

- проявлении пластов.- В кн.: «Вопросы техники и технологии бурения глубоких нефтяных и газовых скважин» .-Баку: Изд-во АзНИПИ нефть, 1987.-с. 38-55.
2. Новые исследования в области совершенствования породоразрушающего и керноотборочного инструмента и его обработки. /Под ред. Ю.Г. Апановича . М.-Изд-во ВНИИБТ, 1987.-234 с.
  3. Пути совершенствования промывочных устройств буровых шарошечных долот/ Н. А. Жидовцев, И. К. Бикбулатов, А. В. Васильев, Э. С.Гинзбург.-М.: Изд-во ЦИНТИХИМ-нефтемаш, 1984.-32с.
  4. Травкин В.С. Породоразрушающий инструмент для вращательного бескернового бурения скважин.-М.: Недра, 1982.-190 с.

Поступила 09.06.10

УДК 622.24.051.004.6

**Г.М. Эфендиев**, член-корр. НАН Азербайджана, д-р техн наук, **А.С. Аббасов**

*Институт геологии НАН Азербайджана, г. Баку*

### **ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ДОЛОТ ИСМ**

*The lecture is dedicated to probability-statistical analysis for life of “ISM” bits. Based on study of no-failure operation distribution law studies showed that in considered case it's obey normal law. Going from this, it was proposed to use alternative method of calculating life of bit, used in different applications.*

Рассчитать надежность любого объекта, в том числе долота, вероятностно-статистическими методами, можно на основании анализа характера износа. При этом следует составить модели возникновения отказов работы долот и выявить характер износа, что позволяет делать обоснованные предположения о законе распределения продолжительности работы долот до отказа. Установление закона распределения продолжительности безотказной работы имеет важное значение для исследований и оценки надежности долот. Часто в этих целях используют фактические данные об отработке долот. Следует отметить, что законы распределения формируются в зависимости от характера износа, на который в свою очередь, влияют условия эксплуатации и тип долота [1, 2].

Ранее в результате анализа характера износа долот ИСМ истирающе-режущего действия было установлено, что продолжительность безотказной работы долот подчиняется нормальному закону распределения. В таком случае фактические данные необходимы уже для проверки достоверности этого вывода, построения и анализа статистических и вероятностных закономерностей отказов, а это, в свою очередь, позволяет решать задачу рационального использования долот.

Для оценки надежности долот ИСМ истирающе-режущего действия использовали фактическую информацию об их работе при бурении скважин на площадях Бакинского архипелага. Предварительно данные сгруппировали по интервалам, однородным по твердости, абразивности разбуриваемых пород, способу бурения, осевой нагрузке на долото, расходу и плотности бурового раствора. Результаты анализа данных показали, что большинство разрезов площадей, на которых отработывались долота, представлено переслаивающимися глинами и песками низкой твердости. В этой связи, данные о работе долот в сураханской, сабунчинской и балаханской свитах, залегающих на глубине 2000–3800 м, были объединены в одну группу. Вошедшие в эту группу долота отработывали при бурении турбинным способом и

осевой нагрузке 100–120 кН. Накопленную информацию использовали для установления законов распределения показателей надежности: частоты, интенсивности отказов, функции распределения, вероятности безотказной работы.

Одновременно эту же информацию использовали при построении зависимостей согласно теоретическим законам распределения: нормальному, гамма-распределению, Вейбулла–Гнеденко, логнормальному.

Полученные эмпирические частоты сравнивали с теоретическими, определенными по каждому из указанных законов распределения с помощью критерия согласия Пирсона  $\chi^2$ . Результаты расчетов сведены в табл. 1.

