

УДК 622.24.051

**А.А. Хруцкий, В.Г. Бобырь****АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО ИЗНАШИВАНИЮ ШТЫРЕВОГО  
ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН**

Рассмотрены результаты известных исследований изнашивания штыревого породоразрушающего инструмента для бурения скважин и методы его определения. Представлена схема видов износа штыревых коронок. Установлено, что на коронку действуют ударно-гидроабразивный, ударно-абразивный, ударно-усталостный виды износа, абразивный износ с закрепленным и не закрепленным абразивом, износ вследствие пластической деформации. При этом буровой инструмент изнашивается крайне не равномерно. Снижение влияния износа инструмента на технико-экономические показатели бурения возможно за счет конструктивного обеспечения равномерности износа буровой коронки. Поскольку точное математическое описание износа бурового инструмента для ударно-вращательного бурения скважин затруднительно, то для прогнозирования износа бурового инструмента предлагается использовать динамические эпюры износа на основе данных о величине локального износа. Выдвинуты требования к методам для определения значений локального износа бурового инструмента, которые включают точность, простоту, скорость реализации, мобильность измерительного оборудования, а также возможность проводить замеры прямо на рабочем месте или в подземных мастерских. Проведен анализ методов определения износа и предложено для определения локального износа корпуса штыревых коронок использовать метод искусственных баз, а для твердосплавных породоразрушающих элементов – метод фотографирования с последующим планиметрированием и метод слепков.

*Ключевые слова:* износ бурового инструмента, штыревые коронки, виды износа, определение локального износа, ударно-гидроабразивный износ, ударно-абразивный износ, абразивный износ.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами**

**Н**а сегодняшний день штыревой породоразрушающий инструмент является основным видом бурового инструмента, применяемого для бурения скважин в породах высокой и средней крепости при подземной добыче полезных ископаемых. Такие скважины бурятся ударно-вращательным способом с помощью погружных пневмоударников. Этот способ относится к группе механических способов бурения, при котором разрушение пород и изнашивание инструмента происходят в результате создания в области

непосредственного силового контакта инструмента с массивом зон предельного напряженно-деформированного состояния.

По этой причине изнашивание бурового инструмента неизбежный процесс и главная задача состоит в снижении его влияния на технико-экономические показатели бурения.

**Анализ исследований и публикаций**

Известные способы снижения износа позволяют продлить срок полезной эксплуатации бурового инструмента в 1,5–2 раза [1]. Не смотря на

это, по сравнению со сроком службы других звеньев буровой цепочки, долговечность буровых коронок все равно остается сравнительно малой [6]. Значительное увеличение срока службы бурового инструмента возможно только при революционных изменениях – разработке новых сверхпрочных материалов, новых способов разрушения горных пород или методов изменения их физико-механических свойств.

Значительное снижение износа бурового инструмента, изготовленного из известных материалов, возможно только при отсутствии силового контакта между самим инструментом и горной породой, обусловленного способом разрушения породы (огневое бурение, гидроабразивное бурение, электроразрядное бурение и т.д.). На сегодняшний день обозначенные способы разрушения горных пород все еще уступают по технико-экономическим показателям, широко применяемым механическим способам разрушения.

Исследованию изнашивания, математическому описанию и методам определения интенсивности износа инструмента для бурения скважин посвящено множество работ. В этом направлении работали И.Ю. Агеева, А.Ю. Адбагачиев, С.Н. Аракчеев,

В.П. Артамоновский, Г.В. Аршимович, В.Н. Бакуль, Л.И. Барон, В.Н. Виноградов, Л.Б. Глатман М.Г. Колокольников, Х.Б. Кординский, М.М. Кравцов, И.В. Крагельский, И.А. Леванковский, Ю.П. Линенко–Мельников, Е.П. Поладко, И.К. Масленников, А.С. Мультианов, Е.Ф. Непомнящий, Г.М. Сорокин, Г.М. Харач, Г.К. Шрейбер, Е.Ф. Эпштейн и др.

Следует отметить, что основное внимание исследователей уделялось износу твердосплавных породоразрушающих вставок. При этом износ корпуса самого инструмента остается не достаточно изученным.

