УДК 622.621.311.21

Кадочникова Анастасия Раисовна, преподаватель,
Кобыльская Анастасия Андреевна, студент.
(КузГТУ, г. Прокопьевск).
Kadochnikova Anastasia Raisovna, Lecturer,
Kobylskaya Anastasia Andreevna, student.
(KuzSTU, Prokopyevsk)

АНАЛИЗ ХОДИМОСТИ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ НА БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ И ПРИЧИНА ИХ РАЗРУШЕНИЯ С ПОЗИЦИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF TRIANGULAR BIT CONES ON DRILLING RIGS AND THE CAUSES OF THEIR FAILURE FROM THE PERSPECTIVE OF MATERIAL RESISTANCE

Представлены результаты анализа ходимости шарошечных долот на буровых установках DM-45 и DML-1200 за январь–сентябрь 2025г. Показано, что лишь 10,6% долот достигли нормативной наработки. С позиций контактной прочности и усталостного износа обоснованы причины отказов: несоответствие вооружения долот крепости пород и рост радиальных нагрузок при наклонном бурении. Выявлена связь доли наклонных скважин с перерасходом дизельного топлива.

The results of the analysis of the service life of roller cone bits on DM-45 and DML-1200 drilling rigs for January–September 2025 are presented. It is shown that only 10.6 % of the bits reached the standard operating time. The causes of failures are substantiated from the perspective of contact strength and fatigue wear: the inadequacy of the bit’s cutting edges to the strength of the rock and the increase in radial loads during directional drilling. A link has been identified between the proportion of directional wells and excessive diesel fuel consumption.

Буровзрывные работы на угольных разрезах остаются одной из наиболее затратных статей себестоимости добычи. Основным инструментом являются шарошечные долота, ресурс (ходимость) которых напрямую определяет экономику предприятия. Низкая ходимость не только увеличивает расходы на инструмент, но и вызывает перерасход ДТ и рост времени вспомогательных операций. Проблема особенно остро стоит при вовлечении в отработку новых участков и углублении горных работ, где

усложняются горно- геологические условия и возрастает доля наклонных скважин.

В рамках формирования данного доклада произведен анализ ходимости шарошечных долот за период с января 2025 года по сентябрь 2025г. (включительно) по буровым установкам DM-45 и DML-1200 на ООО «Разрез Тайлепский». Проанализированы следующие документы: путевые листы буровых установок DM-45, DML-1200, исполнительные маркшейдерские съемки блоков, справки о геологической характеристике горных пород по блокам, акты выхода из строя шарошечных долот (ШД). Данные сведены в таблицу (Приложение 1).

Целью работы стало установление основных причин неудовлетворительной ходимости ШД на основе статистического анализа на конкретном участке горных работ и дать им физическое обоснование с позиции сопротивления материалов, в первую очередь теорий контактных напряжений и абразивного изнашивания.

Проанализирована сводная таблица данных по бурению каждым ШД (Таблица 1). Исходя из данного анализа отмечен значительный перерасход ДТ (от 0,37 до 0,53 л/п.м.) при бурении:

- ШД №34842106888 (200 мм, производитель Глубур. Бурение производилось по кр.пл. 1 и 6, наклонных скв. 12,6%, средняя обводненность 0,3%, крепость 6-13, категория буримости VI- IX, абразивность 0,56-1,8, трещиноватость III);
- ШД №1189398 (200 мм, производитель Волгабурмаш. Бурение производилось по кр.пл. 1, 3, 6 и 7, наклонных скв. 23,1%, срядняя обводненность 11,4%, крепость 6-15, категория буримости VI- IX, абразивность 0,49-1,8, трещиноватость II-III);
- ШД №1167844 (171 мм, производитель Волгабурмаш. Бурение производилось по кр.пл. 3 и 6, наклонных скв. 41,6%, средняя обводненность 5,4%, крепость 6-11, категория буримости VI-VII, абразивность 0,42-1,63, трещиноватость II-III);
- ШД №1167904 (171 мм, производитель Волгабурмаш. Бурение производилось по кр.пл. 3, наклонных скв. 16,8%, обводненность 0%, крепость 6-11, категория буримости VI-VII, абразивность 0,42-1,11, трещиноватость II);
- ШД №1167839 (171 мм, производитель Волгабурмаш. Бурение производилось по кр.пл. 1 и 3, наклонных скв. 10,9%, обводненность 0%, крепость 6-13, категория буримости VII-IX, абразивность 0,42-1,8, трещиноватость II-III).