**Таблица 1. Результаты расчета частот и сравнения с эмпирическими с помощью критерия согласия  $\chi^2$**

Интервал $t$	Эмпирические частоты	Эмпирические частоты	Теоретические значения частот согласно закону				Теоретические значения частот согласно закону				Критерий $\chi^2$			
			нормальному	гаммараспределению	Вейбулла–Гнеденко	логнормальному	нормальному	гаммараспределению	Вейбулла–Гнеденко	логнормальному	нормальному	гаммараспределению	Вейбулла–Гнеденко	логнормальному
0,28	9	0,079	0,0	0,036	0,031	0,10	5,28	4,11	3,55	11,4	2,630	5,830	8,38	0,504
0,47	14	0,123	0,1	0,139	0,044	0,491	12,1	15,90	5,03	56,0	0,290	0,221	16,00	31,5
0,67	18	0,158	0,1	0,225	0,049	0,714	20,4	25,60	5,67	81,4	0,288	2,270	26,80	49,4
0,87	26	0,228	0,2	0,227	0,049	0,644	25,2	25,80	5,65	73,5	0,023	0,0012	73,40	30,7
1,06	22	0,193	0,2	0,170	0,046	0,463	22,9	19,40	5,20	52,7	0,032	0,356	54,20	17,9
1,26	13	0,114	0,1	0,104	0,039	0,595	15,2	11,90	4,55	33,6	0,312	0,108	15,70	12,7
1,46	7	0,061	0,0	0,550	0,033	0,176	7,39	6,27	3,82	20,1	0,021	0,085	2,65	8,54
1,65	5	0,044	0,0	0,026	0,027	0,102	2,64	2,96	3,12	11,6	2,110	1,410	1,14	3,76
Σ											5,71	10,30	198,00	155,0
Вероятность											0,341	0,07	0	0

Как видно из данных табл. 1, для нормального распределения  $\chi^2 = 5,71$  при вероятности 0,341, что свидетельствует о близости эмпирических данных к нормальному закону.

Таким образом, статистическая оценка подтвердила правильность вывода о подчиненности показателей надежности долот ИСМ истирающе-режущего действия нормальному закону распределения. Значит при прогнозировании надежности и срока службы долот ИСМ истирающе-режущего действия можно использовать нормальный закон.

В таком случае, зная закон распределения, можно определить его параметры – среднюю продолжительность безотказной работы долот и дисперсию, что позволит построить графики, характеризующие закономерности изменения надежности долот, что необходимо для принятия мер по продлению срока службы долот.

Как отмечалось, долота режущего и истирающе-режущего типов наиболее склонны к износу вследствие непрерывного контакта с породой. В этой связи для более эффективного их использования целесообразно установить рациональное время работы долота на забое при разбурировании пород различной абразивности и твердости. Дорогие долота ИСМ и алмазных типов при небольшом износе сохраняют возможность регенерации или реставрации для повторного использования. Однако работа долота сверх установленного времени приводит к его сильному износу, разрушению и выходу из строя. Например, долото ИСМ-267, отработавшее на площади Дуванный–море 830 ч при общей проходке 1277 м по твердым и абразивным породам свиты „перерыва“, катастрофически изнашивалось: центральная часть диаметром около 100 мм полностью разрушилась, промывочные отверстия размылись, диаметр до-

лота уменьшился на 3 мм. Отсюда очень важно установить рациональную продолжительность работы долота на забое при разбуривании пород с определенными физико-механическими свойствами и абразивностью в целях предотвращения разрушения долота.

В большинстве работ по определению рациональной продолжительности пребывания долота на забое предлагается поднимать инструмент по достижении максимальной рейсовой скорости. Разнообразие условий проводки скважин существенно затрудняет оценку времени работы долота на забое с точки зрения достижения максимальной рейсовой скорости, так как уловить соответствующие условия непосредственно на буровой в короткий промежуток времени очень трудно. Поэтому важно прогнозировать время работы долота в конкретных условиях с учётом отличительных особенностей работы долот ИСМ истирающе-режущего действия.

