения пока не формализован.

Необходимо провести более детальное исследование динамики составляющих буровых долот: динамики вооружения рабочих поверхностей буровых инструментов, динамики промывочной жидкости, динамики опорных подшип-

ников и динамики устойчивости буровых долот на забое скважины на детерминированной основе и, прежде всего, с учетом закономерности затрат энергии динамических систем от сил сопротивления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Changheon Song, Jintai Chung, Jae-Sang Cho, Yun-Joo Nam* Optimal Design Parameters of a Percussive Drilling System for Efficiency Improvement. Research Article // *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2018, 13 p. <https://doi.org/10.1155/2018/2346598>.

2. *Бабичев А. А.* Создание эффективного вооружения шарошечных долот для разбурирования мягких и мягкосредних пород: автореф. дис... канд. тех. наук: 25.00.15. — М., 2008. — 24 с.

3. *Мартель А. С., Моренов В. А., Леушева Е. Л.* Исследование составов буровых растворов для бурения глинистых пород и предупреждения сальникообразования // *Булатовские чтения*. — 2017. — Т. 3. — С. 170–176.

4. *Тошов Ж. Б.* Повышения эффективности бурения взрывных скважин на путях оптимизации трех составляющих динамики буровых долот // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2014. — № 6. — С. 281–285.

5. *Матвеев Ю. Г., Попов А. Н., Торгашов А. В., Баталов С. П.* Патент РФ № 2096578 Шарошечное долото, 20.11.1997.

6. *Sakuntala N., Dewangan S., Chattopadhyaya S., Krolczyk G., Hloch S.* Discussion on importance of tungsten carbide – Cobalt (Wc-Co) cemented carbide and its critical characterization for wear mechanisms based on mining applications // *Archives of Mining Sciences*. 2018. No 1, pp. 229–246.

7. *Стеглянов Б. Л., Рахимов Р. М., Валиева К. Г., Бариев М. Б.* Теоретические аспекты образования сальников при бурении скважин // *Узбекский журнал нефти и газа*. — 2003. — № 2. — С. 20–22.

8. *Калашников Ю. Т.* Патент СССР 1025860 Гидромониторная насадка для бурового долота. — 1983. Бюл. № 24.

9. *Протасов Ю. И.* Разрушение горных пород. Учебник. — М.: МГУ, 2002. — 324 с.

10. *Стеглянов Б. Л.* О закономерности затрат энергии динамических систем в среде сопротивления / *Материалы VI-международной научно-технической конференции на тему «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли»*. — Навои, 2013. — С. 188–189.

11. *Deng Yong, et al.* Theoretical and experimental study on the penetration rate for roller cone bits based on the rock dynamic strength and drilling parameters // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2016, vol. 36, pp. 117–123.

12. *Schroder J., Pasquale M. D., Richards A.* Bearing innovations extend roller-cone bit life // *Oil & Gas Journal*. 2016, 114 (6), pp. 50–55.

13. *Тошов Ж. Б.* Ways towards optimization of washout components of rock cutting tools // *Горный журнал*. — 2016. — № 2. — С. 21–23. DOI: 10.17580/gzh.2016.02.04.

14. *Латышев О. Г.* Разрушение горных пород: учебник. — М.: Теплотехник, 2007. — 660 с.

15. *Войтенко В. С., Смычник А. Д., Тухто А. А.* Технология и техника бурения: учебное пособие, в 2-х т. Т. 1: Горные породы и буровая техника. — М.: ИНФРА-М, 2016. — 237 с.

16. *Шилов А. Г., Гличев В. А.* Предупреждение сальникообразования при бурении в глинистых отложениях // *Управление качеством в нефтегазовом комплексе*. — 2013. — № 4. — С. 60–62.

17. *What you need to know about drilling bit balling up and how to troubleshooting it:* [www.drillingformulas.com]. URL: <http://www.drillingformulas.com/what-you-need-to-know-about-drilling-bit-balling-up-and-how-to-troubleshooting-it/> (Обращение 14.02.2019).

