

УДК 622.24:622.276

Разработка методов повышения эксплуатационных показателей породоразрушающих инструментов истирающе-режущего типа

P.A. Gasanov, D.T.N.

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

e-mail: ramizhasanov52@hotmail.com

Sürtən-kəsən tipli süxurdağıdıcı alətlərin istismar göstəricilərinin yüksəldilməsi üsullarının işlənməsi

P.Ə. Həsənov, t.ə.d.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: sürtən-kəsən tipli balta, kəsən hissə, bərk xəlitələr, kəsici elementlər, bərabər yeyilmə, optimal yerləşdirmə.

Məqalədə sürtən-kəsən tipli süxurdağıdıcı alətlərin süxurdağıdıcı hissələrinin qeyri-bərabər yeyilməsinin səbəbləri araşdırılır və bu hadisəyə səbəb olan amillər tədqiq olunur. Bu məqsədlə süxurdağıdıcı hissələri müxtəlif bərk xəlitəli materiallarla təchiz edilmiş balta nümunələri ilə aparılmış təcrübə sınaqlarının nəticələri analiz edilmiş, süxurdağıdıcı hissələrdə bərk xəlitəli materialların bərabər yeyilməsinə təmin edən təchizat alqoritmi təklif edilmişdir. İşlənmiş təchizat modelinin səmərəliliyini təmin edən amillərin, o cümlədən bərk xəlitələrin konstruktiv və fiziki-mexaniki xarakteristikalarının, süxurların dağıdılması prosesinin müxtəlif dağıdılma dərəcəli süxurlar üçün rejim-texnoloji təminatının təsirinə xüsusi çəkisi təyin edilmişdir.

Development of enhancement method for performance indicators of rock destruction tools of abrasive-cutting type

P.A. Gasanov, Dr.in Tech.Sc.

Azerbaijan State University of Oil and Industry

Keywords: the bit of abrasive-cutting type, cutting structure, carbide tips, cutting elements, equal wear resistance, optimum equipment.

The paper analyzes the reasons and factors affecting uneven development of bits' cutting structure of abrasive-cutting type. With this purpose, the results of conducted experimental studies on the bits, the cutting structures of which are reinforced with various carbide cutting elements have been analyzed.

As a result, an algorithm for outfit of bits' cutting structures providing their equal wear resistance is suggested. Moreover, the outfit nature of bits' cutting structures has been studied depending on structural and physical-mechanical characteristics of reinforcing elements, regime-technological support of destruction process of rocks with different destruction degrees as well.

Ключевые слова: долото истирающе-режущего типа, вооружение, твердосплавные вставки, режущие элементы, равная износостойкость, оптимальное оснащение.

Долота истирающе-режущего типа являются высокопроизводительным буровым инструментом и находят применение при проходке нижних интервалов глубоких скважин на нефть и газ. Если устранить аномальный износ на рабочей поверхности вооружения, их эффективность может быть значительно повышена. Буровой инструмент оснащается различными породоразрушающими элементами. К ним относятся крупные зерна природных алмазов, синтетические поликристаллические алмазы СВСП, алмазный композиционный термостойкий материал (АКТМ), алмазно-твердосплавные поликристаллические пластины (АТП), а также мелкие зерна природных или синтетических алмазов, импрегнированные в различные по составу матрицы [1–3].

Материал из мелких порошков природных алмазов, закрепленных в твердосплавной матрице, получил название Славутич. Многолетними наблюдениями установлено, что 60 % долот типа ИСМ, оснащенных вставками Славутича, независимо от районов применения изнашиваются неравномерно, особенно в форме кольцевых канавок, и преждевременно выходят из эксплуатации.

По самым крупным расчетам из-за аномального износа долот ИСМ, объем неиспользованного алмаза в них составляет от 30 до 57 %. Поэтому проектирование долот и режимов бурения, обеспечивающих равномерный износ, является актуальной задачей отраслевого значения.

Кольцевые канавки, вызванные аномальным износом, замечены на алмазных долотах

всех конструкций (рис. 1) и как показывают наблюдения, это не случайное явление, а постоянный недостаток, обусловленный свойствами горных пород, конструкцией долота и режимом бурения.

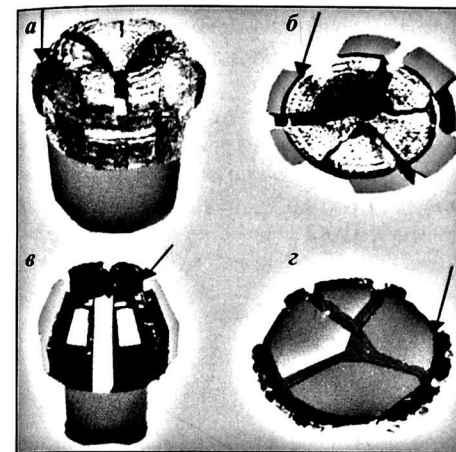


Рис. 1. Кольцевые канавки на рабочей поверхности алмазных долот типа МДК 214.3 (а); МДР 214.3 (б); ИСМ 214.3 С (в); ИСМ 292.9 Т (г)

Известно, что при вращательном бурении рабочие элементы долота, находясь под осевой нагрузкой, перемещаются по забою скважины с различной скоростью, разрушают горную породу и одновременно изнашиваются. Вынос продуктов разрушения и охлаждения режущих элементов осуществляется буровым раствором, прокачиваемым через долото.

В работах [4–6] приведены зависимости, описывающие профиль продольного сечения режущей части долот и коронок, который при условии одинаковой работы трения для каждого алмаза должен равномерно изнашиваться. Однако эти аналитические исследования не содержат практических рекомендаций по конструкциям долот, их формам и уровню оснащения в зависимости от свойств пород и режимов бурения.

Одним из параметров, определяющих конструкцию алмазного долота, является общий уровень его оснащения и схема укладки кристаллов алмаза или алмазных вставок. Известны различные схемы размещения породоразрушающих элементов на рабочей поверхности долота: спиральная, радиальная,

шахматная, однослойная, многослойная и другие комбинированные схемы.