Работа всех вышеперечисленных ШД производилась по довольно крепким и очень крепким с малоабразивной и ниже средней абразивностью породам, повторяющаяся причина выхода из строя всех данных ШД- это слом шарошки и истирание зубков по высоте. Данный вид износа может характеризоваться как нормальный при высоких показателях проходки ШД,

однако, учитывая, что ни одно из ДШ не удовлетворило нормам ходимости, можно предположить о их неправильной эксплуатации. Возможны слишком высокие или, наоборот, низкие обороты вращателя и завышенная нагрузка на долото при бурении (необходимо выбирать оптимальный режим бурения, рекомендованный производителем), не учтены изменения свойств пород (к примеру, сцементированная плита песчаника на южном борту по пластам 1 и 6), которые можно охарактеризовать как несоответствие сплава зубков свойствам разбуриваемых пород, так как согласно информационным листам от производителя «Глубур», ШД разработаны для бурения абразивных пород средней крепости. Также на всех блоках имелись наклонные скважины (10,9-41,6%), бурение которых могло способствовать увеличению энергозатрат за счет больших контактных нагрузок и сопротивлений движению бурильной колонны.

Таблица №1

№ шарошечного долота	Буровая установка	Дата установки/снятия ШД	Производитель	Д долота, мм	Расхождения, литр/п.м.	Наработка ШД (данные путевых листов), п.м.
1	2	3	4	5	6	7
33382102524	DML-1200	21.12.2024-03.01.2025	Глубур	200	-0,39	7550
33382102523	DML-1200	03.01.2025-07.01.2025	Глубур	200	-0,70	2821
33382102528	DML-1200	07.01.2025-16.01.2025	Глубур	200	-0,03	6741
33382102522	DML-1200	17.01.2025-21.01.2025	Глубур	200	-0,14	2731
33382102530	DML-1200	21.01.2025-25.01.2025	Глубур	200	-0,44	3456
33382102536	DML-1200	25.01.2025-04.02.2025	Глубур	200	-0,07	4713
33382102527	DML-1200	04.02.2025-14.02.2025	Глубур	200	-0,23	5663
33382102532	DML-1200	14.02.2025-21.02.2025	Глубур	200	-0,25	4906
33382102533	DML-1200	21.02.2025-15.03.2025	Глубур	200	-0,22	12301
33382102518	DML-1200	15.03.2025-25.03.2025	Глубур	200	-0,14	6674
33382102517	DML-1200	25.03.2025-05.04.2025	Глубур	200	-0,28	6377
33382102521	DML-1200	05.04.2025-13.04.2025	Глубур	200	0,21	5567
329010100476	DML-1200	13.04.2025-24.04.2025	Глубур	200	0,02	5305
32901100471	DML-1200	24.04.2025-09.05.2025	Глубур	200	0,03	8241
32901100472	DML-1200	09.05.2025-17.05.2025	Глубур	200	-0,04	4747
33382102534	DML-1200	17.05.2025(1см)-31.05.2025	Глубур	200	0,12	5687
34842106890	DML-1200	31.05.2025(2см)-13.06.2025	Глубур	200	0,02	6849
34842106888	DML-1200	13.06.2025(2см)-22.06.2025	Глубур	200	0,42	3984
34842106883	DML-1200	22.06.2025(1см)-28.06.2025	Глубур	200	0,18	3930
1189376	DML-1200	28.06.2025(1см)-06.07.2025	Глубур	200	0,00	5268
1189398	DML-1200	06.07.2025(2см)- 16.07.2025(1см)	Волгабурмаш	200	0,41	5659
1189392	DML-1200	16.07.2025(1см)- 25.07.2025(2см)	Волгабурмаш	200	0,11	4976
35781109717	DML-1200	08.09.2025 (1см)- 14.09.2025(1см)	Глубур	200	0,08	3904
35781109721	DML-1200	14.09.2025(1см)- 23.09.2025(1см)	Глубур	200	0,04	5805
35781109719	DML-1200	23.09.2025(1см)- 27.09.2025(1см)	Глубур	200	0,19	3172
1172979	DM-45	28.12.2024(1см)-04.01.2025	Волгабурмаш	171	-0,28	3679
1172968	DM-45	04.01.2025(1см)-10.01.2025	Волгабурмаш	171	-0,22	2481
