

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА ОПОР ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ

Р.М. Богомолов¹, В.В. Ремнев¹, Н.В. Носов², Н.И. Дедов²

¹ ОАО «Волгабурмаш»,
443004, г. Самара, ул. Грозненская, 1

² Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Исследуются математические модели определения ресурса опор шарошечных долот при разных условиях и режимах бурения. По результатам проведенных исследований предложена математическая модель определения ресурса опор, учитывающая реальные условия и режимы бурения.

Ключевые слова: долото, опора, ресурс, алгоритм, частота, бурение, режим, осевая нагрузка.

Высокая стоимость буровых работ требует снижения степени риска возникновения аварийных ситуаций, что влечет повышенные требования к выбору конструкций долот и оценке их надежности.

Для рационального выбора потребителем долот для конкретных условий у различных фирм-изготовителей в настоящее время широко применяется обобщенная характеристика – *TBR* (Total Bearing Resource – общий ресурс опоры), применяемая для сравнения уровня работоспособности однотипных долот в тысячах оборотов долота до отказа (*KRevs*) в условиях бурения. Эта характеристика используется как основной показатель долот для участия в тендерах на поставку их потребителю.

Отсутствие отечественной методики оценки *TBR* являлось долгое время серьезным тормозом для заключения договоров на поставку долот зарубежному потребителю из-за невозможности корректного сравнения показателей надежности долот ОАО «Волгабурмаш» и долот конкурирующих фирм, поскольку отработка их проводилась при разных условиях и режимах бурения.

По имеющимся материалам зарубежных производителей долот невозможно получить однозначную характеристику *TBR* для конкретных условий эксплуатации долот. Поэтому для более точной оценки *TBR* потребовались специальные предварительные исследования, позволяющие однозначно учесть различные факторы для оценки этого показателя.

Анализ математических моделей отечественных авторов для оценки ресурса опор буровых долот показал, что большинство из них [1-4] предлагает близкие друг к другу эмпирические модели вида (1), связывающие стойкость долота с осевой нагрузкой и частотой вращения:

$$T = \frac{A}{P_d^y n^x}, \quad (1)$$

где T – стойкость долота;

Родион Михайлович Богомолов – д.т.н., профессор.

Валерий Васильевич Ремнев – к.т.н.

Николай Васильевич Носов – д.т.н., профессор.

Николай Иванович Дедов – профессор кафедры «Механика», к.т.н., доцент.

A – параметр, зависящий от диаметра долота, свойств промывочного раствора и механических свойств горной породы;

x и y – экспериментальные показатели, зависящие от конкретных условий бурения;

P_o – осевая нагрузка на долото;

n – частота вращения долота.

Оценка параметров x , y и A выполняется методом наименьших квадратов на основе промысловых данных.

Недостатком такой модели является необходимость оценки нескольких коэффициентов, зависящих от множества факторов, определяемых только в бурении, что создает неудобства для ее практического применения.

В этой модели также отсутствует непосредственный учет влияния на показатель надежности свойств породы, условий промывки, глубины бурения и ряда других важных факторов.

Как правило, модели типа (1) приводятся без конкретной методики их применения, без указания размерностей входящих в них параметров.

Анализ модели (1) на примере результатов полевых испытаний долот показал значительное среднее расхождение между расчетными и фактическими значениями стойкости.

Все это ограничивает использование указанной модели для практических целей.

Другой тип моделей, описанный в работе [5], предложен американскими учеными Галле Е.М., Вудсом Х.Б. и Лубинским А.

$$\frac{dP}{dT} = \frac{1}{S_f} \cdot \frac{n}{L} \quad (2)$$

где P – износ опоры;

S_f – коэффициент, определяемый по фактическим данным предыдущего долбления с целью выдачи прогноза по следующему долблению;

L – функция нагрузки, зависящая от нескольких коэффициентов.

Достоинство модели – учет износа предыдущего долота при оценке долговечности опоры следующего. Недостатком этой модели, как и предыдущей, является отсутствие рекомендаций по выбору коэффициентов в зависимости от условий бурения и типа опоры.

Наиболее развитая и пригодная для практических расчетов ресурса долота модель предложена в работе американских авторов Боржоне А.Т., Милхейма К.К. и др. [6]:

$$\frac{db}{dt} = \frac{1}{\tau_B} \left(\frac{N}{60} \right)^{B_1} \left(\frac{W}{4d_B} \right)^{B_2}, \quad (3)$$

где b – степень износа опоры в относительных единицах (при полностью изношенной опоре $b = 1$, при новой опоре $b = 0$); t – время, час; N – частота вращения долота, об/мин; W – нагрузка на долото, тыс. фунт-сила; d_B – диаметр долота, дюйм;

B_1, B_2 – показатели степени износа опоры; τ_B – константа опоры, час.