Рабочие поверхности алмазных долот имеют плоскую, выпуклую, вогнутую, коническую, параболическую, эллиптическую, тороидальную, ступенчатую и другие формы профиля [4, 6].

Для общей укрупненной оценки уровня оснащения долот и размещения алмаза по площади забоя скважины используется критерий (коэффициент) оснащения, который представляет собой отношение площади алмазных элементов к площади забоя скважины, как в каждой кольцевой дорожке рабочей поверхности, так и долота в целом независимо от формы профиля и схемы размещения.

Как отмечено ранее, текущее значение коэффициента оснащения для алмазных долот характеризуется рядом монотонных кривых, не имеющих экстремумов [3, 7]. Предполагается, что при одинаковых условиях разрушения породы по всему забою скважины и стабильных свойствах алмазных материалов значение коэффициента оснащения должно быть постоянным или близким к постоянному.

Для проверки этой гипотезы были поставлены эксперименты на специально сконструированном стенде, описание которого приводится ниже.

Обычно лабораторные испытания проводятся для того, чтобы на стадии близкой к производству выявить возможные недостатки инструмента и пути его совершенствования, а также составить прогноз показателей применения в промышленных условиях. Для проведения испытаний необходимо создать условия, совмещающие в себе максимальную приближенность к реальным условиям работы инструмента и некоторую идеализированность, необходимую для многократной и точной воспроизводимости эксперимента. При этом реализация таких испытаний очень часто требует больших материальных и энергетических затрат, что, в свою очередь, может отрицательно сказаться на выборе условий испытания и, в конечном итоге, на достоверности полученных результатов.

Учитывая все это, на базе испытательного оборудования Управления бурового сервиса

и логистики Треста "Комплексные буровые работы" был разработан и создан стенд для проведения испытаний бурового инструмента, оснащенного сверхтвердыми композиционными материалами (рис. 2, 3).

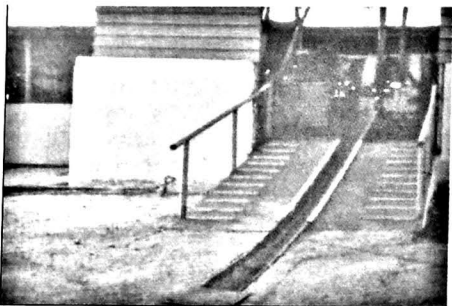


Рис. 2. Установка для испытания бурового инструмента (ЭУ)

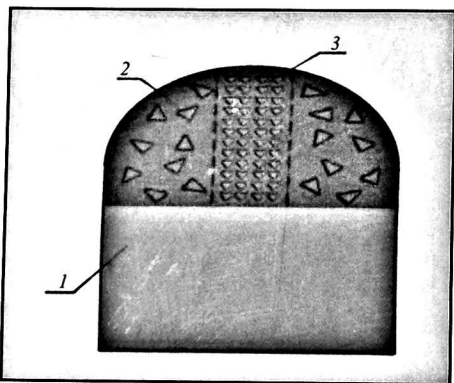


Рис. 3. Алмазная комбинированная вставка:
1 – твердосплавная державка; 2 – композиционный материал Славутича; 3 – цилиндр АКТМ

Технические характеристики стенда:

осевое перемещение колонны – 0–800 мм; скорость перемещения колонны – 0.05–0.1 м/с;

осевое усилие – 105 кН; частота вращения ротора – 103–310 мин⁻¹.

Таким образом, технические возможности бурового стенда позволяли проводить испытания инструмента при режимных параметрах, максимально приближенных к режимным параметрам роторного способа бурения в промысловых условиях.

Разработанный в условиях производства стенд имеет некоторые конструктивные особенности, выгодно отличающие его от существующего подобного оборудования.

Во-первых, стендовое сооружение позволяет максимально приблизить испытания к реальным условиям эксплуатации бурового инструмента. Гидропневматическая система, используемая для создания нагрузки вдоль вертикальной оси инструмента, дает возможность плавно и равномерно изменять осевую нагрузку во всем диапазоне нагрузок, используемых при работе на буровых.

Во-вторых, оригинальная конструкция стенда позволяет обеспечить равномерность износа вооружения за счет отсутствия радиальных биений колонны, обусловленных длиной колонны и несовершенством передающих узлов, которые в реальных условиях корректируются применением центрирующих устройств.

В-третьих, обеспечена оптимальная очистка зоны забоя, что гарантирует отсутствие засаливания рабочих органов инструмента. При этом есть возможность без потери качества промывки несколько снизить расход промывочной жидкости и энергетические затраты, что весьма выгодно при лабораторных испытаниях.

Стенд был оборудован комбинированным гидроэлектрическим пультом управления, и информационно-измерительной системой для определения физико-механических характеристик испытываемого инструмента.

На рис. 4 представлена принципиальная схема стенда для испытания бурового инструмента, состоящего из бурового станка, промывочного насоса, маслонасосной станции, пульта управления с приборами контроля, электропривода-двигателя постоянного тока с тахогенератором и двигателя-генератора постоянного тока для питания обмоток возбуждения.

Буровой станок состоит из буровой вышки и ротора, жестко соединенных между собой на общей фундаментной раме, а буровая вышка – из двух коробчатых вертикальных стоек с боковыми подкосами, трех поперечных траверс, двух гидравлических цилиндров и буровой колонны.

Нижний торец буровой колонны оснащен замковой резьбой, с помощью которой к буровой колонне присоединяется испытываемый инструмент. На столе ротора закрепляется образец породы для испытания бурового ин-

струмента. Для контроля вертикального усилия на гидроцилиндрах установлены датчики силы 7У3/50кН (с номинальным усилием 50 кН), кроме этого, усилие контролируется по манометру, установленному на пульте управления.