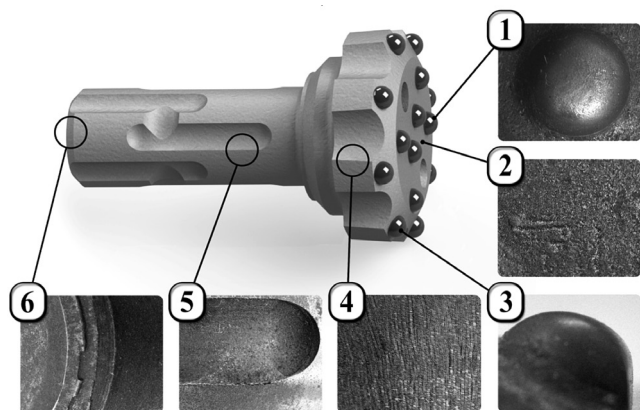
### Постановка задачи

Провести анализ известных исследований видов изнашивания, математического описания и методов определения интенсивности износа штыревого породоразрушающего инструмента для бурения скважин с целью изыскания конструктивных путей снижения влияния износа инструмента на технико-экономические показатели бурения.

### Изложения материала и результаты

В результате проведенного анализа известных исследований изнашивания и на основании опыта эксплуатации бурового инструмента составлена схема видов износа штыревых коронок, представленная на рисунок.

Центральные штыри подвергаются воздействию сразу нескольких видов износа (поз. 1, рисунок). Наибольшую интенсивность имеет ударно-гидроабразивный износ [3]. При этом износ поверхности соударения штыря происходит в результате как прямого внедрения зе-



**Виды износа штыревой коронки для бурения скважин погружными пневмударниками**

рен абразива (монолитной горной породы), так и направленного перемещения абразива (бурового шлама) вдоль этой поверхности. Такой износ обусловлен присутствием водо-воздушной смеси, подаваемой в зону соударения.

Во время соударения эта смесь с большой скоростью вытесняется из зоны соударения, при этом часть зерен абразива увлекается вытесняемой смесью и при движении разрушает соударяемые поверхности штыря путем микрорезания. Таким образом, ударно-гидроабразивный износ включает элементы микрорезания и многократного прямого внедрения частиц абразива. Кроме того штыри подвергаются абразивному износу с неподвижным абразивом [11] от трения о забой скважины. Интенсивность этого вида износа ниже, чем ударно-гидроабразивного износа.

Торцевая поверхность корпуса коронки подвержена так же ударно-гидроабразивному износу (поз. 2, рисунок). Однако элементы микрорезания имеют меньшее влияние, чем многократное прямое внедрение частиц абразива и поверхность контакта не имеет направленной шероховатости в виде рисок. Такой износ ближе к ударно-абразивному [3], сопровождающемуся упругой деформацией поверхности изнашивания с последующим развитием наклепа и усталостных явлений.

Боковые штыри, так же как и центральные, подвергаются воздействию сразу нескольких видов износа (поз. 3, рисунок). Но в отличие от центральных штырей, большую интенсивность имеет абразивный износ с закрепленным абразивом вследствие трения о стенки скважины.

Для боковой поверхности корпуса коронки характерен абразивный износ (поз. 4, рисунок). Причем по боковой поверхности абразивный износ с закрепленным абразивом, вызван-

ное трением о стенки скважины, а по пазам для выноса шлама абразивный износ с не закрепленным абразивом, вызванный движением шлама.

На хвостовике коронки пазы соединения подвергаются износу вследствие пластической деформации (поз. 5, рисунок), вызванному смятием боковых поверхностей пазов крепления от шаров байонетного соединения при передаче крутящего момента от пневмоударника. Следует отметить, что такой же вид изнашивания наблюдается и для других видов крепления, например, для шлицевого или шпоночного.

На торце хвостовика коронки наблюдается так же износ вследствие пластической деформации (поз. 6, рисунок). Он обусловлен приложением динамической нагрузки (удара поршня по коронке).

Поскольку на протяжении всего срока эксплуатации по буровой коронке при проходке скважин наносится около 1,5 млн ударов, то можно говорить о присутствии как усталостного, так и ударно-усталостного износа корпуса коронки и твердого сплава [3].

