

- Учет конвективного переноса в модели течения в канале-скважине при ламинарном режиме почти не влияет на изменения коэффициента продуктивности — разница при учете и без учета конвективного переноса менее 1 %.
- Если отношение коэффициентов проницаемости канала-скважины и пористой среды составляет 5 порядков и более, то течением в канале-скважине можно пренебречь.

#### Список литературы

1. Булатов А. И., Макаренко П. П., Будников В. Ф., Басарыгин Ю. М. Теория и практика заканчивания скважин: Под ред. А. И. Булатова. В 5 т. Т. 5. — М.: Недра, 1998.
2. Karakas M., Tariq S.M. Semianalytical Productivity Models for Perforated Completions // SPE Production Engineering, February, 1991. Vol. 6, № 1. p.73-82.
3. Sun D., Li B., Gladkikh M., Satti R., Evans R. Comparison of Skin Factors for Perforated Completions Calculated with Computational Fluid Dynamics Software and a Semi-Analytical Model // SPE 143663-MS presented at the SPE European Formation Damage Conference, Noordwijk. June, 2011. p.1-15.
4. Сохошко С. К. Развитие теории фильтрации к пологим и горизонтальным газовым и нефтяным скважинам и ее применение для решения прикладных задач: Дис. ... докт. техн. наук. Тюмень: ТюмГНГУ, 2008. — 211 с.
5. Рудяк В. Я., Бочаров О. Б., Кушнир Д. Ю. Эффективный алгоритм расчета притока флюида в скважину через систему перфорационных каналов // Вычислительные технологии, 2013. т. 18, — № 2. — С. 72-83.
6. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. — 628 с.
7. Попов Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. — М.: Машиностроение, 1977.
8. Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. — Л.: Стройиздат, 1973. — 408 с.
9. Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидродинамика и теплообмен. — М.: Мир, 1990.
10. Sinor A., Powers J., Ripp C., Lovin S., McEntire M. Unique Field Research Facility Designed to Accelerate New Technology Development and Enhance Tool Reliability // AADE 01-NC-HO-36 presented at the AADE 2001 National Drilling Conference, Houston, TX, March, 2001. P. 27-29.

#### Сведения об авторах

**Бочаров Олег Борисович**, к. ф.-м. н., доцент, научный сотрудник Новосибирского технологического центра компании «Бейкер Хьюз Б.В.», г. Новосибирск, тел. 89231804288, e-mail: Oleg.Bocharov@bakerhughes.com

**Кушнир Дмитрий Юрьевич**, аспирант, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, г. Новосибирск, тел. 89237096087, e-mail: kushnir.dmitriy@gmail.com

**Bocharov O. B.**, Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, associate professor, scientific worker of the Novosibirsk Technology Center of the company «Baker Hughes B.V.», phone: 89231804288, e-mail: Oleg.Bocharov@bakerhughes.com

**Kushnir D. Yu.**, postgraduate of Novosibirsk National Research State University, phone: 89237096087, e-mail: kushnir.dmitriy@gmail.com

УДК 620: 622.24.05

### ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА ELECTROLYTIC TECHNOLOGIES OF DRILL TOOL COMPONENTS STRENGTHENING

**Н. Н. Закиров**

N. N. Zakirov

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Ключевые слова: **опора долота, износ, композиционные покрытия, технология упрочнения**  
Key word: **drill bit support, wear, composite coating, strengthening technology**

Повышение технико-экономических показателей бурения нефтегазовых скважин в значительной степени можно обеспечить сокращением больших потерь времени на смену изношенного породоразрушающего инструмента, работоспособность которого определяется долговечностью отдельных его узлов и вооруже-

ния шарошек. Недостаточная надежность бурильного инструмента приводит к авариям, связанным с большими экономическими потерями на простои и ремонт при строительстве скважин.

Анализ результатов исследований по данной проблеме позволил определить основные перспективные направления, главными из которых являются повышение долговечности работы опорного узла шарошечных долот за счет повышения прочностных и антифрикционных свойств сопрягающихся поверхностей опоры долота.

Опора долота является наиболее важным узлом в конструкции шарошечных долот. Она обеспечивает действие кинематических схем долота и создает условия для эффективной работы вооружения. Одним из главных требований к надежности опор шарошечных долот, согласно результатам исследований, является то, что стойкость опоры долота всегда должна быть выше стойкости его вооружения. Это объясняется тем, что износ вооружения долота в худшем случае приводит к остановке процесса бурения, тогда как преждевременный износ опоры часто вызывает аварийную ситуацию и большие затраты на ее ликвидацию.