Сущность прогнозирования в указанном случае сводится к следующему. На основании данных о работе долот при одинаковых способах, режимах и интервалах строится кривая их распределения. Далее, исходя из заданной вероятности безотказной работы долота, определяется время, по достижении которого производится подъем инструмента. Как показал анализ законов распределения, приведённый выше, износные явления, в результате которых долота выходят из строя, хорошо описываются нормальным законом распределения. Таким образом, выбрав нормальное распределение в качестве аппроксимации явления износа долот, можно определить время, когда долото следует поднять и заменить. Для этого берется большая выборка данных о выходе долот из строя, из которых отбрасываются случаи преждевременного выхода, и строится кривая плотности износных нарушений (отказов).

Вероятность безотказной работы долота при разбуривании какой-либо породы с определенными физико-механическими свойствами равна [5]:

$$q(t) = 0.5 - \Phi(z), \quad (1)$$

где  $\Phi(z)$  – интеграл вероятностей, который находится из соответствующих таблиц [6];

$z = \frac{t - M_t}{\sigma_t}$  – центрированная и нормированная случайная величина

( $t$  – время работы долота;  $M_t$  – математическое ожидание времени работы долота на забое, ч;  $\sigma_t$  – среднеквадратичное отклонение случайной величины – времени работы долота – от своего математического ожидания).

Зная вероятность нормальной работы долота, можно определить интенсивность изнашивания долота, или, как принято говорить, интенсивность износного отказа долота [5]:

$$\lambda = \frac{\varphi(t)}{q(t)} \quad (2)$$

где  $\varphi(t)$  – табулированная стандартизованная функция плотности отказов.

Для установления продолжительности работы долота на забое проанализировали большой материал об отработке долот типа ИСМ-267 в породах с различными свойствами при почти одинаковых режимных параметрах. При этом использовали данные турбинного бурения скважин на площадях Сангачалы–Дуванный–море. Частично этот материал приведен в табл. 2, которая представляет собой выборку из общей информации для сураханской, сабунчинской свит, сложенных глинисто-алевролитовыми породами с прослойками песка твердостью  $p_{ш} = 800–1200$  МПа при осевой нагрузке на долото 60–80 кН.

С помощью данных табл. 2 значения продолжительности работы долота разделили на статистические интервалы, определили средние значения интервалов, частоту, частость и сформировали табл. 3, данные которой позволили вывести статистическую кривую распределения для сравнения с теоретической.

Время подъема инструмента выбрали так, чтобы вероятность нормальной работы долота была не ниже допустимой. Данные исследований свидетельствуют о том, что вероятность безотказной работы составляет 0,6–0,99. В данном случае среднее значение равно 0,8. На рисунке это значение попадает в участок кривой bc, соответствующий периоду постепен-

ного изнашивания. Для определения времени подъема инструмента достаточно проделать обратную процедуру: найти  $t$  из условия  $q(t) \geq 0,8$  и получить  $z \geq 0,85$ .

Таблица 2. Фактические данные о продолжительности работы долот.

Номер долота	Номер скважина	Интервал бурения, м		Продолжительность работы долота, ч
12841	321	2344	2851	240,5
12839	347	2577	2901	254,25
10555	312	2388	2731	247
14 84	178	2150	2914	372,5
12844	300	2392	3400	–
12844	166	2005	2100	701,25
13052	479	2477	3255	676,75
13042	312	2243	2388	–
13042	312	2731	3000	321,25
13058	248	3071	3685	–
13058	403	1961	2526	877,25
11352	248	2152	2799	–
11352	248	2816	3071	550
11691	200	1945	2891	980
“	“	2049	2550	–
16753	381	2110	2650	1103
16753	343	2650	3265	–
16116	376	2017	3649	792

Таблица 3. Данные распределения значений продолжительности работы долот.

$\Delta t_1^*$ , ч		Среднее значение $\Delta t_1$	Частота $n_1$	Накопленная частота $n_\Sigma$	$\frac{n_1}{N}$	$\frac{n_\Sigma}{N}$
237	401	319	3	3	0,12	0,12
401	565	483	3	6	0,12	0,24
365	729	647	8	14	0,32	0,56
729	893	811	5	19	0,20	0,76
893	1057	975	4	23	0,12	0,92
1057	1121	1039	2	25	0,08	1,00

Примечание:  $M_t=667$ ;  $\sigma_t=94,8$  ч.

