

ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 622.24 : 519.2

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ВЕЙБУЛЛА ДЛЯ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ТРЕХШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

С. Пракаш, А. К. Мухопадхьяй

*Department of Mining Machinery Engineering,
Indian Institute of Technology (Indian School of Mines),
E-mail: prakash86satya@gmail.com, г. Дханбад, Индия*

Для практического применения трехшарошечных долот, интенсивно используемых во всем мире при бурении горных пород в процессе отработки полезных ископаемых открытым способом, необходимо разработать корректные режимы описательной статистики для прогноза частоты отказов конструктивных элементов. Исследуются статистические модели бурения с помощью трехшарошечных долот и проводится расчет вероятности их безотказной работы. Взаимозависимость различных компонентов отказов изучается с помощью объемных графиков изолиний. Показано, что частота отказов структурных компонентов долот практически одинакова для 95 % изолиний. Достоверность моделирования отказов наиболее эффективно достигается с помощью комбинированного метода Вейбулла.

Надежность, график 3D-изолиний, матрица рассеяния, коронка, трехшарошечное долото, свойства горных пород

DOI: 10.15372/FTPRPI20180507

Трехшарошечные долота используются для бурения взрывных скважин при открытом способе добычи полезных ископаемых. Коронка состоит из корпуса, выполненного из легированной стали, конических шарошек и подшипников. Геометрия расположения твердосплавных вставок позволяет эффективно разрушать породы [1 – 3]. При бурении горных пород отбраковка бурового долота до окончания заданного срока службы часто возникает из-за различных факторов, таких как эксплуатационные параметры долот, свойства горных пород, параметры механической обработки, мастерство оператора, а также конструктивные особенности бурового инструмента [4 – 7]. Разрушение твердосплавных вставок в процессе бурения может происходить в виде истирания кобальтового связующего и зерен карбид-вольфрама, образования трещин, износа вставок, абразивного износа корпуса, микроскопического выкрашивания, выталкивания зерен карбид-вольфрама, образования задиров и экструзии связующего металла [7 – 10].

Во время бурения разрушение шарошек из-за износа подшипника происходит в основном вследствие ударного взаимодействия между долотом и забоем скважины, отклонения бурильной колонны от заданного направления, чрезмерной нагрузки на коронку, повышенной энергии и частоты вращения [3, 11]. Разрушению подвергаются главным образом два структурных элемента трехшарошечных долот — роликовый подшипник и твердосплавная вставка. Эти детали входят в категорию неподдающихся ремонту элементов. Для вероятностной оценки надежности не подлежащих ремонту элементов часто используются экспоненциальное распределение и распределение Вейбулла [12–14]. При этом применяется один из трех способов оценки надежности: время до разрушения инструмента; подход, основанный на техническом состоянии детали; зависимость прочности от напряжений [15, 16].

Представленные в настоящей работе исследования надежности проведены с целью определить критические и наиболее подверженные износу элементы буровых коронок для наилучшего планирования их технического обслуживания, что позволит увеличить срок службы оборудования, уменьшить затраты на эксплуатацию и производственные потери. Выполнен ряд исследований для оценки срока службы долот в зависимости от технических характеристик и размеров коронок [2, 17–19]. Однако не проведена оценка срока работы и прогнозирования отказов инструмента из-за повышенного разрушения твердосплавных вставок долот и подшипников коронок во время исследований надежности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Данные для анализа времени до разрушения трехшарошечных долот собраны по результатам их работы на одном из крупных карьеров на протяжении трех лет. Свойства горных пород угольного карьера определены по стандартам ISRM [20] и исследованы с использованием программного обеспечения в среде R studio [21]. Установлено, что разрушение чаще всего происходит в двух компонентах трехшарошечных долот: подшипниках и вставках. Разрушение одного из компонентов вызывает преждевременное разрушение всего долота. При этом взаимосвязь этих компонентов может влиять на надежность работы всего бурового инструмента. Анализ надежности данных компонентов и бурового долота определялся с помощью программного обеспечения Reliasoft Weibull⁺⁺ версии 11.0.1. Надежность коронки исследовалась с использованием комбинированного распределения Вейбулла. В случае каких-либо сомнений обращались к специалистам из числа персонала данного карьера за консультацией. Данные взяты из рабочих журналов карьера, которые представлены в табл. 1. В бурении использованы разнообразные шарошки. Основными их компонентами являются корпус, шарошечный конус, подшипники и вставки из цементированного карбида (рис. 1).