Известно, что опора долота — это многорядный неразъемный подшипник, где от работоспособности каждого подшипника зависит долговечность долота в целом. Условия нагружения подшипников опоры долота, как и условия трения, существенно различаются. Это приводит к непрерывному износу опорных поверхностей. Основным видом износа как в герметизированных, так и в открытых опорах является усталостное выкрашивание под влиянием циклических контактных напряжений, действующих со стороны нагруженной части опоры [1].

Таким образом, разработка и внедрение современных, новейших упрочняющих технологий и материалов при разработке породоразрушающего инструмента, конкурентоспособного зарубежным аналогам, является актуальной задачей в поле зрения науки и практики отечественного нефтяного машиностроения.

Среди разнообразных методов упрочнения рабочих поверхностей опоры долота наиболее широко используют цементацию, цианирование, наплавку твердым сплавом. Использование таких технологий, как цементация, цианирование, карбонитрирование, нанесение ионно-плазменных покрытий, может привести к существенному повышению эксплуатационных показателей буровых долот.

Наряду с этим в последние десятилетия успешно развивается технология электроосаждения композиционных гальванических покрытий (КГП) различного целевого назначения. Включение дисперсных упрочняющих частиц в металлическую матрицу изменяет ее физико-механические свойства и износостойкость. Широкие потенциальные возможности таких покрытий для повышения надежности деталей машин в различных отраслях машиностроения изложены в монографиях И. Н. Бородин и Р. С. Сайфуллина [2, 3].

Чтобы оценить возможность использования композиционных покрытий для повышения надежности деталей бурового оборудования, обратимся к свойствам этих покрытий. Наиболее интересными представляются некоторые физико-механические свойства и износостойкость.

С точки зрения износостойкости наибольший интерес представляют композиционные покрытия с хромовой матрицей. Однако дисперсная фаза плохо включается в такие покрытия, и в силу невысокой технологичности процесса наибольшее применение находят покрытия с использованием никеля [2].

Наибольшее количество КГП получают на основе никеля благодаря технологичности процесса, хорошей осаждаемости никеля с дисперсными частицами и высоким физико-механическим свойствам покрытий. Наличие в электролитах никелирования взвешенных частиц по-разному влияет на износостойкость КГП. Весьма эффективно уменьшают износ дисперсные частицы  $Al_2O_3$  (кубическая структура). В общем случае дисперсная фаза уменьшает удельный износ никелевых КГП в 2,5–5 раз по сравнению с его значением для гальванических покрытий.

Износостойкость никелевых КГП, полученных по оптимальной технологии электроосаждения, выше износостойкости закаленных углеродистых, конструкционных и легированных сталей.

Свойства покрытий указывают на возможность их широкого применения для повышения надежности деталей машин. Это хорошо подтверждается рядом примеров практического их использования.

Широкое распространение получили одно- и многослойные КГП на основе никеля для упрочнения лопаток турбин, винтов самолетов и др. Разработаны твердые износостойкие покрытия для рабочих узлов двигателя внутреннего сгорания. КГП на основе никеля применяют также для получения износостойких покрытий. Широкое применение получили самосмазочные покрытия. Такие покрытия наносятся на поршневые кольца, шатуны, вкладыши, стенки цилиндров и т. д. Особенно широко применяют самосмазывающие покрытия на основе никеля. Покрытия на основе никеля с дисульфидом молибдена не только уменьшают коэффициент трения и износ, но и надежно защищают поверхность деталей от воздействия агрессивной среды.

Приведенные примеры показывают, что буровая техника и инструменты имеют много общих деталей, работающих в сходных условиях, поэтому можно утверждать о наличии условий применения таких покрытий для повышения надежности и долговечности деталей буровой техники. Но некоторые примеры показывают, что свойства покрытий с разнородной дисперсной фазой могут превосходить свойства однокомпонентных покрытий. Сравним свойства хотя бы нескольких композиционных покрытий [2] (таблица).