1167435	DM-45	11.01.2025(1см)-16.01.2025	Волгабурмаш	171	-0,39	3645
1167196	DM-45	16.01.2025(1см)-24.01.2025	Волгабурмаш	171	-0,43	6026
1167434	DM-45	24.01.2025(1см)-30.01.2025	Волгабурмаш	171	-0,33	3865
1167214	DM-45	30.01.2025(1см)-04.02.2025	Волгабурмаш	171	0,25	3469
1167240	DM-45	04.02.2025(2см)-12.02.202	Волгабурмаш	171	-0,18	5259
1167216	DM-45	12.02.202(2см)-17.02.2025	Волгабурмаш	171	-0,26	3514
1172559	DM-45	18.02.2025(1см)-26.02.2025	Волгабурмаш	171	-0,35	5786
1167440	DM-45	26.02.2025(1см)-02.03.2025	Волгабурмаш	171	-0,13	3106
1167443	DM-45	02.03.2025(1см)-09.03.2025	Волгабурмаш	171	-0,25	4356
1167432	DM-45	09.03.2025(1см)-15.03.2025	Волгабурмаш	171	0,05	3553
1167254	DM-45	15.03.2025(1см)-20.03.2025	Волгабурмаш	171	-0,04	3399
1167252	DM-45	20.03.2025(1см)-25.03.2025	Волгабурмаш	171	-0,19	3367
1167204	DM-45	25.03.2025(1см)-29.03.2025	Волгабурмаш	171	-0,12	2735
1167232	DM-45	29.03.2025(1см)-03.04.2025	Волгабурмаш	171	-0,25	3426
1172563	DM-45	03.04.2025(2см)-12.04.2025	Волгабурмаш	171	-0,06	4742
1167415	DM-45	12.04.2025(1см)-23.04.2025	Волгабурмаш	171	0,22	3992
1167821	DM-45	23.04.2025(2см)-27.04.2025	Волгабурмаш	171	0,00	2888
1167413	DM-45	27.04.2025(2см)-02.05.2025	Волгабурмаш	171	-0,04	2524
1167218	DM-45	02.05.2025(1см)-06.05.2025	Волгабурмаш	171	0,07	2961
1167844	DM-45	06.05.2025(2см)-10.05.2025	Волгабурмаш	171	0,37	2782
1167421	DM-45	10.05.2025(2см)-15.05.2025	Волгабурмаш	171	0,21	3137
1167410	DM-45	15.05.2025(1см)-18.05.2025	Волгабурмаш	171	-0,21	2215
1167904	DM-45	18.05.2025(1см)-20.05.2025	Волгабурмаш	171	0,53	1421
1167887	DM-45	20.05.2025(2см)-23.05.2025	Волгабурмаш	171	0,37	2492
1167839	DM-45	23.05.2025(2см)-27.05.2025	Волгабурмаш	171	0,39	2710
1167246	DM-45	27.05.2025(2см)-31.05.2025	Волгабурмаш	171	0,08	2882
1167823	DM-45	31.05.2025(2см)-06.06.2025	Волгабурмаш	171	0,19	3254
1167210	DM-45	06.06.2025(2см)-10.06.2025	Волгабурмаш	171	-0,09	3169
34842106884	DM-45	11.06.2025(1см)-19.06.2025	Глубур	200	0,17	4683
34842106882	DM-45	19.06.2025(1см)-23.06.2025	Глубур	200	0,11	1900
34842106887	DM-45	23.06.2025(1см)-02.07.2025	Глубур	200	0,04	6217
1189390	DM-45	02.07.2025(1см)- 11.07.2025(1см)	Волгабурмаш	200	0,09	6148
34842106891	DM-45	11.07.2025(1см)- 16.07.2025(2см)	Глубур	200	0,13	2419
1189380	DM-45	16.07.2025(2см)- 28.07.2025(1см)	Волгабурмаш	200	0,18	5824
1189391	DM-45/DML-1200	28.07.2025(1см)- 08.09.2025 (1см)	Волгабурмаш	200	0,19	6765
1177271	DM-45	18.08.2025(1см)-03.09.2025(1см)	Волгабурмаш	200	-0,14	4125
1177273	DM-45	03.09.2025(1см)- 06.09.2025(1см)	Волгабурмаш	200	0,03	2032
35781109722	DM-45	06.09.2025(1см)- 15.09.2025(2см)	Глубур	200	0,10	6100
35781109724	DM-45	15.09.2025(2см)- 23.09.2025(2см)	Глубур	200	0,10	4639

Также из анализа видно, что:

1. 7 из 25 ШД, установленных на DML-1200, удовлетворяют нормам ходимости ШД.

2. На DM-45 отработали 41 ШД и ни одно не выполнило норму ходимости.

3. Лучший результат по средней наработке за период с января по сентябрь 2025г. показали ШД производителя «Глубур» Д=200мм (5253 п.м.).

4. Хуже всего за период с января по сентябрь 2025г. показали себя ШД производителя «Волгабурмаш» Д=171мм со средней наработкой за анализируемый период 3427 п.м.