Рис. 1. Трехшарошечное долото

ТАБЛИЦА 1. Разрушение коронок

Номер коронки	Время до разрушения, ч	Вид отказа	Номер коронки	Время до разрушения, ч	Вид отказа
1	90	Вставка	1	180	Подшипник
2	106	Вставка	2	191	Подшипник
3	115	Вставка	3	202	Подшипник
4	144	Вставка	4	234	Подшипник
5	146	Вставка	5	235	Подшипник
6	154	Вставка	6	121	Подшипник
7	161	Вставка	7	244	Подшипник
8	116	Вставка	8	140	Подшипник
9	124	Вставка	9	150	Подшипник
10	182	Вставка	10	296	Подшипник
11	187	Вставка	11	310	Подшипник
12	132	Вставка	12	162	Подшипник
13	141	Вставка	13	163	Подшипник
14	232	Вставка	14	338	Подшипник
15	245	Вставка	15	346	Подшипник
16	252	Вставка	16	376	Подшипник
17	263	Вставка	17	175	Подшипник
18	189	Вставка	18	214	Подшипник
19	194	Вставка	19	228	Подшипник
20	196	Вставка	20	249	Подшипник
21	211	Вставка	21	283	Подшипник
22	217	Вставка	22	290	Подшипник
23	227	Вставка	23	293	Подшипник
24	285	Вставка	24	295	Подшипник
25	296	Вставка	25	182	Подшипник
26	304	Вставка	26	313	Подшипник
27	335	Вставка	27	193	Подшипник
28	352	Вставка	28	185	Подшипник
29	165	Вставка	29	314	Подшипник
30	201	Вставка	30	195	Подшипник
31	125	Вставка	31	199	Подшипник
32	204	Вставка	32	317	Подшипник
33	311	Вставка			
34	319	Вставка			
35	129	Вставка			

Буровое долото предназначено для бурения абразивных вскрышных пород угля и пластов средней и высокой крепости. Частые разрушения подшипников и шарошек являются основными причинами, по которым долото не выдерживает гарантийного срока службы. Шарошки установлены на подшипниках и вращаются независимо во время бурения. Исследовались фрезерный зуб и карбид-вольфрамовая вставка [2, 4]. Диаметр шарошек варьировал от 152 до 311 мм. Технические характеристики трехшарошечного долота приведены в табл.2.

ТАБЛИЦА 2. Технические характеристики трехшарошечного долота

Размер коронки	Рабочие параметры			Данные проектирования (IADC 622)			
	Нагрузка на долото	Частота вращения	Порода	API P в соединении	Тип подшипника	Количество рядов	Зубец/вставка
6.1/4"	3000–6000	65–90	Средняя – крепкая	3.1/2" постоянное	Воздушный	Всего 11 Внутренние 8 Внешние 3	Всего 101 Внутренние 64 Внешние 37

На рис. 2 показаны два типа отказа бурового долота, наблюдаемого на угольных шахтах. Новая система балансировки бурового долота Международной ассоциации буровых установок (IADC) характеризует следующие два типа отказа: выход из строя шарошки из-за повреждения подшипника и износ твердосплавной вставки [11].



Рис. 2. Типы отказа бурового долота

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ И НАБЛЮДЕНИЯ

По своей природе породы неоднородны, и их свойства варьируются в массиве. Требуется оценить свойства материала породы, чтобы прогнозировать механизмы отказов, влияющие на срок службы бурового долота в угольных шахтах. Породные пласты массива, вмещающего крупный карьер, состоят из песчаника, сланца и сланцеватой глины. В данном исследовании физико-механические свойства песчаника оценивали в соответствии со стандартами Международного общества горных механиков (ISRM) [20]. В каждой серии экспериментов испытывали по 25 образцов, изготовленных из 20 породных блоков, отобранных в 5 разных местах в соответствии со стандартом ISRM. Образцы показаны на рис. 3. Краткое описание набора данных, который исследуется в серии лабораторных испытаний на образцах песчаника, приведено в табл. 3 (G — плотность сухого вещества, P — пористость, $СН$ — твердость по шкале Cerchar, BTS — предел прочности на растяжение по бразильскому методу, UCS — предел прочности на одноосное сжатие, V_p — скорость звука, E — модуль Юнга).