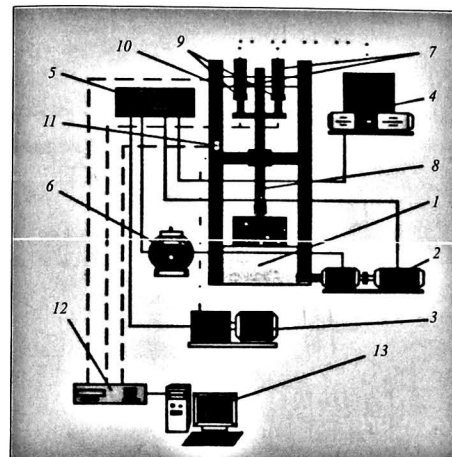


Рис. 4. Принципиальная схема стенда:

1 – буровой станок; 2 – двигатель генератора постоянного тока; 3 – промывочный насос; 4 – маслонасосная станция; 5 – пульт управления приборами контроля; 6 – электропривод-двигатель постоянного тока с тахогенератором; 7 – гидравлические цилиндры; 8 – буровая колонна; 9 – датчики силы 7У3/50кН; 10 – датчик силы 7-С9В/20кН; 11 – датчик линейного перемещения 7WA/500mm-L; 12 – устройства сбора и преобразования информации; 13 – персональный компьютер

Для контроля крутящего момента при бурении используется датчик силы 7-С9В/20 кН (с номинальным усилием от 0.5 до 20 кН), установленный на одной из опор подвижной траверсы.

Для контроля глубины бурения на буровой вышке установлен датчик линейного перемещения 7WA/500mm-L (с диапазоном измерений от 0 до 500 мм), а для контроля скорости вращения стола ротора на валу двигателя привода – тахометр, показатели которого выведены на панель пульта управления.

Данные, снятые с датчиков, поступают на измерительный преобразователь, где результаты измерения усиливаются, дискретизируются и передаются для дальнейшей обработки на ЭВМ.

В процессе проведения испытаний на стенде непрерывно осуществляется ком-

плекс совместных прямых и косвенных измерений. Система дает возможность с высокой точностью определять и отслеживать такие параметры как скорость вертикального перемещения бурового инструмента в породе, величина перемещения, осевая нагрузка на буровой инструмент, скорость вращения стола ротора, крутящий момент, действующий на инструмент, мощность, потребляемая в процессе бурения, расход промывочной жидкости.

Полученные параметры позволяют производить расчет и прогнозирование срока работоспособности бурового инструмента и давать рекомендации по его эксплуатации.

В лабораторных условиях на стенде определялась механическая скорость бурения крепкого песчаника вставками Славутича при разном сочетании нагрузки и скорости резания, охватывающем практический диапазон режима бурения алмазными долотами. Коэффициент оснащенности во всех опытах был одинаковым. Результаты опытов приведены в табл. 1.

Колебания механической скорости для практической оценки процесса бурения можно считать незначительными, поскольку отклонения от среднего показателя находятся в пределах разброса экспериментальных данных при разрушении горных пород. Эти опыты показали, что при всех 4-х уровнях нагрузок и скорости резания до 10 м/с на поверхности забоя скважины отсутствуют участки с аномальными значениями энергоемкости разрушения породы, что подтверждает достоверность принятого допущения.

Алмазные долота, у которых рабочие элементы размещены с учетом постоянного или плавно изменяющегося значения коэффициента оснащенности, меньше подвержены аномальному износу, однако на практике полностью исключить неравномерный износ не представляется возможным.

Учитывая изложенное, в вышеописанных опытах был определен удельный износ вставок Славутича. При подводимой мощности 2000 Вт, постоянном коэффициенте оснащенности и одинаковых условиях охлаждения износ Славутича в каждом опыте при одной и той же скорости резания был различным (табл. 2).

Таблица 1

Подводимая мощность, Вт	Скорость резания, м/с							Среднее значение скорости бурения, м/ч
	1.6	2.6	3.2	4.0	6.5	8.0	10.0	
1500	0.89	0.67	0.67	0.72	0.72	0.80	0.87	0.76
2000	1.10	0.67	0.79	1.03	0.94	0.96	0.95	0.92
3000	1.34	1.56	1.25	1.13	1.0	1.19	1.39	1.27
4000	1.54	1.75	1.82	1.73	1.20	1.60	0.96	1.51

Таблица 2

Номер опыта	Удельный износ Славутича при разрушении песчаника, $\times 10^3$ г/м ³						
	Скорость резания, м/с						
	1.6	2.6	3.2	4.0	6.5	8.0	10.0
1	29.0	124.7	87.3	19.2	9.9	58.0	29.5
2	39.0	9.4	13.5	12.7	5.8	76.0	83.8
3	61.0	53.3	48.9	99.8	4.4	20.0	115.5
4	41.0	15.4	12.7	28.9	5.1	9.7	9.8
5	-	5.1	59.5	11.0	-	-	63.9
Средние значения	42.5	41.6	44.4	34.3	6.3	40.9	60.5

Нестабильность износа композиционного материала Славутича при одних и тех же условиях опыта можно объяснить многими причинами: неравномерным распределением кристаллов алмаза, различием их прочностных свойств, цикличностью образования режущей поверхности вставки, а также нарушением технологии изготовления.

Естественно предположить, что подобная картина износа вставок Славутича может наблюдаться на рабочей поверхности долота.

Это может привести к аномальному износу отдельных вставок в любой зоне долота и образованию в этой зоне кольцевой канавки.

Средние значения удельного износа по 4–5 опытам (см. табл. 2) для всех скоростей резания, кроме значения 6.5 м/с, остаются практически постоянными, что дает основание рекомендовать текущее значение коэффициента оснащенности для всей рабочей поверхности алмазного долота [8].

Таким образом установлено:

- аномальный износ на рабочей поверхности алмазных долот обусловлен многими факторами, главным из которых является уровень оснащенности;

- величина удельного износа вставок Славутича при одинаковых условиях опыта мо-

жет изменяться в несколько раз, что является причиной аномального износа рабочей поверхности алмазного долота;

- энергоемкость разрушения породы вставками Славутича при постоянном коэффициенте оснащенности остается практически постоянной.