Например, для пород сабунчинской и балаханской свит  $t \leq 590$  ч.

Таким образом, при таких условиях через 590 ч работы инструмента следует поднять. Точно также получаем, что при разрушении пород свиты “перерыва” (площадь Сангачалы–Дуванный) долото должно работать не более 360 ч. Безусловно, рациональная продолжительность работы долота на забое зависит от механических свойств, абразивности горных пород, способа и режимных параметров бурения. Следует отметить, что изложенное относится к поро-

дам одинаковой буримости. В то же время очень часто одним долотом приходится разрушать породы, относящиеся к разным пачкам по буримости. В таком случае рациональную продолжительность работы долота на забое можно установить следующим образом. Предположим, долото должно работать в двух разных по буримости интервалах. Причем, в породах балаханской свиты рациональная продолжительность работы 590 ч, в свите „перерыва” – 360 ч.

Предположим, в балаханской свите долото проработало 450 ч, если бы долото должно было работать в этих же условиях, оставшаяся продолжительность работы составила бы 140 ч, в свите „перерыва” – около 90 ч.

В общем случае рациональная продолжительность работы долота в интервалах, сложенных двумя типами разных по буримости горных пород, определяется следующим образом. Продолжительность работы в  $(i + 1)$ -м интервале  $(t_{i+1})$ , эквивалентная продолжительность работы в  $i$ -м интервале  $(t_i)$

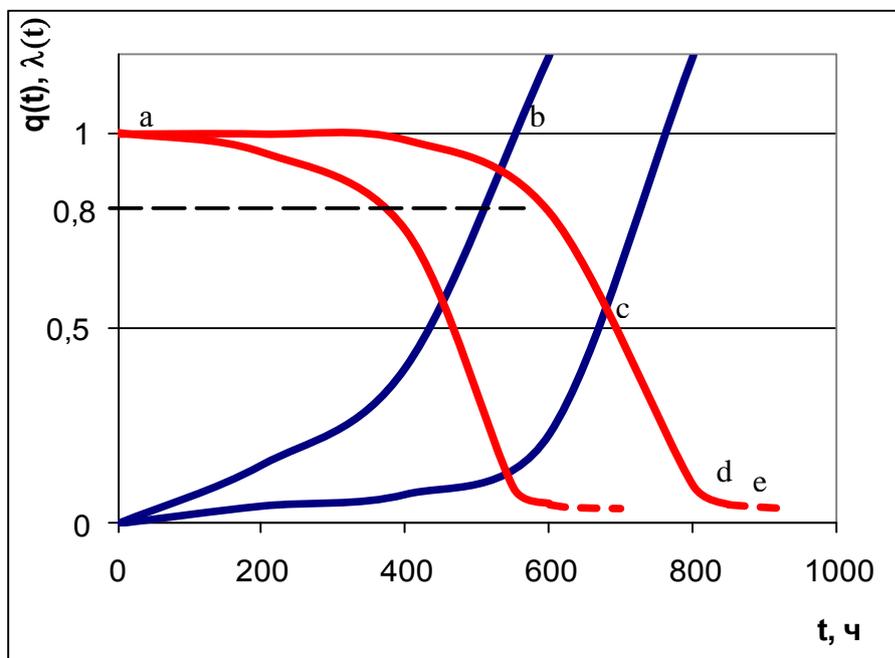
$$t_{i+1} = M_{t_{i+1}} - z[q(t_i)]\sigma_{t_{i+1}} \quad (3)$$