Утвержденные нормы ходимости ШД согласно Приказу №137 от 29.12.2022г: DM-45-7000п.м., DML-1200– 6000 п.м.

В таблице №2 поквартально отслеживается динамика снижения средней наработки ШД производителя «Глубур» диаметром 200мм.

Таблица№2

Динамика ходимости ШД (Глубур, Д=200мм)			
Буровая установка	Средняя наработка ШД за 1 кв. 2025г., п.м.	Средняя наработка ШД за 2 кв. 2025г., п.м.	Средняя наработка ШД за 3 кв. 2025г., п.м.
DM-45	-	4267	4386
DML-1200	5812	5539	4537
Динамика ходимости ШД (Волгабурмаш, Д=200мм)			
Буровая установка	Средняя наработка ШД за 1 кв. 2025г., п.м.	Средняя наработка ШД за 2 кв. 2025г., п.м.	Средняя наработка ШД за 3 кв. 2025г., п.м.
DM-45	-	-	4594
DML-1200	-	-	4187
Динамика ходимости ШД (Волгабурмаш, Д=171мм)			
Буровая установка	Средняя наработка ШД за 1 кв. 2025г., п.м.	Средняя наработка ШД за 2 кв. 2025г., п.м.	Средняя наработка ШД за 3 кв. 2025г., п.м.
DM-45	3854	2941	-
DML-1200	-	-	-

Фактическая стоимость 1 п.м. ходимости ШД за период с января по сентябрь 2025г. (включительно) показана в таблице 3.

Таблица №3

Буровая установка	Производитель	Диаметр долота,мм	Количество ШД, шт	Объем наработки с января по сентябрь 2025г, п. м.	Стоимость использованных шарошечных долот, без НДС, руб.	Стоимость 1 п. м. ходимости ШД, руб.
DML-1200	Глубур	200	23	126 392,00	1 749 600,00	13,8
	Волгабурмаш	200	2	12 560,00	225 000,00	17,9
	Волгабурмаш	171	0	0,00	0,00	0,0
DM-45	Глубур	200	6	25 958,00	451 200,00	17,4
	Волгабурмаш	200	5	22 969,00	405 000,00	17,6
	Волгабурмаш	171	30	102 835,00	2 194 514,00	21,3
Общ	Глубур	200	29	152 350,00	2 200 800,00	14,4
	Волгабурмаш	200	7	35 529,00	630 000,00	17,7
	Волгабурмаш	171	30	102 835,00	2 194 514,00	21,3

Проанализировав таблицу 3, экономически более выгодной оказалась эксплуатация ШД производителя «Глубур» Д=200 мм, самыми невыгодными оказались ШД производителя «Волгабурмаш» Д=171 мм.

Зависимость расхождений фактического расхода ДТ от нормативного по местоположению ведения работ с января по сентябрь 2025г.

(включительно) показана в таблице №4. Исходя из представленных данных самым энергозатратным оказалось бурение кровли пластов 3, 7 и 9 на участке Карачиякский.

Таблица№4

Место проведения работ		Нормативный расход ДТ на бурение , литр/п.м. (средний по данным с января по сентябрь 2025г)	Фактический расход ДТ на бурение, литр/п. м. (средний по данным с января по сентябрь 2025г)	Расхождение, литр/п. м.
Карачиякский	кр пл 1	1,7	1,63	-0,07
	кр пл 3	1,35	1,61	0,26
	кр пл 6	1,64	1,56	-0,08
	кр пл 7	1,1	1,47	0,37
	кр пл 9	1,2	1,42	0,22
Красногорский	кр пл 3	1,28	1,45	0,17
	кр пл 6	1,54	1,43	-0,11
	кр пл 9	1,29	1,19	-0,1
	кр пл 11	1,27	1,25	-0,02

Выявлена незначительная экономия ДТ при бурении кровли пластов 6 и 9 участка Красногорский IV. Предположительно экономия может быть обусловлена бурением верхних горизонтов с наиболее лояльными условиями (буримость V-IV, крепость пород 4-6, частичное отсутствие абразивности и трещиноватости).

По участку Карачиякский менее энергозатратным оказалось бурение по пластам 1 и 6. Данное бурение производилось по породам с буримостью V-IX, крепостью 4-13, абразивностью 0,2-2,25, стоит учесть, что по данным пластам наблюдается минимальный усредненный процент обводненности скважин (по кр.пл.1- 3,4%, по кр.пл.6- 5,1%). 5% от суммарного объема бурения по пластам 1 и 6 пришлось на кровлю пласта 1 гор.+280- +316м (крепость 4-10, абразивность 0,56-2,08), где можно отметить более лояльные условия, такие как минимальный процент наклонных (5,3%) и отсутствие обводненных скважин.