Общим недостатком для всех породоразрушающих элементов, кроме пластин АТП, является снижение эффективности разрушения породы в процессе бурения, вызванное износом и затуплением режущей кромки. В наибольшей мере это относится к вставкам Славутича, которые показывают низкую режущую способность, особенно при бурении твердых абразивных пород. Вставки Славутича, изначально с клиновидной или сферической формой головки, при бурении интенсивно изнашиваются, приобретая плоскую форму торца с большей, чем первоначальная, контактной площадью. Вследствие этого уменьшаются удельные нагрузки и глубина разрушения породы. Для осуществления эффективного и стабильного во времени процесса разрушения породы необходима стабильная форма породоразрушающих элементов. Создание вставок со стабильной формой режущих кромок, обладающих в

процессе бурения свойством самозатачива-ния, является направлением, позволяющим значительно улучшить показатели отработки породоразрушающих инструментов и интенсифицировать процесс производства буровых работ.

Принцип самозатачивания характерен для пластин АТП, которые используют в основном при бурении мягких и средних пород. Наблюдения и опыт использования долот с вооружением из композиционного сплава на производственных площадях Треста «Комплексные буровые работы» показывают, что при износе пластин АТП на 70–80 %, что соответствует проходке на долото до 3 тыс. м., механическая скорость бурения мало изменяется и остается достаточно высокой – 25–30 м/ч. Это обеспечивается тем, что твердосплавная подложка пластины изнашивается интенсивнее алмазного слоя, благодаря чему он первым вступает в контакт с горной породой и длительное время сохраняет свои режущие свойства. В пластинах АТП режущая кромка представлена алмазными зернами высокой концентрации и полностью отсутствуют зерна или имеется их низкая концентрация в твердосплавной подложке или державке.

Концентрация зерен по всему объему вставки Славутича одинаковая, композиционный материал имеет однородную структуру с равномерным распределением зерен, вследствие чего и изнашивается он с одинаковой интенсивностью по всей рабочей поверхности. В зависимости от условий применения концентрация зерен во вставках Славутича может быть различной. Так, для бурения мягких и средних пород применяют вставки с концентрацией зерен 10–25 % объема, а для бурения твердых абразивных пород концентрацию увеличивают до 40–50 % объема.

В результате приведенного выше сопоставительного анализа износа пластин АТП и Славутича становится очевидным, что для достижения неравномерного износа рабочей поверхности вставок Славутича с эффектом самозатачивания необходима переменная концентрация алмазных зерен, увеличивающаяся в направлении режущей кромки. Модель самозатачивания состоит в том, что к

вершине режущей кромки повышается износостойкость материала вставки, обеспеченная увеличением концентрации алмазных зерен.

Для практической реализации этого предложения разработана конструкция алмазной комбинированной вставки (рис. 3), в которой концентрация алмазных зерен от периферии к вершине возрастает ступенчато: в центральной зоне концентрации зерен составляет 85–90 %, а на периферии – до 25 % объема. В качестве материала высокой концентрации зерен использованы цилиндры АКТМ, а материал низкой концентрации представлен Славутичем.

Режущие свойства комбинированных вставок определяли двумя способами: методом вдавливания вставки в породу и бурением породы в лабораторных условиях.

Вдавливание исследуемых вставок производилось на стандартном приборе УМГП-3М, предназначенном для определения физико-механических свойств пород. В качестве горной породы принят известняк твердостью по штампу $P_m = 162$ кг/мм².

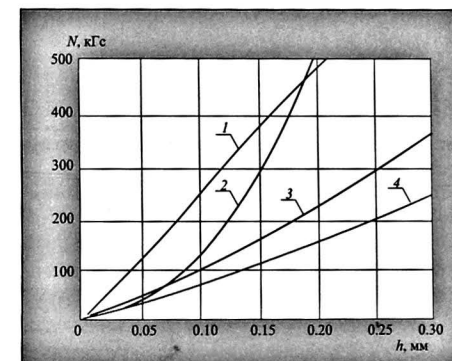


Рис. 5. Зависимость нагрузки от глубины внедрения породоразрушающих элементов в твердый известняк:

1 – комбинированная вставка; 2 – вставка Славутича; 3 – пластина АТП; 4 – крупное алмазное зерно

В результате обработки данных получены усредненные кривые (рис. 5), характеризующие процесс внедрения исследуемых породоразрушающих элементов в твердый известняк.

Поскольку центральная часть комбинированной вставки представлена цилиндром

АКТМ диаметром 3 мм, подобным штампам для определения физико-механических свойств пород, кривая I (см. рис. 5) представляет собой линейную часть диаграммы "нагрузка-деформация" при внедрении штампа. Из полученных данных следует, что комбинированные вставки и вставки Славутича близки по режущим способностям при глубинах внедрения до 0.2 мм, а при больших глубинах режущие свойства комбинированных вставок будут выше.

Обе эти вставки по режущей способности значительно уступают пластинам АТП и крупным алмазным зернам, кривые внедрения которых для сравнения показаны на рис. 5 (кривые 3 и 4 соответственно).

Определение энергоёмкости разрушения породы проводили на стенде, описание которого представлено выше.

При этом исследовались как отдельные комбинированные вставки, так и целая группа вставок, закрепленных на планшайбе методом пайки (рис. 6).

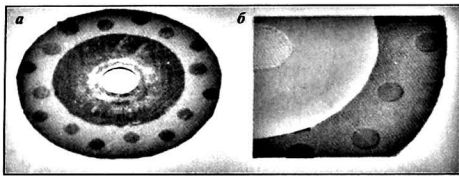


Рис. 6. Планшайба с комбинированными вставками после испытаний:
а – общий вид планшайбы; б – форма износа комбинированных вставок

При работе отдельными комбинированными вставками энергоёмкость разрушения крепкого песчаника в 2 раза ниже, чем у вставка Славутича.