Рис. 3. Подготовленные горные образцы согласно стандартам ISRM

ТАБЛИЦА 3. Данные лабораторных испытаний образцов песчаника

Полученное значение	G , кН/м ³	P , %	СНП	BTS	V_p , км/с	UCS, Н/мм ²	E
Минимум	21.27	1.230	15.70	5.120	3.260	25.63	4.390
1 Qu.	21.64	1.570	25.50	6.200	4.020	49.54	6.620
Среднее	22.41	2.430	27.30	8.740	4.200	60.92	9.470
Mean	22.39	2.726	28.11	8.417	4.297	57.70	8.833
3 Qu.	22.75	3.350	33.40	10.320	4.780	68.74	10.840
Максимальное	23.71	5.230	37.30	11.210	5.020	81.25	11.210
Допустимое отклонение	0.71317	1.26589	6.29318	2.17260	0.50602	17.32786	2.43595

В процессах бурения горных пород прочность на одноосное сжатие является важной характеристикой, в зависимости от которой проводится выбор бурового долота [22]. Значения прочности на одноосное сжатие разнятся в объеме массива горных пород, что приводит к возникновению различных механизмов разрушения долот. Важно понимать поведение прочности на одноосное сжатие пород в зависимости от других ее свойств, таких как плотность сухого вещества, пористость, показатель твердости по шкале Serchar, предел прочности на растяжение по бразильскому методу, скорость звука и модуль Юнга. Для исследования корреляционных свойств породы построена матрица рассеяния (рис. 4).

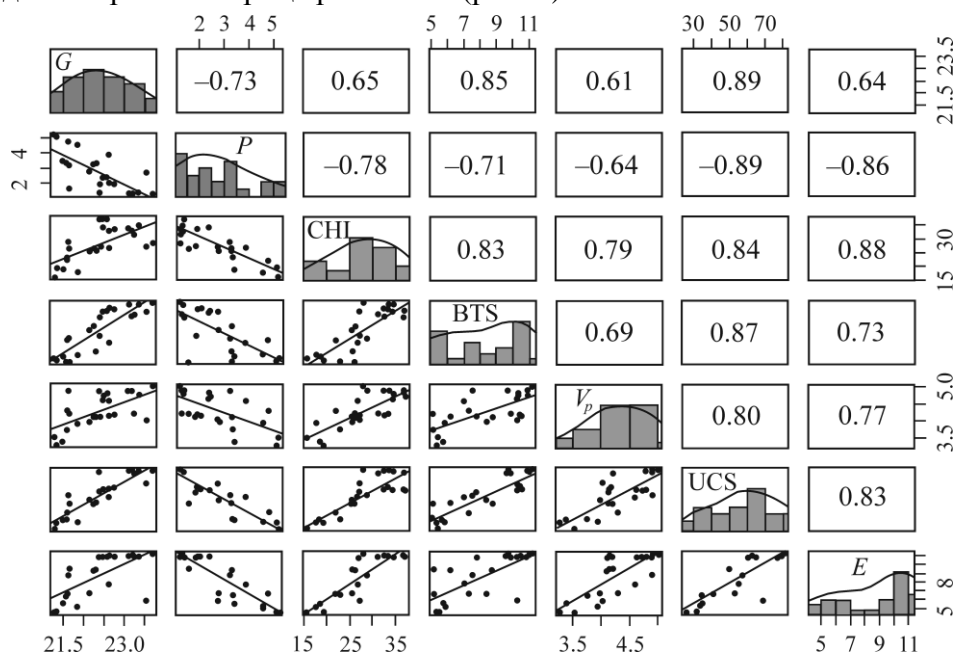


Рис. 4. Матрица рассеяния

Матрица рассеяния показывает, что указанные свойства породы тесно взаимосвязаны. Справа сверху над диагональю на матрице рассеяния приведены коэффициенты корреляции переменных. Коэффициент корреляции для сухой плотности и прочности на одноосное сжатие равен 0.89. Пористость оказывается отрицательно коррелированной по отношению к другим переменным. Слева под диагональю матрицы рассеяния показаны линии регрессии для каждой переменной по отношению к другим переменным. По диагонали матрицы рассеяния приводятся графики плотности и гистограммы для каждой переменной. Из рис. 4 видно, что свойства вмещающей горной породы для крупного карьера каменного угля коррелируют между собой и оказывают существенное влияние на срок службы бурового долота.

ПОЛНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ОТКАЗОВ

Сравнительный анализ механизмов разрушения. Данные о времени наработки на отказ трехшарошечных долот приведены в табл. 1. Анализ надежности инструмента по двум основным компонентам выполнен с помощью программного обеспечения ReliasoftWeibull++ версии 11.0.1. Данные о сбоях каждого из рассматриваемых компонентов исследованы отдельно. Наилучшим распределением для отказа считается распределение с наибольшим значением правдоподобия [22]. В представленной работе выбрано трехпараметрическое распределение Вейбулла как наиболее подходящее для обоих механизмов разрушения, поскольку значение правдоподобия, определенное для трехпараметрического распределения Вейбулла, является самым большим по сравнению с другими распределениями [23].

Функция плотности трехпараметрического распределения Вейбулла имеет вид

$$f(t; \beta, \eta, \gamma) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta},$$

где $t \geq \gamma$ и $f(t; \beta, \eta, \gamma) = 0$ при $t < \gamma$; $-\infty < \gamma < \infty$; $\beta > 0$ — коэффициент формы; $\eta > 0$ — коэффициент масштаба; γ — коэффициент сдвига распределения.

Коэффициент формы β (модуль Вейбулла) определяет интенсивность разрушения. Значениям $\beta < 1$, $\beta = 1$ и $\beta > 1$ соответствуют снижение интенсивности разрушения, постоянная интенсивность и повышение интенсивности разрушения [24–26]. Масштабный коэффициент η описывает разброс случайной величины по оси времени или процентное количество отказов. Коэффициент сдвига γ указывает место отказа по временной оси. Время от начала работы до расчетного значения γ означает время работы без разрушения. Распределение Вейбулла, надежность $R(t)$ и интенсивность отказов в зависимости от времени представлены на рис. 5.