Эта модель уже учитывает влияние на величину износа опоры частоты вращения долота, осевой нагрузки и диаметра долота. В ней также указаны размерности всех входящих величин. Кроме того, в работе [6] даны рекомендации по выбору параметров B_1 и B_2 модели, а также по расчету константы опоры τ_B .

Исходя из этого последняя модель (3) как наиболее универсальная была взята за основу при разработке новой методики оценки ресурса опор шарошечных долот.

По результатам проведенных исследований предложена следующая модель для оценки влияния параметров бурения на показатели надежности шарошечных долот, позволяющая выполнять расчет показателя TBR для заданных потребителем условий и режимов бурения на основе его значения TBR_0 для фактических условий и режимов уже отработанных долот, представленных в сводке по результатам бурения:

$$TBR = TBR_0 k(N) k\left(\frac{W}{d_B}\right) k(Q) k(b), \quad (4)$$

где $TBR_0 = \frac{TN \cdot 60}{1000}$, тыс. оборотов ($KRevs$) – показатель надежности, полученный для фактических условий бурения отработанных долот;

$k(N)$ – коэффициент, учитывающий отклонение фактической частоты вращения долота N от заданной потребителем;

$k\left(\frac{W}{d_B}\right)$ – коэффициент, учитывающий отклонение фактической нагрузки W (тыс. фунт-сила) от заданной и диаметр долота d_B ;

$k(Q)$ – коэффициент, учитывающий влияние расхода промывочной жидкости на стойкость долота;

$k(b)$ – коэффициент износа, учитывающий относительный износ опоры долота, поднятого с забоя, и физико-механические свойства породы (абразивность, прочность, буримость).

Для расчета коэффициентов $k(N)$, $k\left(\frac{W}{d_B}\right)$ и $k(b)$ используется модель износа

$$k(N) = \left(\frac{N}{N_0}\right)^{B_1 - 1}, \quad (5)$$

где N_0 – заданное значение частоты вращения долота, об/мин, к которому приводится результат расчета;

N – фактическое значение частоты вращения, об/мин;

$B_1 = 1.6$, $B_2 = 1$ для герметизированных опор скольжения.

Рекомендуемые значения показателей степени B_1 и B_2 для различных типов опор приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения показателей степени B_1 и B_2

Тип опоры	Тип бурового раствора	B_1	B_2
Негерметизированная	На основе барита	1,0	1,0
	На основе сульфида	1,0	1,0
	Вода	1,0	1,2
	Глинистый	1,0	1,5
	На нефтяной основе	1,0	2,0
Герметизированная опора качения	–	0,7	0,85
Герметизированная опора скольжения	–	1,6	1,0

$$k\left(\frac{W}{d_b}\right) = \left(\frac{W d_{B0}}{W_0 d_B}\right), \quad (6)$$

где W_0 – заданное значение нагрузки, d_{B0} – заданное значение диаметра долота.

$$k(b) = 1/b, \quad (7)$$

где b – степень износа опоры в относительных единицах (в расчетах учитываются долота с величиной износа b от 0,125 до 1).

Используя для роторного бурения данные по стойкости долот от расхода Q [2], приведенные в табл. 2, методом наименьших квадратов получим аппроксимирующую зависимость

$$k(Q) = -0,0004Q^2 + 0,0377Q + 0,1979. \quad (8)$$

Таблица 2

Зависимость стойкости долот от расхода?

Q , л/сек	16	25	36	45	48
T , час	7,0	9,0	9,8	10,2	10,2
$k(Q)$	0,68	0,88	0,96	1	1

С помощью уравнения (4) фактическое значение TBR_0 пересчитывается в значение TBR , соответствующее значениям этих параметров, заданных потребителем.

На основе уравнений (3-8) разработан алгоритм для оценки ресурса опор шарошечных долот (рис. 1).

В табл. 3 приведены некоторые результаты по обработке долот 215,9AUL1-LSP43ZP-R820 в Западно-Сибирском регионе (Ханты-Мансийский национальный округ), необходимые для оценки вероятности ресурса долот в диапазоне от 0.2 до 0.8.

Таблица 3

Параметры бурения долотом 215,9AUL1-LSP43ZP- R820

№ п/п	Нагрузка на долото, т	Частота, об/мин	Расход раствора, л/с	Интервал бурения, м	Стойкость, час	Скорость, м/час	TBR , тыс. об.
1	15	150	32	733-1891	38	38,09	342,00
2	12	200	32	1330-2100	33	23,33	396,00
3	12	200	32	1593-2288	30	22,71	422,28
4	12	200	32	2964-3392	40,8	49	489,60
5	12	140-200	32	1256-2548	50	24,29	511,53

Расчеты TBR проводились как для реальных условий бурения ($N=280$ об/мин и $W=15$ т), так и для стандартных ($N=60$ об/мин и $W=10$ т).