Форма износа комбинированных вставок (см. рис. 6, б) подтвердила предположения о самозатачивании и сохранении первоначальной формы вставки. Разрушений и сколов на поверхности комбинированных вставок при длительном испытании планшайбы на износостойкость не наблюдалось. Результаты проведенных лабораторных исследований явились основанием для изготовления опытных бурильных головок, оснащенных комбинированными вставками (рис. 7), два образца которых диаметром 212.7/80 мм были направлены для испытаний на производственные площадки Треста "Комплексные буровые работы".

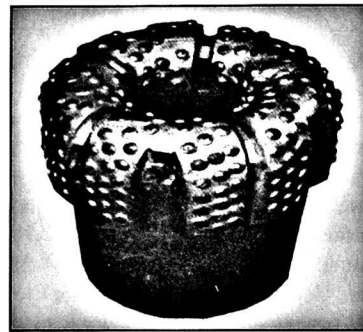


Рис. 7. Общий вид бурильной головки с комбинированными вставками

Таблица 3

Показатели	Вставки Славутича	Алмазные комбинированные вставки	Планшайба с комбинированными вставками
Нагрузки на 1 вставку, кГ	50	20	40
Скорость резания, м/с	4.0	4.0	2.1
Коэффициент сопротивления резанию	0.26	0.32	0.30
Энергоёмкость разрушения породы, Гм/см ³	568	280	572

В то же время при испытании группы вставок, закрепленных на планшайбе (см. рис. 6, а) энергоёмкость разрушения породы для комбинированных вставок и Славутича практически одинакова.

Результаты испытаний вставок при разрушении крепкого абразивного песчаника твердостью по штампу $P_{ш} = 350$ кГ/мм² приведены в табл. 3.

Вопросам конструирования породоразрушающего вооружения бурового инструмента посвящен ряд работ в этой области [2, 5, 7]. При этом решение поставленных задач сводится к нахождению функции распределения элементов по радиусу инструмента при проектировании её на плоскость, перпендикулярную оси скважины. Указанные подходы неоправданно усложняют расчеты, связанные с

проектированием инструмента, исключают из рассмотрения калибрующие поверхности, на которые расходуется 25–40 % вооружения.

Надо отметить, что функция оснащённости $K(I)$, т.е. отношение площади контакта вставок $S_k(I)$ на любом кольцевом участке, получаемом вращением образующей вокруг оси долота, к площади этого же кольцевого участка забоя $\Delta S_z(I)$, в пределе является отношением длины линии контакта $l_k(I)$ (в каждой точке I образующей) к длине линии окружности $2\pi R(I)$ поперечного сечения забоя в этой же точке:

$$K(I) = \lim_{\Delta S_z \rightarrow 0} \frac{S_k(I)}{\Delta S_z(I)} = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\bar{l}_k \Delta l}{2\pi R \Delta l} = \frac{l_k(I)}{2\pi R(I)}, \quad (1)$$

где $l_k(I) = \sum l_{ki}$; l_{ki} – длина линии контакта по i -му элементу.

Таким образом предлагаемый метод определения линии контакта сводится к определению среднего значения длины линии контакта (\bar{l}_k) на отрезке Δl образующей равном шагу t , причем условие $\Delta l = t$ позволяет значительно упростить расчет и сделать его наиболее гибким в применении к функции (или коэффициенту) перекрытия (I).

Средняя длина линии контакта цилиндрических вставок с плоской рабочей поверхностью, с шагом t , попадающим в интервал, может быть рассчитана по формуле

$$\bar{l}_k = \frac{S_n}{t}, \quad (2)$$

где S_n – площадь поперечного сечения цилиндрической вставки.

Формула (2) позволяет вычислять длину линии контакта в зависимости от величины износа Δh , т.е. при переменных значениях площади вставки $S_n(\Delta h)$ и шага $t(\Delta h)$, что имеет место при износе сферической головки вставки и криволинейной рабочей поверхности инструмента в виде

$$\bar{l}_k(\Delta h) = \frac{S_n(\Delta h)}{t(\Delta h)}.$$

Описанный метод определения l_k , исходя из шага t размещения элементов на по-

верхности корпуса бурового инструмента, позволяет использовать соотношение (1), определяющее коэффициент перекрытия, в качестве основного расчетного выражения при проектировании инструмента по заданной функции оснащённости $K(I)$. Задаваясь, из теоретических или практических соображений, необходимой функцией $K(I)$, можно в любой точке образующей l непосредственно (в отличие от других существующих методов расчета) установить величину шага t между вставками в зависимости от профиля инструмента ($R(I)$), его оснащённости ($K(I)$), конструкции и износа вставок ($S_n(\Delta h)$), т.е.

$$t(I) = \frac{S_n(\Delta h)}{K_n(I) 2\pi R(I)}. \quad (3)$$

Значение интегрального коэффициента перекрытия $K_n(I)$ (функции оснащённости) по образующей l в выражении (3) определяется как произведение параметрических коэффициентов и функций:

$$K_n(I) = K_r \cdot K_n(I) \cdot K_c(I) \cdot K_m(I), \quad (4)$$

где K с индексами – параметрические коэффициенты и функции, учитывающие соответственно твердость T породы, нагрузку N на элемент, скорость C перемещения элементов, износостойкость инструментального материала M и другие существенные параметры, значение которых определяется вдоль образующей l .

Количество параметрических коэффициентов и функций в выражении (4) зависит от конкретного назначения инструмента и наличия данных о влиянии параметров на интенсивность износа элементов.

На основании опыта разработки бурового инструмента истирающе-режущего типа рекомендуются следующие значения K_r : для мягких пластичных пород – 0.03–0.10; мягких – 0.06–0.16, чередующихся по твердости мягких и средних – 0.11–0.25; средних – 0.17–0.34; твердых – 0.30–0.45; крепких – 0.40–0.69.