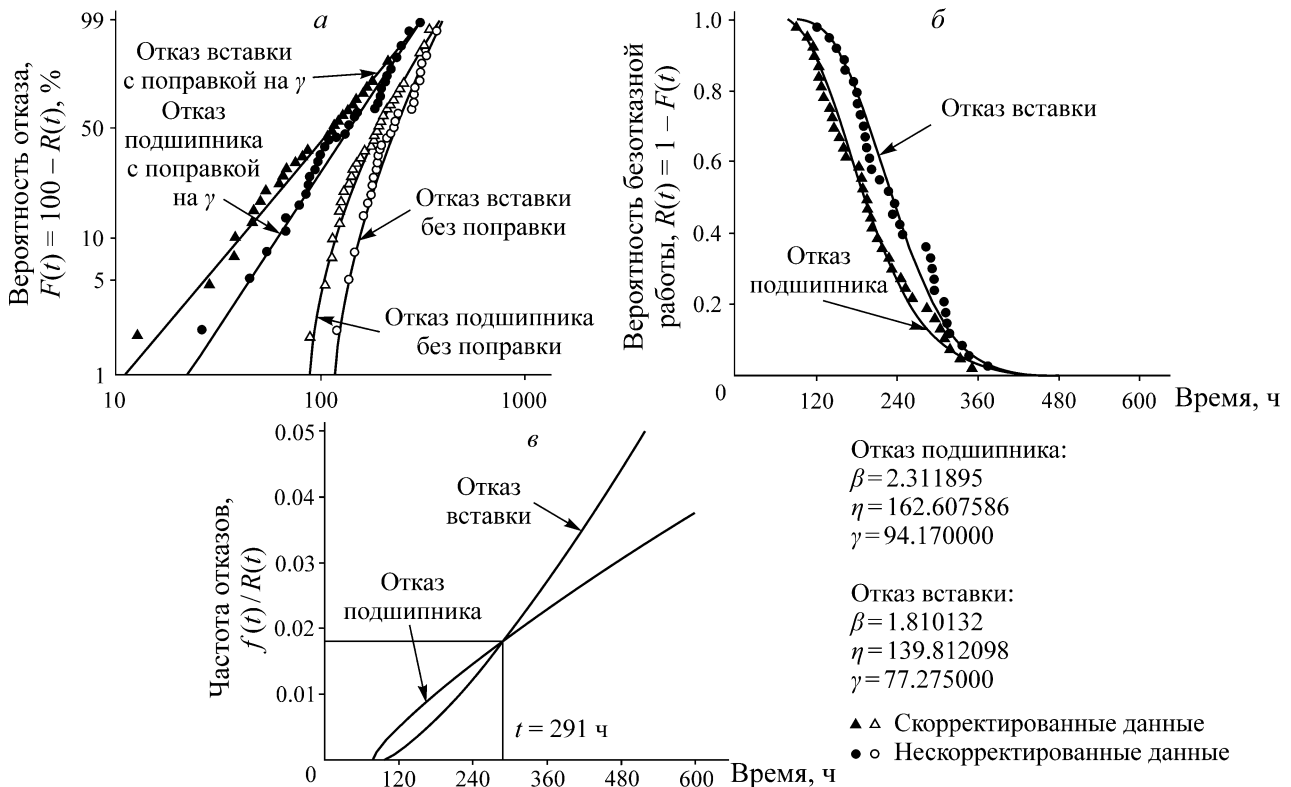


Рис. 5. Распределение Вейбулла для разрушения подшипников и вставок (а), надежность (б) и частота отказов в зависимости от времени (в)

Согласно рис. 5а, для обоих механизмов разрушения значения β находятся в интервале от 1 до 2.6, что означает положительно асимметричную функцию Вейбулла [25, 26]. Отсюда можно сделать вывод, что частота отказов инструмента увеличивается со временем, что также известно как механизм разрушения вследствие износа.

Масштабный коэффициент η также известен как характерный ресурс инструмента. Из рис. 5б следует, что срок службы инструмента (по распределению Вейбулла) составляет для подшипника 162 ч и для вставки 139 ч, что подразумевает время, когда ненадежность равна 63.2% [25, 29]. При этом сдвиг γ дает оценку самого раннего времени отказа. Видно, что самое раннее время отказа подшипника и вставки составляет 94 и 77 ч соответственно. С коэффициентом доверия 95% достоверность отказа подшипника больше по сравнению с отказом вставки. На рис. 5в при коэффициенте доверия, равном 95%, отмечается, что до момента времени $t = 291$ ч частота отказов в час для вставки выше, чем для подшипника. Начиная с $t = 291$ ч частота отказов подшипника возрастает, следовательно надежность подшипников больше, чем вставок.

Независимость данных об отказах. Анализ данных о сроках службы трехшарошечных долот показывает, что отказ подшипника может повлиять на вероятность отказа вставки, и наоборот. Для исследования независимости одного механизма разрушения от другого принято использовать трехмерный график изолиний [12]. Чтобы исследовать независимость механизмов отказов подшипника и вставки относительно друг друга, составлен трехмерный график изолиний (рис. 6). При его анализе для каждого механизма отказа должно быть получено наилучшее соответствие типа распределения [12, 16].

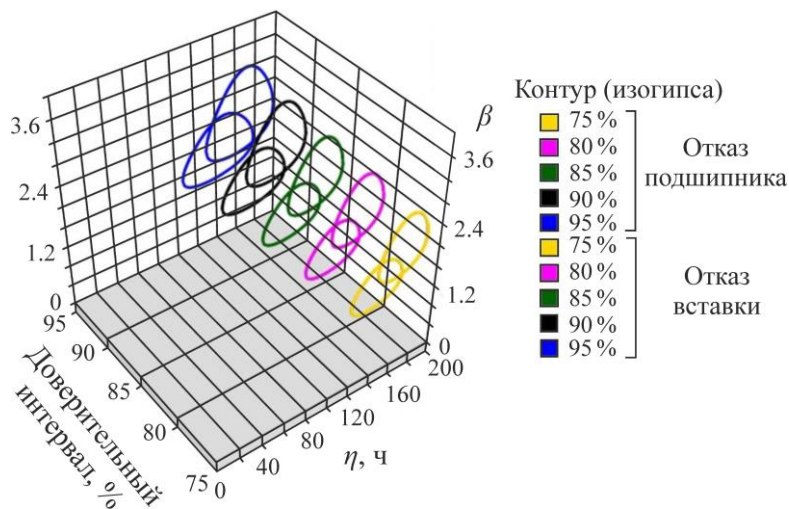


Рис. 6. График 3D-изолиний

Из рис. 6 видно, что данные об отказе подшипников и вставки перекрываются на 95% изолиний. Это означает, что при 95%-м уровне достоверности два механизма отказа существенно не различаются. Подтверждается, что вероятность возникновения отказа подшипника оказывает влияние на вероятность возникновения отказа вставки, и наоборот. Для дальнейшего исследования целесообразно применить комбинированное распределение Вейбулла [12, 16, 22, 28]. Другой метод — анализ конкурирующих механизмов разрушения — применим, когда входные данные для одного механизма отказа являются статистически независимыми от другого механизма отказа [12].

КОМБИНИРОВАННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЙБУЛЛА

Полное разрушение инструмента может быть исследовано на основе комбинированного распределения Вейбулла (табл. 1). В рамках данного способа рассчитывается доля деталей, разрушающихся по каждому из механизмов разрушения, а также их вклад в надежность структурного элемента в целом. Достоверность полного набора данных определяется путем вычисления суммы вкладов пропорциональной надежности каждой подгруппы данных [26, 29]. Для испытания ресурса идентичных структурных элементов каждый элемент испытывали до разрушения и регистрировали соответствующее время. При испытании наблюдались различные механизмы отказов на каждом временном участке работы.

На основании теоремы Байеса с помощью методики [22] использован следующий подход. Если имеется n подгрупп $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ разрушенных деталей, то для смешанных популяций надежность в заданный момент времени определяется как

$$R_{1,2,\dots,n}(t) = \frac{N_1}{N} R_1(t) + \frac{N_2}{N} R_2(t) + \frac{N_3}{N} R_3(t) + \dots + \frac{N_n}{N} R_n(t), \quad \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N} = 1.$$

Соответствующие значения вероятностей, надежности и частоты отказов в зависимости от времени приведены на рис. 7.

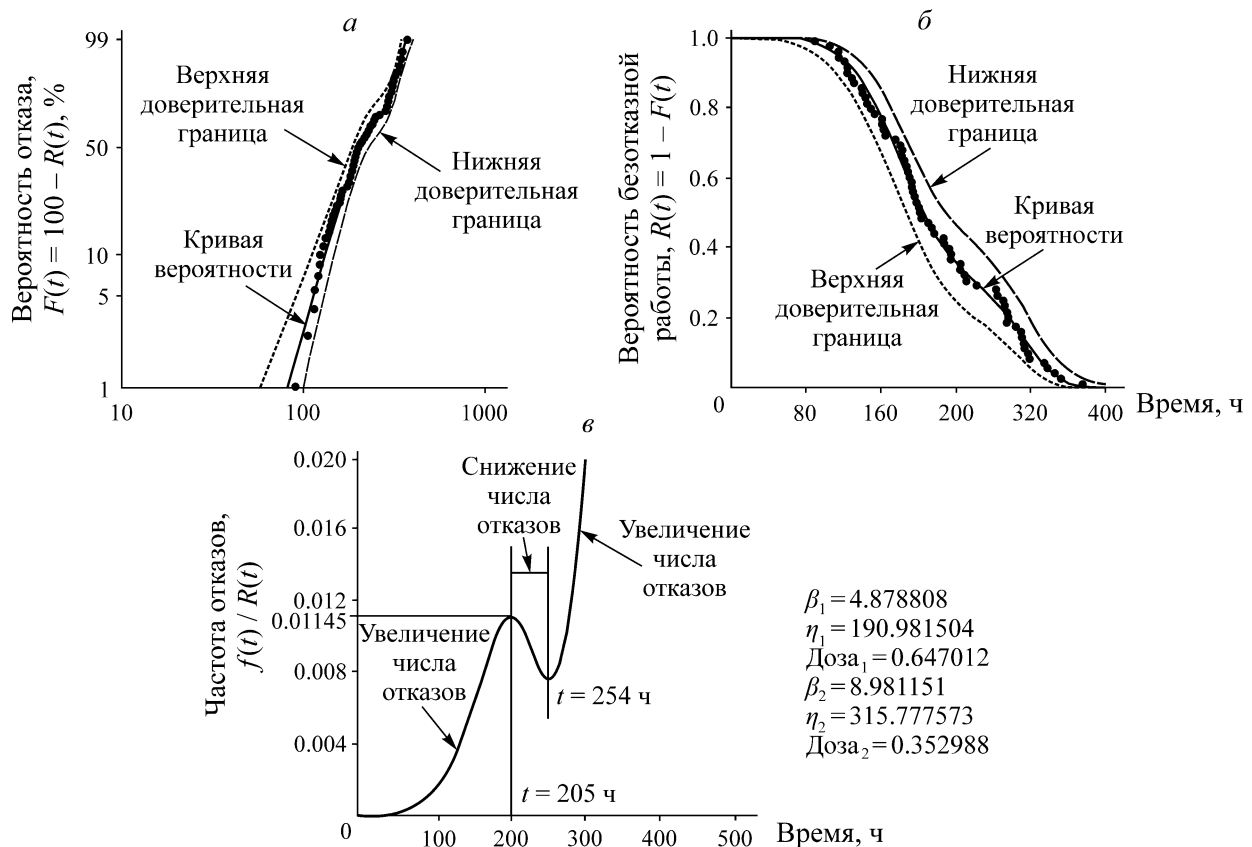


Рис. 7. Вероятность Вейбулла (а), надежность (б) и частота отказов (в) в зависимости от времени, полученные по комбинированному распределению Вейбулла с достоверностью 95 %

Видно, что при 95%-м уровне достоверности данные не попадают на прямую линию на вероятностном распределении Вейбулла (рис. 7а). Данные об отказе формируют кривую S на диаграмме вероятности, что указывает на то, что в популяции времен отказов существует

больше чем один отказ. Как показала проверка, набор данных автоматически соответствует параметрам и значениям распределения Вейбулла [29]. Однако наличие частных значений в конкретной подгруппе не соответствует данным в комбинированном распределении Вейбулла. Пусть β_1 и β_2 — коэффициенты формы в подгруппах 1 и 2 соответственно; η_1 и η_2 — масштабные коэффициенты в подгруппах 1 и 2. В результатах, показанных на рис. 7, $\beta_1 = 4.87860$ и $\eta_1 = 191.061283$ рассчитаны для первой подгруппы; $\beta_1 = 4.87860$ и $\eta_1 = 191.061283$ — для второй подгруппы. На рис. 7в результат 0.647604 означает, что подгруппа 1 содержит 64.76 % данных, тогда как подгруппа 2 — 35.23 % данных.