Кроме отмеченных на схеме видов износа, наблюдаются также коррозионный износ по всему корпусу коронки и абразивный износ в месте крепления коронки к погружному пневмоударнику. Однако интенсивность этих видов износа незначительна по сравнению с отмеченными выше и ею можно пренебречь.

Следует также отметить, что буровой инструмент изнашивается крайне не равномерно. Наибольшему износу подвергаются твердосплавные породоразрушающие элементы, расположенные по периметру коронки, и рабочая часть корпуса коронки. Хвостовик при этом имеет минимальный износ [5].

Отсюда, нам представляется, что конструктивной возможностью сни-

жения влияния износа инструмента на технико-экономические показатели бурения, кроме известных [6], является применение принципа равномерности износа. Согласно этому принципу конструкция детали должна обеспечивать равномерность износа всех элементов детали.

Для обеспечения равномерности износа буровой коронки необходимо точное представление не только о видах изнашивания, но и о величине локальной интенсивности износа, как корпуса коронки, так и породоразрушающих элементов.

В связи с таким разнообразием видов износа, которым подвержен буровой инструмент, точное математическое описание износа бурового инструмента для ударно-вращательного бурения скважин затруднительно. Так же следует учесть, что сам буровой инструмент движется по сложной траектории, а его изнашивание является вероятностным процессом [8], поскольку зависит от физико-механических свойств буримой породы, которая, в свою очередь, не является однородной, а имеет множество включений и прожилок различной величины, имеющих различные физико-механические свойства.

Сложность математического описания процессов изнашивания в целом, как отмечено в работе [4], состоит в том, что пара трения представляет собой сложную систему, непрерывно изменяющуюся в процессе эксплуатации и характеризующуюся параметрами состояния, свойств и внешнего воздействия. Задачи изнашивания являются задачами функционирования системы. Используемые в расчетах классические математические методы дифференциального и интегрального исчисления оказываются недостаточными для решения таких задач из-за сложности и многообразия процессов, имеющих место при изнашива-

нии узлов трения. Такие методы позволяют рассматривать модель сопряжения в статике, т.е. в определенный момент наработки, при определенном взаимном расположении деталей, с неизменными параметрами контактирующих материалов.

Для оценки и прогнозирования износа бурового инструмента обычно используются упрощенные эмпирические формулы [9]. Однако точное значение локального износа математическим путем получить пока затруднительно.

Наилучшим источником информации о локальном износе, на наш взгляд, являются эпюры износа.

Динамические эпюры износа на основе данных о величине локального износа, как самого корпуса бурового инструмента, так и породоразрушающих вставок могут стать основой для разработки достаточно адекватной математической модели для прогнозирования износа инструмента.

Для определения локального износа известно множество методов. Выдвинем требования к методам для определения значений локального износа штыревых коронок. Метод должен быть достаточно точным, простым и быстрым в реализации. При этом измерительное оборудование должно быть достаточно мобильным, позволяющим проводить замеры прямо на рабочем месте или в подземных мастерских.

Для измерения локального износа бурового инструмента рационально применять группы методов, основанные на измерении самого инструмента или специальных мерных баз [2].

Выделим три метода, которые, на наш взгляд, наиболее удовлетворяют поставленным требованиям.

Для определения износа корпуса может быть использован метод искусственных баз [2], оценивающий износ по нанесенным углублениям и дающий достаточно точные результа-

ты. Сложность представляет нанесение достаточно большого количества углублений в твердом корпусе, кроме того для определения износа штырей этот метод не пригоден.

Для определения износа твердосплавных породоразрушающих элементов применяется метод фотографирования с последующим планиметрированием [8]. Основным недостатком этого метода является то, что фотографирование не может в полной мере отобразить всю сложную трехмерную форму изношенного штыря, не говоря уже о самом корпусе коронки. Для качественного определения износа требуется сделать не один десяток снимков, что в свою очередь требует времени и хорошего освещения.

Наиболее полно отвечающим поставленным требованиям для определения износа твердосплавных породоразрушающих элементов является метод слепков [10]. Он позволяет весьма полно осветить общую форму элементов и поверхностей после и (или) до их изнашивания. Он предусматривает использование быстротвердеющего материала, который обеспечивает сохранение формы поверхности буровой коронки. Кроме того этот метод можно использовать и для оценки шероховатости стенок и забоя скважины. Сделанные слепки затем могут быть детально изучены в более подходящих условиях.