На основании результатов лабораторных исследований распределения нагрузки по криволинейному профилю бурового инструмента при определении K_n предлагается использовать непрерывную функцию $K_n(I)$ со следующими граничными значениями:

$K_n(l) = 0.407-1.000$ для опережающих участков;
 $K_n(l) = 0.123-0.839$ для участка заклинивания;
 $K_n(l) = 0.407-1.000$ для промежуточных участков.

Шаг размещения вставок на торцевой рабочей поверхности бурильной головки рассчитывается следующим образом.

Образующая l торцевой поверхности разбивается на 12-18 участков и определяется их длина, значение K_n для начальных и конечных точек каждого участка, а также значение l_k для соответствующих точек каждого участка по формуле:

$$l_k(l) = K_n(l) \cdot 2\pi R(l).$$

Расчет шага размещения вставок начинается от условия размещения вставки №1 в начале участка l_1 , при этом значение l_k для вставки №1 $l_k^1 = l_k^{\text{нач}}$:

$$l_1 = \frac{S_n}{l_k^1}.$$

Значение l_k для вставки №2 определяется из выражения

$$l_k^2 = l_k^1 + k_1 l_1,$$

$$\text{при } k_1 = \frac{l_k^{\text{нач}} - l_k^{\text{кон}}}{l_1},$$

где k_1 – значение углового коэффициента функции l_k на участке l_1 ; $l_k^{\text{нач}}$ и $l_k^{\text{кон}}$ – начальное и конечное значения функции l_k на участке l_1 , мм; l_1 – длина участка, мм.

В общем случае

$$l_{ki} = l_{ki-1} \pm k_i l_i,$$

После выполнения расчета для всех участков торцевой поверхности, последовательно определяется количество вставок, координаты отверстий для размещения вставок, значение l_k для каждого участка образующей l профиля рабочей поверхности.

Следует отметить, что функция $l_k=f(l)$ определяет распределение вставок Славутича (площадь контакта вставок с забоем скважины) и его объем $V_{\text{сн}}$ по образующей l забоя скважины.

На отрезке $\Delta l=1$ мм образующей l профиля поверхности забоя скважины объем Славутича равен $\Delta V_{\text{сн}} = l_k \cdot 1 \cdot h_{\text{сн}}$ ($h_{\text{сн}}$ – высота рабочего слоя Славутича, мм).

Керноприемная и калибрующая поверхности являются продолжением торцевой, поэтому значение l_k для этих поверхностей бурильной головки равно значениям l_k участков в точке их сопряжения с торцевой поверхностью.

Количество вставок на цилиндрических участках рабочей поверхности (керноприемной и калибрующей) принимается равным количеству, определяемых из опыта разработки вставок бурильных головок.

Общее количество вставок n_n на торцевой рабочей поверхности бурильной головки можно определить по формуле:

$$n_n = \frac{K_n S_{\text{рп}}}{S_n}, \quad (5)$$

где $S_{\text{рп}}$, S_n – площади рабочей поверхности и вставки.

При разработке рабочего чертежа бурильной головки используется размещение вставок по спирали, начиная с цилиндрической керноприемной части, затем торцевой и калибрующей.

Применяя предлагаемый метод расчета схемы оснащения бурового инструмента, Управлением бурсервиса и логистики Треста "Комплексные буровые работы" было разработано около трех типоразмеров бурового инструмента, оснащенного Славутичем и алмазно-твердосплавными пластинами.

Были разработаны программы по расчету схемы оснащения и промывочной системы всех типов бурового инструмента: долот для бурения сплошным забоем, бурильных головок, резных долот.

При разработке и передаче в производство истирающе-режущего бурового инструмента основное внимание уделялось анализу технико-экономических показателей его применения, при этом анализу износа уделялось недостаточное внимание.

Ниже приводится анализ технических показателей применения и износа бурильных головок ИСМ-214.3/80 С-2, ИСМ-214.3/80 Т (базовых), разработанных ранее на основании инженерного опыта проектирования, и ИСМ-214.3/80 СЗ-2, ИСМ-214.3/80 Т-2, разработанных применением вышеизложенного метода расчета.

Характеристика оснащения поверхности

Типоразмер бурильной головки	Керноприемная часть		Торцевая поверхность		Калибрующая поверхность		Всего			Величина коэффициентов
	Количество вставок, шт.	Количество алмазов, кар.	Количество вставок, шт.	Количество алмаза, кар.	Количество вставок, шт.	Количество алмаза, кар.	Количество вставок, шт.	Количество алмаза, кар.	Количество алмаза, %	
ИСМ-214.3/80 С-2 (базовая)	15	21.77	160	142.39	84	61.03	259	225.19	100	$K_n=0.29$
ИСМ-214.3/80 СЗ-2 (разработанный)	19	18.44	99	96.05	104	45.24	222	159.73	71	$K_n=0.25$ $K_n=0.18$
ИСМ-214.3/80Т (базовая)	21	28.33	88	240.72	258	121.08	467	390.13	100	$K_n=0.34$
ИСМ-214.3/80 Т-2 (новая)	24	23.28	42	137.74	41	98.96	307	259.98	67	$K_n=0.37$ $K_n=0.26$

Примечание: С – породы средней твердости; Т – твердые породы.

Таблица 5

Типоразмер бурильной головки	Интервал бурения, м	Количество бурильных головок, шт.	Общая проходка, м	Общее время механического бурения, ч	Вынос керна, %	Проходка на бурголовку, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Проходка, VI	Механическая скорость бурения, м/ч
ИСМ-214.3/80 С-2 (базовая)	4225-5476	13	431	1724	67.4	33.2	0.25	100	100
ИСМ-214.3/80 СЗ-2 (разработанный)	4241-5306	10	409	1554	67.8	40.9	0.26	123	104
ИСМ-214.3/80Т (базовая)	4730-5830	9	528	2161	54.2	58.7	0.24	100	100
ИСМ-214.3/80Т-2 (разработанный)	4444-5136	7	402	1502	60.6	57.4	0.26	95	108
ИТОГО (базовые)	4225-5830	22	959	3885	-	43.6	0.25	100	100
ИТОГО (разработанные)	4241-5306	17	811	3056	-	47.7	0.26	109	104

бурильных головок приведена в табл. 4.