Надежность и частота отказов долот по двум механизмам разрушения оценивали при уровне достоверности 95 %, используя двухпопуляционный комбинированный метод Вейбулла. Надежность коронок уменьшается с увеличением времени (рис. 7б). Частота отказов бурового долота увеличивается вплоть до времени $t = 205$ ч. Частота отказов уменьшается с увеличением времени для интервала $t = 205 - t = 254$ ч, и с момента $t = 254$ ч частота отказов долот увеличивается со временем (рис. 7в).

ВЫВОДЫ

Обсуждались статистические данные о наработках на отказ трехшарошечных долот с твердосплавными вставками применительно к двум невозстановимым элементам — подшипник и вставка. Свойства горных пород являются одним из факторов, определяющих разрушение исследуемых инструментов. Сравнительный анализ двух механизмов отказов изучен на основе трехпараметрического распределения Вейбулла с доверительным интервалом 95 %. Обнаружено, что частота отказа вставок выше, чем подшипников, при этом с достоверностью 95 % отказы вставок и подшипников влияют друг на друга. С применением комбинированного метода Вейбулла показано, что вероятность безотказной работы трехшарошечных долот снижается со временем с уровнем достоверности 95 %. Интенсивность разрушения трехшарошечных долот увеличивается по истечению 205 ч эксплуатации. В интервале 205–254 ч интенсивность разрушения снижается, несмотря на увеличение рабочего времени, после чего частота отказов вставок снова увеличивается.

Поскольку подшипник и вставки чаще всего выходят из строя, они и определяют производительность долот, а также бурения в целом. Для повышения надежности этих деталей необходимо изучить их конструктивные особенности. Результаты исследования подтверждают, что комбинированный закон распределения Вейбулла адекватно описывает распределения времен простоя.

Авторы выражают благодарность Департаменту горного дела, Индийскому технологическому институту (индийская школа шахт) Дханбаду (Индия) за помощь в проведении испытаний горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Beste Ulrik.** On the nature of cemented carbide wear in rock drilling, Diss. Acta Universitatis Upsaliensis, 2004.
2. **Gokhale Bhalchandra V.** Rotary drilling and blasting in large surface mines, CRC Press, 2010.
3. **Jimeno E. L., Jimino C. L., and Carcedo A.** Drilling and blasting of rocks, CRC Press, 1995.
4. **Ren X., Miao H., and Peng Z.** A review of cemented carbides for rock drilling: An old but still tough challenge in geo-engineering, Int. J. of Refractory Metals and Hard Materials, 2013, Vol. 39. — P. 61–77.