**Физико-механические свойства композиционных покрытий**

| Вид КГП                                  | Микротвердость, МПа | Удельный износ,<br>$W \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$ |
|------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ni – HfB <sub>2</sub>                    | 4 600               | 1,8                                                                     |
| Ni – HfB <sub>2</sub> – MoS <sub>2</sub> | 4 000               | 0,8                                                                     |
| Ni – WC                                  | 4 000               | 2,0                                                                     |
| Ni – WC – MoS <sub>2</sub>               | 3 900               | 1,7                                                                     |

Приведенный пример показывает целесообразность более подробного рассмотрения вопроса о получении композиционных покрытий с разнородной дисперсной фазой.

Таким образом, можно полагать, что имеется достаточно широкая номенклатура деталей нефтепромыслового и бурового оборудования, которую целесообразно упрочнять композиционными покрытиями.

Вопросам осаждения композиционных гальванических покрытий (КГП) посвящено значительное количество работ. Однако более системно к исследованию механизма осаждения дисперсной фазы из электролитов-суспензий (ЭС) подошли И. Н. Бородин и Л. И. Лозицкий [4]. Что касается получения покрытий с разнородной дисперсной фазой, то идея их получения заимствована из технологии получения металлокерамических материалов методом порошковой металлургии.

Первые упоминания о получении покрытий с разнородной дисперсной фазой находим в работе [5]. Композиционные гальванические покрытия на основе меди содержали BaSO<sub>4</sub> и SrSO<sub>4</sub>, или BaSO<sub>4</sub> и слюду, или графит и BaSO<sub>4</sub>, или MgS<sub>2</sub> и BaSO<sub>4</sub>, или графит и SrSO<sub>4</sub>, или MoS<sub>2</sub> и SrSO<sub>4</sub>. В работе [6] приводятся сведения о кинетике соосаждения инертных частиц SiC и TiO<sub>2</sub> из сульфатного электролита

никелирования. С целью снижения скорости окисления никеля покрытия получали с разнородной дисперсной фазой  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$  в количествах 0,1 и 0,8 % масс. Скорость окисления никеля при этом уменьшалась в 1,5–2 раза, а термостойкость возрастала до 800 °С.

Авторами в работе [7] подобран состав электролита и условия осаждения композиционных электролитических покрытий, содержащих 8–15 % Р и 1,5–6 % дисперсных частиц В, С, Si,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Эти покрытия обладают внутренним напряжением, равным 300–500 кгс/см<sup>2</sup> и микротвердостью после термообработки при 400–500 °С, равной 800–900 кгс/мм<sup>2</sup>.

Довольно обширные сведения о возможности осаждения композиционных гальванических покрытий с разнородной дисперсной фазой приведены в работе [2]. В монографии показано, что поликомпозиционные покрытия на основе никеля, железа и хрома могут быть получены с карбидами вольфрама, гафния, оксидами алюминия и циркония, боридами гафния и циркония.

В качестве твердых смазок могут быть использованы дисульфид молибдена или гексагональный нитрид бора, как в случае осаждения хромовых покрытий. Износостойкость покрытий с разнородной дисперсной фазой в 1,5–2,0 раза выше износостойкости ряда КГП. Здесь же показана возможность соосаждения меди с графитом и молибденитом или с молибденитом и диселенидом ниобия. Показано, что износостойкость таких покрытий и в вакууме, и на воздухе выше износостойкости самосмазывающихся покрытий с дисульфидом молибдена.

Исследование температурного режима работы узлов трения представлено автором в работах [8, 9]. Установлено, что нанесение на внутреннюю поверхность шарошки твердосмазочного поликомпозиционного гальванического покрытия  $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3\text{-MoS}_2$  снижает температуру в подшипниках скольжения путем отвода тепла в тело шарошки. Нанесение медного оксидно-сульфидного гальванического покрытия увеличивает коэффициент теплопроводности и теплоотдачи внутренних поверхностей трения шарошки, что, в свою очередь, снижает температуру в периферийном подшипнике скольжения и опорной поверхности концевой подшипника.

В исследовании автора [10, 11] показана принципиальная возможность получения композиционных покрытий с разнородной дисперсной фазой заданного состава. Разработанная физико-математическая модель кинетики осаждения композиционных покрытий по механизму конвективной диффузии, конвективно-миграционному механизму и механизму смешанной кинетики позволяет рассчитать оптимальный состав композиционного покрытия по основным технологическим параметрам процесса осаждения, а также вычислить оптимальные технологические режимы осаждения покрытий по заданному составу [12].

Представленные в работах автора исследования в области разработки и внедрения современных упрочняющих технологий и материалов, а также исследования других авторов показали перспективность дальнейших исследований, позволяющих наиболее полно реализовать возможности электролитического соосаждения ионов металла и дисперсных частиц различных по природе порошков с целью разработки новых технологий упрочнения деталей бурового оборудования и инструмента.