Сначала вычислялись значения TBR_0 для фактических величин нагрузки и оборотов. Затем определялись коэффициенты $k(N)$ и $k(W)$ соответственно по формулам (5) и (6).



Р и с . 1. Блок-схема анализа общего ресурса опоры долота по предлагаемой методике

По формуле (4) определялись значения TBR для приведенных данных. Коэффициент $k(b)$ принят равным 1 в предположении, что долото доработано до отказа опоры, а коэффициент $k(Q)$ – согласно (8). Для построения кривой вероятности безотказной работы полученные значения TBR были отсортированы по возрастанию, а затем определен процент долот, TBR которых достиг значений максимума.

Результаты расчета для $N=280$ об/мин и $W=15$ т приведены в табл. 4.

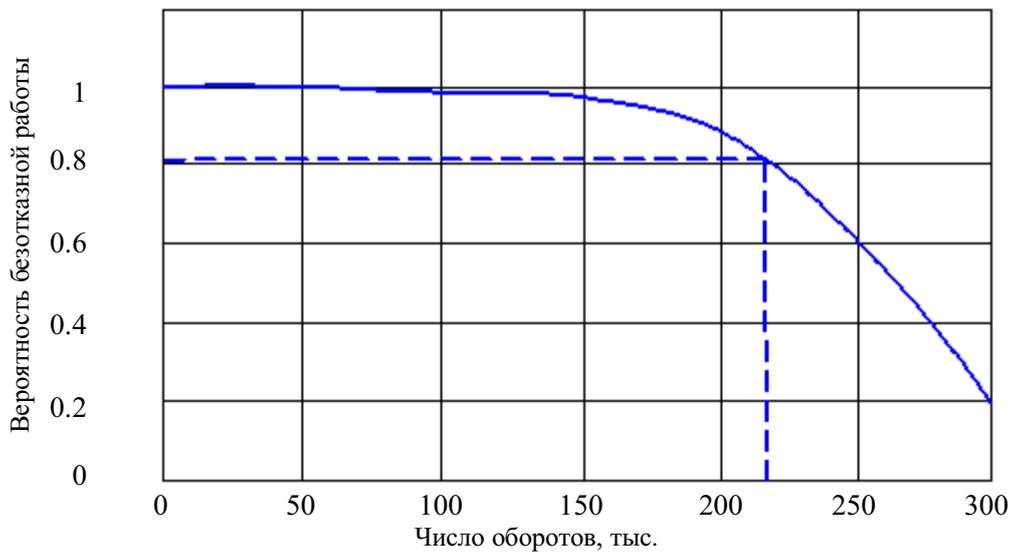
Например, величины 50 $KRevs$ (50 000 оборотов) достигли 100% долот, а величины 250 $KRevs$ – 60% долот.

По этим данным построена зависимость вероятности безотказной работы долот 215,9AUL1-LSP43ZP-R820 от числа их оборотов (рис. 2).

Таблица 4

Приведение TBR к $N=280$ об/мин и $W=15$ т

N , об/мин	W , т	TBR_0	$k(N)$	$K(W)$	TBR , тыс. об.
150	15	342	0,69	1	236
200	12	396	0,82	0,75	243,5
200	12	422	0,82	0,75	259,5
200	12	489	0,82	0,75	300,7
170	12	511,5	0,74	0,75	283,9

Рис. 2. Зависимость вероятности безотказной работы долат 215,9AUL1-LSP43ZP-R820 от числа их оборотов для $N=280$ об/мин и $W=15$ т

Как правило, помимо графика характеристикой безотказной работы долат служит значение TBR , соответствующее 80% долат.

Аналогичная процедура выполнялась для приведения TBR к $N=60$ об/мин и $W=10$ т. Результаты приведены в табл. 5 и на рис. 3.

Таблица 5

Приведение TBR к $N=60$ об/мин и $W=10$ т

N , об/мин	W , т	TBR_0	$k(N)$	$k(W)$	TBR
150	15	342	1,73	1,5	887,5
200	12	396	2,06	1,2	978,9
200	12	422	2,06	1,2	1043,1
200	12	489	2,06	1,2	1208,8
170	12	511,5	1,87	1,2	1147,8