Расчеты схемы оснащения бурильных головок проведены при следующих значениях коэффициентов и функций:

ИСМ-214.3/80 Т-2 – $K_n = 0.37$; $K_n(l)$; $K_c = K_m = 1$; $K_n = 0.26$;

ИСМ-214.3/80 СЗ-2 – $K_n = 0.25$; $K_n(l)$; $K_c = K_m = 1$; $K_n = 0.18$.

Рабочие торцевые поверхности бурильных головок имеют тороидальную форму.

На рис. 8 приведен результат расчета распределения l_k по образующей l рабочей поверхности, включающей керноприемный (I), торцевой (II) и калибрующий (III) участки

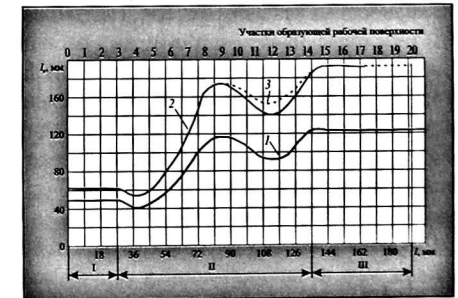


Рис. 8. Распределение l_k по образующей l рабочей поверхности бурильных головок:

1 – для бурения пород средней группы твердости (С); 2 – твердых (Т); 3 – результат корректировки функции l_k (пунктирная кривая)

бурильных головок ИСМ-214.3/80 СЗ-2 и ИСМ-214.3/80 Т-2. Для расчетов принимались следующие функции $l_k = f(l)$: 1-ИСМ-214.3/80 СЗ-2; 2-ИСМ-214.3/80 Т-2.

Бурильные головки применялись при бурении глубоких скважин на производственных площадях Треста "Комплексные буровые работы". Интервал бурения 4225–5830 м. Разрез представлен аргиллитами, алевролитами, известняками, песчаниками.

Бурение осуществлялось роторным способом при следующих режимах:

нагрузка, кН.....30–100,
число оборотов ротора, 1/с.....1.0–1.3,
расход промывочной жидкости,
л/с.....16–28.

Сравнительные показатели применения бурильных головок приведены в табл. 5.

Базовые и разработанные бурильные головки показали равные результаты как по проходке, так и по механической скорости бурения.

Преимуществом разработанных бурильных головок является более низкая стоимость за счет снижения на 30–40 % количества алмаза для их изготовления при оптимальной схеме оснащения (см. табл. 2, 4).

Для установления величины износа по высоте вставок, применяемых для оснащения бурильной головки ИСМ-214.3/80 Т-2, были проведены необходимые измерения.

Величина износа (Δh , мм) для каждой точки профиля определялась как средняя величина группы вставок из 10 шт. и относилась к средней точке интервала их распределения (31 точка по профилю бурильной головки, количество вставок 307 шт., см. табл. 2, 4). Результаты износа вставок на рабочих поверхностях бурильных головок ИСМ-214.3/80 Т-2 (функция (Δh , $f(l)$)) приведены на рис. 9. При этом Δh – высота износа вставок с плоской головкой, которая определялась исходя из объема износа вставок Славутича со сферической формой головки.

Профиль рабочей поверхности бурильной головки включает следующие участки – керноприемный (I), торцевой (II), калибрующий (III). Точками отмечено поле отклонения результатов измерения от средней величины.

Анализируя износ вставок на рабочих поверхностях, можно отметить следующее.

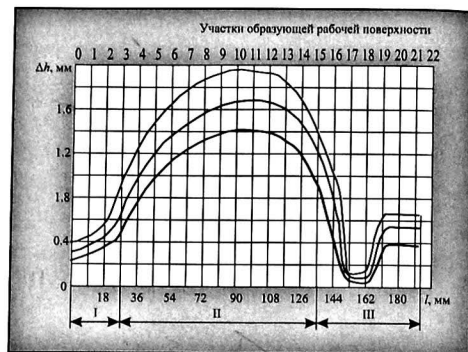


Рис. 9. Износ вставок Δh , по образующей / рабочей поверхности бурильной головки ИСМ-214.3/80 Т-2, включающей керноприемный (I), торцевой (II) и калибрующий (III) участки

На керноприемном участке I высота износа вставок изменяется в пределах 0.3–0.7 мм. Керноприемное устройство обеспечивает прием керна диаметром до 82 мм. В начальный период применения бурильная головка обеспечивает получение керна диаметром 77.6 мм, в конце срока службы он составит $77.6 + 1.4 = 79.0 < 82.0$. Таким образом, износ керноприемной части находится в технически обусловленных пределах. Так как максимальный износ вставок на этом участке составляет 0.7 мм, имеется возможность применить вставки с высотой слоя $h_{cn} = 2.0$ мм.

Наибольший интерес представляет сложный в техническом отношении торцевой участок II, определяющий один из основных показателей применения бурового инструмента – проходку.

При расчете схемы размещения вставок на криволинейных (в том числе тороидальных) рабочих поверхностях следует ориентироваться на опережающий участок 8–10 (см. рис. 2).

Износ торцевой поверхности II бурильной головки ИСМ-214.3/80Т-2 (см. функцию Δh , $f(l)$, рис. 9) близок к равномерному. Отклонение величины износа от среднего значения составляет $\pm 27\%$ (1.51 ± 0.38 мм).

Участки 9–13 торцевой поверхности имеют несколько повышенный износ по сравнению с опережающим участком 8–9, в связи с чем требуют некоторой корректировки. Свяzano это с тем, что при проведении расчетов схемы размещения элементов значение

функции $K_n(l)$ в формуле (4) определено лабораторными исследованиями. В производственных условиях наблюдаются интенсивные вибрационные нагрузки, в связи с чем значения этой функции, полученные в производственных условиях, несколько отличаются от лабораторных. Исходя из соотношения $\Delta h_{11}/\Delta h_8 = 1.65/1.49 = 1.11$, шаг размещения вставок на этом участке необходимо уменьшить в 1.11 раза.