18. *Тошов Ж. Б.* Оптимизация динамики породоразрушающих инструментов при бурении взрывных скважин на открытых горных работах: дисс. докт. тех. наук: 04.00.10 — Навои, 2017. — 55 с. 

REFERENCES

1. Changheon Song, Jintai Chung, Jae-Sang Cho, Yun-Joo Nam Optimal Design Parameters of a Percussive Drilling System for Efficiency Improvement. Research Article. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2018, 13 p. <https://doi.org/10.1155/2018/2346598>.
2. Babichev A. A. *Sozdanie effektivnogo vooruzheniya sharoshechnykh dolot dlya razburivaniya myagkikh i myagkosrednykh porod* [Creating effective armaments of cone bits for drilling soft and medium soft rocks], Candidate's thesis, Moscow, 2008, 24 p.
3. Martel A. S., Morenov V. A., Leusheva E. L. Investigation mud compositions for drilling mudstone and preventing formation of seals. *Bulatovskie chteniya*. 2017, Vol. 3, pp. 170–176. [In Russ].
4. Toshov J. B. Improving the efficiency of drilling explosive wells by optimizing the three components of the dynamics of drill bits. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 6, pp. 281–285. [In Russ].
5. Matveev Yu. G., Popov A. N., Torgashov A. V., Batalov S. P. Patent RU 2096578, 20.11.1997.
6. Sakuntala N., Dewangan S., Chattopadhyaya S., Krolczyk G., Hloch S. Discussion on importance of tungsten carbide – Cobalt (Wc-Co) cemented carbide and its critical characterization for wear mechanisms based on mining applications. *Archives of Mining Sciences*. 2018. No 1, pp. 229–246.
7. Steklyanov B. L., Rakhimov P. M., Valiev K. G., Bariev M. B. Theoretical aspects of the bit balling of oil seals when drilling wells. *Uzbekskiy zhurnal nefti i gaza*. 2003, no 2, pp. 20–22. [In Russ].
8. Kalashnikov Yu. T. Patent SU1025860/A1, 1983.
9. Protasov Yu. I. *Razrushenie gornykh porod*. Uchebnik [Destruction of rocks. Textbook], Moscow, MGGU, 2002, 324 p.
10. Steklyanov B. L. On the regularity of the energy expenditure of dynamic systems in a resistance medium. *Materialy VI-mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii na temu «Sovremennye tekhnologii i innovatsii gorno-metallurgicheskoy otrasli»*. Navoi, 2013, pp. 188–189. [In Russ].
11. Deng Yong, et al. Theoretical and experimental study on the penetration rate for roller cone bits based on the rock dynamic strength and drilling parameters. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2016, vol. 36, pp. 117–123.
12. Schroder J., Pasquale M. D., Richards A. Bearing innovations extend roller-cone bit life. *Oil & Gas Journal*. 2016, 114 (6), pp. 50–55.
13. Toshov J. B. Ways towards optimization of washout components of rock cutting tools. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 2, pp. 21–23. DOI: 10.17580/gzh.2016.02.04.
14. Latyshev O. G. *Razrushenie gornykh porod: uchebnik* [Destruction of rocks: Textbook], Moscow, Teplotekhnika, 2007, 660 p.
15. Voytenko V. S., Smychnik A. D., Tukhto A. A. *Tekhnologiya i tekhnika bureniya: uchebnoe posobie*. T. 1: Gornye porodyy i burovaya tekhnika [Drilling technology and technology: Educational ai., Vol. 1: Rocks and drilling equipment], Moscow, INFRA-M, 2016, 237 p.
16. Shilov A. G., Glichev V. A. Prevention of bit balling when drilling in clay deposits. *Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse*. 2013, no 4, pp. 60–62. [In Russ].
17. *What you need to know about drilling bit balling up and how to troubleshooting it*: [www.drillingformulas.com]. URL: <http://www.drillingformulas.com/what-you-need-to-know-about-drilling-bit-balling-up-and-how-to-troubleshooting-it/> (accessed 14.02.2019).
18. Toshov J. B. *Optimizatsiya dinamiki porodorazrushayushchikh instrumentov pri burenii vzryvnykh skvazhin na otkrytykh gornykh rabotakh* [Optimization of the dynamics of rock-destroying tools while drilling blast holes in open pit mining], Doctor's thesis, Navoi, 2017, 55 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тoшoв Жaвoхир Бyриeвич¹ — д-р техн. наук, доцент,
e-mail: toshov@tdtu.uz,

Тoшниезoв Лазизжoн Голиб угли¹ — докторант PhD,
e-mail: toshniyozvlaziz@gmail.com,

¹ Ташкентский государственный технический INFRA-M ий университет.