### **Выводы и направления дальнейших исследований**

1. Конструктивной возможностью снижения влияния износа инструмента на технико-экономические показатели бурения является применение принципа равномерности износа, для обеспечения которого необходимо точное представление не только о

видах изнашивания, но и о величине локальной интенсивности износа, как корпуса коронки, так и породоразрушающих элементов.

2. Рассмотрению процесса износа штыревых коронок для ударно-вращательного бурения посвящены множество научных работ, однако математической модели описывающей износ, как самого корпуса, так и коридорах пугающих элементов в полном объеме нет.

3. Динамические эпюры износа на основе данных о величине локального износа, как самого корпуса бурового инструмента, так и породоразрушающих вставок могут стать основой для разработки достаточно адекватной математической модели для прогнозирования износа инструмента.

4. Для определения локального износа корпуса может быть использован метод искусственных баз, а для твердосплавных породоразрушающих элементов – метод фотографирования с последующим планиметрированием и метод слепков.

**Задачами дальнейших исследований** являются проведение экспериментальных исследований с целью построения динамических эпюр износа штыревых коронок для бурения скважин и создания на их основе обобщенной математической модели, учитывающей физико-механические свойства породы и материалов инструмента, шероховатость стенок скважины и забоя, а также вероятностную природу износа. На основе полученных результатов и применения принципа равномерности износа планируется синтез конструкции буровой коронки со сниженным влиянием ее износа на технико-экономические показатели бурения.

1. Аракчеев С.Н. Обоснование параметров и способа повышения стойкости буровых коронок. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГТУ, 2006. – 19 с.

2. Барон Л.И., Глатман Л.Б. Износ инструмента при резании горных пород. – М.: Недра, 1963. – 168 с.

3. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Шрейбер Г.К. Ударно-абразивный износ буровых долот. – М.: Недра, 1975. – 167 с.

4. Гриб В.В. Расчет ресурса и износа узлов трения численными методами / Теория и практика расчетов деталей машин на износ. – М.: Наука, 1983. – С. 106–110.

5. Громадский А.С., Хруцкий А.А. Перспективы снижения износа штыревого бурового инструмента // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – № 2. – С. 71–73.

6. Громадский А.С., Хруцкий А.А. Перспективы совершенствования породоразрушающих инструментов для пневмоударного бурения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 8. – С. 140–143.

7. Кордрнский Х.Б., Харач Г.М., Артамоновский В.П., Непомнящий Е.Ф. Вероятностный анализ процесса изнашивания. – М.: Наука, 1968. – 56 с.

8. Линенко-Мельников Ю.П. Оценка свойств горных пород при перфораторном бурении и эффективности работы коронок по состоянию твердосплавного вооружения после амортизации инструмента / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов, вып. 12. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – С. 31–36.

9. Линенко-Мельников Ю.П., Агеева И.Ю. Изнашивание перфораторных буровых коронок / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов, вып. 14. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – С. 61–70.

10. Масленников И.К. Буровой инструмент. Справочник. – М.: Недра, 1989. – 430 с: ил.

11. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Хруцкий Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент,  
Бобыр Виталий Григорьевич – аспирант,  
Криворожский национальный университет, Украина,  
e-mail: acaxa@meta.ua.

UDC 622.24.051

## ANALYSIS OF STUDIES ON THE WEAR OF INSERT ROCK CUTTING TOOLS FOR DRILLING HOLES

Khurtskiy A.A.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
Bobyry V.G.<sup>1</sup>, Graduate Student,  
<sup>1</sup> Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine,  
e-mail: acaxa@meta.ua.

*The results of known research about the insert rock cutting tool for holes drilling wearing and methods for its determination. A scheme of types of insert bits wear is presented. It was found that the bit is affected tool-hydroabrasive, tool-abrasive, tool-fatigue types of wear, abrasive wear with fixed and non-fixed abrasive wear due to plastic deformation. In this case, the drilling tool is worn extremely not evenly. Reducing the influence of tool wear on the technical and economic parameters of drilling is possible due to the constructive support uniform wear of the drilling bit. Since the exact mathematical description of the drilling tool wear for tool-rotary drilling is difficult, then to predict the wear of drilling tool it is proposed to use the dynamic diagrams of wear on the basis of data on the amount of local wear. The demands were put forward the methods for determining the values of the local wear of drilling tools, which include accuracy, simplicity, speed of implementation, the mobility of the measuring equipment and the ability to carry out measurements directly in the workplace or in the basement. The analysis of methods for wearing determining is carried out and proposed*

for determination of the local wear of insert bits bodies to use the method of artificial bases, and for carbide rock cutting elements – method of photographing followed planimetry and method of casts.