5. **Voinov O. V. and Reutov V. A.** Drill bit operation in an anisotropic rock, *J. of Min. Sci.*, 1991, Vol. 27, Issue 2. — P. 138–146.
6. **Oparin V. N., Timonin V. V., and Karpov V. N.** Quantitative estimate of rotary-percussion drilling efficiency in rocks, *J. of Min. Sci.*, 2016, Vol. 52, Issue 6. — P. 1100–1111.
7. **Larsen-Basse J., Perrott C. M., and Robinson P. M.** Abrasive wear of tungsten carbide — cobalt composites. I. Rotary drilling tests, *Materials Science and Engineering*, 1974, Vol. 13, Issue 2. — P. 83–91.
8. **Stjernberg K. G., Fischer U., and Hugoson N. I.** Wear mechanisms due to different rock drilling conditions, *Powder Metallurgy*, 1975, Vol. 18, Issue 35. — P. 89–106.
9. **Beste U. and Jacobson S.** A new view of the deterioration and wear of WC/Co cemented carbide rock drill buttons, *Wear*, 2008, Vol. 264, Issue 11–12. — P. 1129–1141.
10. **Larsen-Basse J.** Effect of composition, microstructure, and service conditions on the wear of cemented carbides, *JOM*, 1983, Vol. 35, Issue 11. — P. 35–42.
11. **McGehee D. Y. et al.** The IADC roller bit classification system, *SPE/IADC Drilling Conference*. Society of Petroleum Engineers, 1992.
12. **Pulido J.** Life data analysis using the competing failure modes technique, *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 2015, Annual, IEEE, 2015.
13. **Elmahdy E. E.** A new approach for Weibull modeling for reliability life data analysis, *Applied Mathematics and Computation*, 2018, Vol. 250. — P. 708–720.
14. **Garakavi A. L., Manevich I. Z., and Merkin V. E.** Technological reliability and its safeguards in mining operations, *Soviet Mining*, 1984, Vol. 20, Issue 6. — P. 456–462.
15. **Nelson Wayne B.** Applied life data analysis, John Wiley & Sons, 2005, Vol. 577.
16. **Julio P., Klinge J., and Hill W.** Life data analysis with applications to aircraft modeling, *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 2017, Annual, IEEE, 2017.
17. **Kogan B. I.** Production methods for improving the life of mining equipment and tools, *J. of Min. Sci.*, 1993, Vol. 29, Issue 5. — P. 425–433.
18. **Kulishenko I. I., Kovalev V. I., Vasil'chenko V. F., and Sologub S. Y.** The optimum bit geometry for rotary drilling of boreholes in hard rocks, *Soviet Mining*, 1976, Vol. 12, Issue 6. — P. 612–614.
19. **Katanov B. A. and Markov G. F.** Influence of cutter arrangement on drill bit efficiency, *Soviet Mining*, 1976, Vol. 12, Issue 3. — P. 314–318.
20. **Ulusay Resat, ed.** The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring, 2007–2014, Springer, 2014.
21. **James G., Witten D., Hastie T., and Tibshirani R.** An introduction to statistical learning, 2013, NY, Springer.
22. **Kahraman S.** Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 2001, Vol. 38, Issue 7. — P. 981–994.
23. **Kececioglu D.** Reliability and life testing handbook, 1993, Vol. I.
24. **Hirose H.** Maximum likelihood estimation in the 3-parameter Weibull distribution. A look through the generalized extreme-value distribution, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 3, Issue 1, 1996. — P. 43–55.
25. **Yang G.** Life cycle reliability engineering, John Wiley & Sons, 2007.
26. **Leemis L. M.** Reliability: probabilistic models and statistical methods, Prentice-Hall, Inc., 1995.
27. **Kececioglu D.** Reliability and life testing handbook, DEStech Publications, Inc., 2002, Vol. 2.
28. **ReliaSoft Corporation**, Life Data Analysis Reference, Tools to Empower Reliab Prof, 2015. — P. 103–154.
29. **Butorin Y. M. and Gavrilenko V. A.** Some aspects of the reliability of drilling equipment, *Soviet Mining*, 1976, Vol. 72, Issue 1. — P. 62–65.