ДлЯ кoнтaктoв: Тoшниезoв Л.Г., e-mail: toshniyozvlaziz@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*J.B. Toshov*¹, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: toshov@tdtu.uz,

*L.G. Toshniyozov*¹, PhD candidate, e-mail toshniyozovlaziz@gmail.com,

¹ Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, Uzbekistan.

Corresponding author: L.G. Toshniyozov, e-mail: toshniyozovlaziz@gmail.com.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

(2019, СВ 26, 12 с., DOI: 10.25018/0236-1493-2019-7-26-3-11)

Богданова Анастасия Юрьевна — бакалавр, член молодежного совета при Департаменте природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы, общественный инспектор по охране окружающей среды, e-mail: bloom7777777@yandex.ru.

На государственном балансе по Московской области числится порядка 600 месторождений общераспространенных полезных ископаемых с общими запасами промышленных категорий более 2 млрд м³. Часть месторождений отработана или дорабатывается, часть недоступна для освоения по экологическим и экономическим причинам. Выявлено, что несмотря на затраты по охране окружающей среды в среднем 380 млн руб. в год и принятие в Московском регионе программы по «Экологии и охране окружающей среды», антропогенная нагрузка остается высокой. На территории Московской области ежегодно захоранивается порядка 11,1 млн т твердых коммунальных отходов (ТКО), что составляет 20% всех образующихся в стране ТКО, в регионе отсутствует достоверная информация по объемам накопления и хранения отходов. Одна из основных причин — нарушение технологии рекультивации карьеров, выразившееся в том числе вытеснением вскрышных пород строительными отходами, смешанными с ТКО 3—4 класса. Формирование несанкционированных свалок в пределах населенных пунктов вместо восстановления земель, что наносит невосполнимый ущерб окружающей среде. Решить данную проблему призваны новые технологии, институт общественных инспекторов, раздельный сбор отходов, что позволит расширить возможности циклической экономики.

Ключевые слова: геоэкология, горнодобывающие предприятия, добыча полезного ископаемого, откопы, рекультивация, карьер, антропогенное воздействие, твердые коммунальные отходы, экологическая катастрофа, общественный инспектор, раздельный сбор отходов.

GEOECOLOGICAL ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE MOSCOW REGION

Bogdanova A. Yu., Bachelor, Moscow, Russia, e-mail: bloom7777777@yandex.ru.

The state balance of the Moscow region includes about 600 deposits of common minerals with a total reserves of industrial categories of more than 2 billion m³. Some of the deposits have been developed or are being developed, some are not available for development for environmental and economic reasons. It was revealed that despite the costs of environmental protection, an average 380 million rubles a year and approval of the program «Ecology and environmental protection» in the Moscow region anthropogenic impact is high. About 11.1 million tons of municipal solid waste is buried on the territory of the Moscow region annually (further — MSW), which is 20% of all MSW generated in the country, the region lacks reliable information on waste accumulation and storage. One of the main reasons is violation of the technology for the rehabilitation of quarries, expressed in including the displacement of overburden rocks with construction waste, mixed with 3–4 class MSW, as a result we have the formation of unauthorized dumps what is important within the settlements instead of land restoration, происходит irreversible, it occurs environmental damage. New technologies are designed to solve this problem, instituion of Public Inspectors, separate waste collection, that will empower the cyclical economy.

Key words: geoecology, mining enterprises, mining, reclamation, quarry, anthropogenic impact, municipal solid waste, ecocatastrophe, public inspector, separate waste collection.