*Key words:* wear of drilling tools, insert bits, types of wear, the definition of local wear, tool-hydroabrasive wear, tool-abrasive wear, abrasive wear.

## REFERENCES

1. Arakcheev S.N. *Obosnovanie parametrov i sposoba povysheniya stoikosti burovykh koronok* (Substantiation of the parameters and method for increasing the resistance of drill bits), Candidate's thesis, Moscow, MGGU, 2006, 19 p.
2. Baron L.I., Glatman L.B. *Iznos instrumenta pri rezanii gornykh porod* (Tool wear when rock cutting), Moscow, Nedra, 1963, 168 p.
3. Vinogradov V.N., Sorokin G.M., Shreiber G.K. *Udarno-abrazivnyi iznos burovykh dolot* (Tool-abrasive wear of drilling bits), Moscow, Nedra, 1975, 167 p.
4. Grib V.V. *Teoriya i praktika raschetov detalei mashin na iznos* (Theory and practice of calculations of machine parts for wearing), Moscow, Nauka, 1983, pp. 106–110.
5. Gromadskii A.S., Khrutskii A.A. *Naukovii visnik Natsional'nogo girnichogo universitetu*. 2010, no 2, pp. 71–73.
6. Gromadskii A.S., Khrutskii A.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2013, no 8, pp. 140–143.
7. Kordrnskiy Kh.B., Kharach G.M., Artamonovskii V.P., Nepomnyashchii E.F. *Veroyatnosnyi analiz protsesa iznashivaniya* (Probabilistic analysis of wear process), Moscow, Nauka, 1968, 56 p.
8. Linenko-Mel'nikov Yu.P. *Porodorazrushayushchii i metallobrabatyvayushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya: Sbornik nauchnykh trudov*, vyp. 12 (Rock cutting and metalworking tool – Method and technology of its production and use: Set of scientific works, issue 12), Kiev, ISM im. V.N. Bakulya NAN Ukrainy, 2009, pp. 31–36.
9. Linenko-Mel'nikov Yu.P., Ageeva I.Yu. *Porodorazrushayushchii i metallobrabatyvayushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya: Sbornik nauchnykh trudov* (Rock cutting and metalworking tool – Method and technology of its production and use: Set of scientific works, issue 14), Kiev, ISM im. V.N. Bakulya NAN Ukrainy, 2011, pp. 61–70.
10. Maslennikov I.K. *Burovoi instrument. Spravochnik* (Drilling tools. Directory), Moscow, Nedra, 1989, 430 p.
11. Tenenbaum M.M. *Soprotivlenie abrazivnomu iznashivaniyu* (Abrasive wearing resistance), Moscow, Mashinostroenie, 1976, 271 p.



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

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ НЕФТИ**

№ 1046/04-15 от 02.02.2015, 9 с.

*Латышев Виктор Александрович* – кандидат технических наук, доцент,  
Ямальский нефтегазовый институт,  
филиал Тюменского государственного нефтегазового университета.

*Рассмотрены особенности монтажа современных технических средств измерения уровня. Представлено обоснование выбора первичных и вторичных преобразователей и схем подключения.*

*Ключевые слова:* измерение, резервуар, монтаж, датчик уровня, датчик температуры.

## **TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE GAGE MOUNTING OF THE OIL LEVEL**

*Latyshev V.A.*, Candidate of Economical Sciences, Assistant Professor,  
Yamal Oil and Gas Institute, Branch of Tyumen State Oil and Gas University.

*In the paper are reviewed the peculiarities of mounting of current technical tools for level gaging. The selection justification of primary and secondary converter and connection patterns is presented.*

*Key words:* measuring, reservoir, mounting, level gage, temperature sensor.