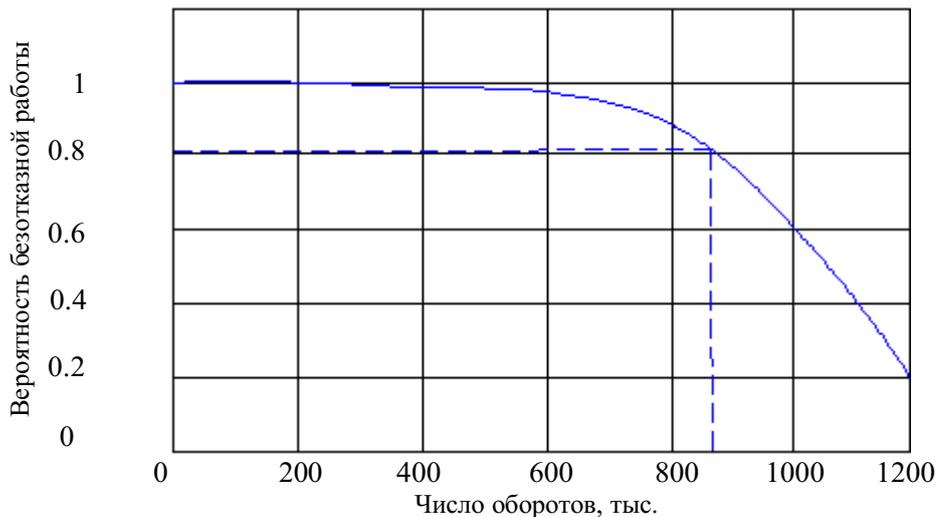


Рис. 3. Зависимость вероятности безотказной работы долот 215,9AUL1-LSP43ZP-R820 от числа их оборотов для стандартного режима ($N=60$ об/мин и $W=10$ т)

Из сопоставления рис. 2 и рис. 3 следует, насколько велико влияние осевой нагрузки и частоты вращения долота на ресурс его опоры. Следовательно, при сравнении надежности опор разных типоразмеров долот необходимо приводить значение *TBR* к одинаковым режимам бурения, что позволяет сделать разработанная методика.

Таким образом, в результате исследований работ отечественных и зарубежных источников по оценке ресурса опор шарошечных долот разработана методика расчета ресурса и оптимальности применения долота в условиях эксплуатации, позволяющая учесть такие основные регистрируемые параметры, как частота вращения, осевая нагрузка, расход бурового раствора и величина относительного износа опор отработанных долот.

Применение разработанной методики дает возможность:

- 1) оценивать ожидаемые показатели и конкурентоспособность вновь разработанных и серийных шарошечных долот на внутреннем и внешнем рынках и аргументированно представлять потребителю их показатели при рассмотрении тендерных условий и заключении контрактов на поставку долот;
- 2) при возникновении претензий со стороны потребителя к недостаточно высоким показателям долот объективно объяснять их причины, связанные не с заводскими нарушениями требований ТУ и чертежей, а с нарушениями геолого-технических условий применения и режимов бурения;
- 3) конструкторам – не проводя длительных и дорогостоящих полевых испытаний, оценивать работоспособность и прогнозировать показатели работы долот для различных районов при различных условиях на основе полученных данных по одному или более районам бурения и тем самым сократить затраты времени и денежных средств на испытания;
- 4) достичь более высоких значений показателя надежности *TBR* долот ОАО «Волгабурмаш» по отношению к долотам зарубежных производителей за счет оптимизации их выбора.

ВИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Потанов Ю.Ф., Матвеева А.М., Маханько В.Д. и др.* Проектирование режимов турбинного бурения. – М.: Недра, 1974. – С. 103-106.
2. *Федоров В.С.* Проектирование режимов бурения. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – С. 62.
3. *Чефранов К.А.* Регулирование процесса бурения. – М.: Недра, 1972. – С. 37-38.
4. *Орлов А.В., Копылов А.С., Рудаковский И.Е. и др.* Выбор эффективной технологии проводки глубоких скважин. – М.: ВНИИОЭНГ, 1974.
5. *Белоруссов В.О.* Прогнозирование результатов бурения (обзор). – М.: ВНИИОЭНГ, 1976.
6. *A.T. Bourgoyne Jr., K.K. Millheim, M.E. Chenevert, F.S. Young, Jr.* Applied Drilling Engineering. SPE, V.2, 1986.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2010 г.

UDC 622.23.05

RESEARCH OF THE RESOURCE OF SUPPORTS CONE BITS

R.M. Bogomolov¹, V.V. Remnev¹, N.V. Nosov², N.I. Dedov²

¹ Open Societies «Volgaburmash»
1, Grozny st., Samara, 443004

² Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The mathematical models for determining the resource of support cone bits are investigated under different conditions and drilling modes are investigated. Based on the results of the research a mathematical model for defining the resource supports, considering real conditions and modes of drilling is offered.

Keywords: *bit, support, resource, algorithm, frequency, drilling, mode, an axial load.*

R.M. Bogomolov – Doctor of Technical Sciences, Professor.

V.V. Remnev – Candidate of Technical Sciences.

N.V. Nosov – Doctor of Technical Sciences, Professor.

N.I. Dedov – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.