Как показывает расчет, участки профиля 9–13 необходимо дополнить 9–11 вставками. Корректировка функции $l_k = f(l)$ показана на рис. 8 пунктирной кривой 3.

Бурильные головки ИСМ-214.3/80 Т-2 оснащаются вставками с высотой рабочего слоя Славутича $h_{cn} = 3.5$ мм ($h_s = 2.85$ мм). Как показал анализ, предельный износ вставок $\Delta h = -1.96 \pm 0.38$ мм, остаточный слой Славутича $h_0 = 0.89 \pm 0.38$ мм. За счет корректировки схемы на торцевом участке имеется возможность увеличить срок службы бурильной головки на 20–30 % и довести его до 220–240 ч (в настоящее время он равен 180 ч (см. табл. 5) и получить соответствующее увеличение проходки.

Износ калибрующей поверхности III происходит следующим образом. По мере износа вставок периферийной части торцевой поверхности II (участки 13–15, рис. 9) в процессе разрушения породы начинают принимать участие опережающие участки 15–17 калибрующей поверхности III. Износ вставок на участках 15–17 составил 1.20–0.10 мм. В дальнейшем процесс износа распространяется на участки 17–18, величина износа которых составляет 0.08–0.12 мм и определяет диаметр инструмента. Износ бурильной головки по диаметру находится в технически допустимых пределах ($0.24 \text{ мм} < 0.38 \text{ мм}$).

Производственные испытания опытных образцов подтвердили эффективность применения новых бурильных головок ИСМ-214.3/80 СЗ-2 и ИСМ-214.3/80 Т-2, так как для их изготовления затрачивается меньше алмаза, и они были рекомендованы для серийного производства.

На основании испытаний опытных образцов бурильных головок сделано заключение о возможности замены вставок из Славутича, размещенных на участках 19–21, штыря-

ми из твердого сплава ВК-6 (60 шт.) Износ штырей составил 0.38–0.62 мм, что превышает допустимый предел износа (см. участки 19–21 поверхности III, рис. 9.) однако не исключает возможности их применения в бурильной головке типа Т, так как предельный износ по диаметру определяется участками 15–19 калибрующей поверхности III, оснащенной вставками из Славутича, величина износа которых находится в технически допустимых пределах.

Положительный результат применения твердосплавных штырей в алмазном буровом инструменте ИСМ типа 1 дает основание распространить опыт их применения на другие типы инструменте ИСМ. При оснащении заходной части Славутичем, а затылочной – твердым сплавом, расход алмаза для оснащения калибрующих поверхностей снижается на 30–50 %.

Общий итог корректировки схемы оснащения, определяющий расход алмаза для изготовления бурильной головки, выглядит следующим образом: $-12.48 + 10.67 - 40.20 = -42.01$ кар (соответственно участки I, II, III профиля рабочей поверхности). При этом расход алмаза для изготовления бурильной головки ИСМ-214.3/80 Т-2 составит после корректировки схемы: $259.98 - 42.01 = 217.96$ кар (56 % от базовой, см. табл. 4).

Проведенный анализ износа бурильной головки подтвердил проектные расчеты и методический подход к решению задачи.

Следует отметить, что для оснащения поверхности I и II применялись вставки с $h_{cn} = 3.5$ мм, не входящие в технические условия (в основном, применяли вставки с ($h_{cn} = 5.0$ мм), для оснащения поверхности III – вставки с $h_{cn} = 2.0$ мм (в большинстве случаев $h_{cn} = 3.0$ мм).

Проведенный анализ износа бурильных головок подтвердил предположения о том, что бурильные головки ИСМ выходят из строя, в большинстве случаев, вследствие гидроабразивного размыва корпуса, выпадения вставок и последующего саморазрушения. В связи с этим, первоочередной задачей в практике проектирования является совершенствование промывочной системы бурильных головок.

Таким образом можно прийти к заключе-

нию о том, что применение разработанного метода расчета схемы оснащения бурового инструмента позволяет сократить на 30–40 % расход твердосплавных вставок для изготовления бурового инструмента без снижения технических показателей его применения.

Появляется возможность увеличения срока службы бурильных головок не менее чем

в 1.6–1.8 раза (соответственно проходки) за счет дальнейших работ по совершенствованию конструкции.

Работа выполнялась в рамках совместной научно-исследовательской программы с Институтом сверхтвердых материалов им. В.Н.Бакуля НАН Украины.

Список литературы

1. Панов В.С., Чувилин А.М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. – М.: МИСИС, 2001, 427 с.
2. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. трудов. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2010, вып. 13, 560 с.
3. Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Основы создания алмазосодержащих материалов для породоразрушающих инструментов / Под ред. Н.В.Новикова. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2008, 456 с.
4. Александров Б.Л., Антипов Б.Д. Определение пластовых давлений по деформационным характеристикам пород при дифференцированном учете коэффициента разгрузки // Нефтяное хозяйство, 1982, № 2, с. 22-24.
5. Современные спеченные твердые сплавы: сб. науч. трудов / под общ.ред. Н.В.Новикова. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2008, 344 с.
6. Алексеев Л.А., Трушкин Б.Н., Ганиев Р.Г. и др. Формирование рабочей поверхности долот истирающе-режущего типа и условие равномерного износа вооружения // Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – Уфа: Башкирское книжное изд-во, 1977, вып. 4, с. 3-9.
7. Поляков В.П., Ножкина А.В., Чириков Н.В. Алмазы и сверхтвердые материалы. – М.: Металлургия, 1990, 327 с.
8. Борисов К.И. Методика оценки эффективности процесса динамического резания горных пород инструментами режуще-скалывающего действия // Нефтяное хозяйство, 2008, № 11, с. 112-113.