#### **Список литературы**

1. Закиров Н. Н. Исследование деталей бурового долота 215,9 МС-ГНУ-R45 / Н. Н. Закиров, И. Н. Бородин, И.М. Борко // Тез. докл. Международ. науч. техн. конф. «Новые материалы и технологии в машиностроении». – Тюмень: ТюмГНГУ, 2000. – С. 46-48.
2. Бородин И. Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями. – М.: Машиностроение, 1982. – 140 с.
3. Сайфуллин Р. С. Неорганические композиционные материалы. – М.: Химия, 1983. – 300 с.
4. Бородин И. Н. Порошковая гальванотехника. – М.: Машиностроение, 1990. – 236 с.
5. Пат. США 3672970, Т.В. Tomaszewski, L.C. Tomaszewski. 27.06. 1972.
6. Пат. США 3687824 Т.В. Tomaszewski, L.C. Tomaszewski. 29.08. 1972.



7. Михайлене Е. С. Композиционные электролитические покрытия на основе никеля / Е. С. Михайлене, Ф. П. Фролова // Тр. АН Лит. ССР, Вильнюс, 1982. – № 6/133. – С. 10-14.
8. Закиров Н. Н. Температурный режим работы узлов трения / Н. Н. Закиров, И. Н. Бородин // Изв. Вузов Нефть и газ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2000. – № 3. – С. 106-111.
9. Закиров Н. Н. Температурный режим работы узлов трения бурового долота // Бурение и нефть, 2004. – № 9. – С. 12-14.
10. Закиров Н. Н. Композиционные гальванические покрытия для бурильного инструмента. – М.: Недра, 2002. – 122 с.
11. Закиров Н. Н. Композиционные антифрикционные покрытия для буровых долот. – М.: Бурение и нефть. – № 11, 2003. – С. 22-23.
12. Закиров Н. Н. Композиционные гальванические покрытия для бурильного инструмента. – М.: Недра, 2002. – 122 с.

**Сведения об авторе**

**Закиров Николай Николаевич**, д. т. н., профессор, кафедра «Бурение нефтяных и газовых скважин», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)738598

**Zakirov N. N.**, Doctor of Technical Sciences, professor of the chair «Drilling of oil and gas wells», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)738598

---

УДК 553.98.04(075.8)

**КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ РЕНТАБЕЛЬНОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ**

**PACKAGE OF MEASURES AIMED AT EXTENSION OF THE GAS DEPOSITS OPERATION COMMERCIAL PERIOD**

**А. А. Ефремов**

A. A. Efremov

ООО «Газпром добыча Ямбург», г. Тюмень

*Ключевые слова: завершающая стадия разработки, регулирование обводнения газовых залежей, геолого-технические мероприятия, продление срока эксплуатации скважин*

*Key words: the final phase of the development, regulation of flooding gas deposits, geological and technical measures, extending the life of wells*

В настоящее время значительная доля газовых залежей крупнейших месторождений России находится на завершающей стадии разработки или приближается к ней. В связи с этим работы по изысканию способов продления рентабельного периода их эксплуатации становятся все более актуальными.

Для сеноманских газовых залежей на завершающей стадии разработки первоочередной задачей является контроль процесса обводнения газонасыщенных интервалов, а также применение различных технических решений, позволяющих обеспечить вынос пластовой воды и мехпримесей из газовых скважин в условиях низкого пластового давления и, соответственно, продление срока их эксплуатации.

С целью осуществления контроля и анализа течения внутрипластовых массообменных процессов помимо мониторинга продвижения газо-водяного контакта необходимо анализировать эффективность дренирования запасов газа и, как следствие, корректировать режим эксплуатации залежи. Кроме того, на основе экспериментальных данных для пластовых условий, аналогичных сеноманской залежи Ямбургского месторождения, на различных участках залежи в зависимости от фильтрационно-емкостных свойств коллектора в обводненной части газонасыщенных интервалов теряется некоторое количество пластового газа в защемленном состоянии, что также необходимо учитывать.

Разработка газовых залежей при водонапорном режиме обычно сопровождается неравномерным продвижением воды по площади и разрезу. Это приводит к преждевременному обводнению эксплуатационных скважин, защемлению за фронтом вытеснения значительных количеств газа, ухудшению технико-