По параметрам распределения – математическому ожиданию продолжительности работы долота на забое и среднеквадратичному отклонению – построили теоретические кривые изменения вероятности безотказной работы долота и интенсивности отказов во времени (см. рисунок). Как видим из рисунка, на этих кривых отчетливо выделяются три участка: первый  $(ab)$  – период нормальной работы, когда долото не изношено; второй  $(bc)$  – период постепенного изнашивания долота; третий  $(cd,de)$  – период наиболее интенсивного износа и выхода долота из строя

Рациональная продолжительность работы долота в  $(i + 1)$ -м интервале

$$t_{i+1}^{рац} = t_{i+1}^{рац} - t_{i+1} = t_{i+1}^{рац} - M_{t_{i+1}} + z\sigma_{t_{i+1}} \quad (4)$$

где  $t_{i+1}^{рац}$  – рациональная продолжительность прерывания работы долота на забое при условии, что оно работает лишь в  $t(i + 1)$ -м интервале.



*Изменение вероятности безотказной работы и интенсивности отказов долот, отработанных в двух различных условиях, во времени.*

Таким образом, проведенный анализ позволяет обосновать время подъема инструмента (конечно, при отсутствии других причин для преждевременного подъема), а также судить о сроке службы долота при разрушении пород с различными физико-механическими свойствами.

### Выводы

1. Выполнен сравнительный статистический анализ законов распределения времени безотказной работы долот ИСМ и показана подчиненность нормальному закону в однородных рассматриваемых условиях.
2. Предложен методический подход, позволяющий с помощью показателей надежности долот прогнозировать продолжительность их безотказной работы как в однородных, так и неоднородных по свойствам горных пород условиях.

### Литература

1. Абрамсон М. Г., Позднякова Л. А. Исследование закона распределения показателей надежности шарошечных долот серии ГН. –М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, РНТС «Бурение», 1983, –вып. 1.–с. 5-7.
2. Эфендиев Г. М., Джафарова Н. М., Кулиев В. Т. Оценка надежности долот ИСМ по статистической информации. // НТС ВНИИОЭНГ, сер. «Нефтегазовая геология, геофизика и бурение».–М.,1985. –вып. 6. –с. 36-38.
3. Эфендиев Г. М. О характере изнашивания долот ИСМ и математической модели их надежности. // В кн.: Разрушение горных пород при бурении скважин. –Уфа, 1982. –т. II, –с. 55-58.
4. Технично-экономическая эффективность бурения скважин долотами, армированными сверхтвердым материалом на площадях Азербайджана. / Садыхов Ю. В., Дадашев Н. Г., Рыскин Е. П., Керимов Н. Г. // ОИ АЗИНТИ, сер. «Нефтедобывающая промышленность». –Баку, 1976.
5. Базовский И. Надежность. Теория и практика. –М.: Мир, 1965.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. –М., 1962..

Поступила 09.06.10

УДК 622.245.23

**Р.В. Рачкевич<sup>1</sup>, А.А. Козлов<sup>2</sup>; В.М. Сенчішак<sup>1</sup>; Т.Ф. Тутко<sup>1</sup>**, кандидати технічних наук,  
**В.В. Гриців<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна  
<sup>2</sup>ДАТ «Чорноморнафтогаз», м. Сімферополь, Україна

### ВЗАЄМОДІЯ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ЗІ СТІНКАМИ СВЕРДЛОВИНИ В МІСЦЯХ УТВОРЕННЯ ЖОЛОБІВ ТА КАВЕРН

*We consider stress-deformed state borehole of well on the walls wich is a gutter or cavity. Used model sufficient beams on the four pillars wich loaded both radial and axial efforts. The conclusions about the need this calculation in practice.*

На практиці, форма стовбура свердловин значно відрізняється від циліндричної. У наслідок притискання бурильної колони до стінок свердловини, осипання та вимивання буровим розчином більш м'яких порід утворюються жолоби та каверни. Процес утворення останніх детально описано в [1 – 3].

Слід зазначити, що жолоби та каверни істотно ускладнюють умови роботи бурильної колони, яка під їх впливом зазнає поперечних деформацій навіть у прямолінійному стовбурі свердловини (рис. 1).