Сопоставив статистические данные таблиц №1 и №4, следует отметить, что стабильно повышены энергозатраты при бурении кровли пл. 3 на участке Карачиякский (крепость 6-15, обводненность 6,1%, усредненное количество наклонных скважин- 27%).

Производительность по местоположению производства бурения за период с января по сентябрь 2025г. (включительно) показана в таблице №5.

Таблица №5

Место проведения буровых работ		Объем производимого бурения,п.м.	Объем производимого бурения от общего , %	
Карачиякский	Кровля пл.1	148002	49,9	88,7
	Кровля пл.3	44541	15,0	
	Кровля пл.6	62808	21,2	
	Кровля пл.7	6251	2,1	
	Кровля пл.9	1604	0,5	
Красногорский	Кровля пл.3	2437	0,8	11,3
	Кровля пл.6	2768	0,9	
	Кровля пл.9	3077	1,0	
	Кровля пл.11	25113	8,5	

При сопоставлении данных приложения 1, а также таблиц №4 и №5, удалось выявить наиболее вероятную причину значительного перерасхода ДТ по пласту 7, а именно, по данному пласту наблюдается самый большой объем бурения наклонных скважин- 62,9%. На пласт 3 приходится 27% наклонных скважин, а на пласт 9- 22%. Тем самым отслеживается зависимость, чем больше наклонных скважин, тем выше расход ДТ.

Можно предположить, что в отдельных случаях на перерасход также оказывает влияние и умеренная обводненность скважин (кр.пл.7- 10,9%; кр.пл.3- 6,1%; кр.пл.9- 0%). В случае высокой обводненности, приводящей к заиливанию скважин, значительно увеличивается время бурения и тем самым энергозатраты. Однако, фактор умеренной обводненности более влиятелен в совокупности с осложненными геологическими условиями, а не в отдельности, так как при бурении кровли пласта 1 (средняя обводненность 3,4%, крепость 4-13, абразивность 0,51-1,64) и кровли пласта 6 (средняя обводненность 5,1%, крепость 4-11, абразивность 0,51-1,64) наблюдается наиболее приближенный к нормативному расход ДТ.

Механиха разрушения ШД: основные критерии сопротивления материалов.

С позиций сопротивления материалов низкая ходимость долота есть результат накопления повреждений под действием циклических контактных нагрузок и абразивного изнашивания.

Контактное смятие и скол зубьев. При вдавливании твёрдосплавного зуба в породу максимальное нормальное напряжение в центре площадки контакта оценивается по зависимости теории Герца.

Абразивный износ вооружения. Интенсивность абразивного изнашивания прямо пропорциональна нормальной нагрузке и пути трения. При завышенной осевой нагрузке на долото и высоком коэффициенте трения о разрушенную породу скорость износа резко возрастает. В случае с долотами «Глубур» заявленное заводом назначение - абразивные породы средней крепости - не в полной мере соответствует фактическим условиям

(крепость 6-13, то есть вплоть до очень крепких). Это несоответствие ускоряет как истирание по высоте, так и сколы.

Контактная усталость опор. Подшипники скольжения (и качения) шарошек воспринимают циклическую нагрузку с частотой, определяемой оборотами вращателя. Максимальные касательные напряжения действуют в поверхностных слоях металла. Если напряжения превышают предел контактной выносливости, развивается прогрессирующее выкрашивание, приводящее к заклиниванию шарошки. Особенно опасны дополнительные радиальные усилия при бурении наклонных скважин: они создают изгибающий момент на опорах, многократно увеличивая пиковые значения и ускоряя усталостное разрушение тел качения и беговых дорожек.

Энергетический аспект. Рост контактных напряжений и сил трения при бурении наклонных и обводнённых скважин ведёт к увеличению крутящего момента на вращателе и, как следствие, к росту расхода дизельного топлива, что наглядно подтверждено в выполненном анализе.

Результаты анализа:

1. Из 66 ШД только 7 удовлетворяют утвержденным нормам ходимости. Эти ШД были установлены на DML-1200.

2. Лучшим из используемых в анализируемый период ШД по показателям средней ходимости (5253 п.м.), экономии ДТ (-0,96 литр/п.м.), стоимости 1 п.м. бурения (14,4 руб. за п.м.) является ШД производителя «Глубур» Д=200 мм.

3. Наиболее объективной причиной перерасхода ДТ является бурение наклонных скважин. Обводненность усиливает энергозатраты при бурении, но вероятней всего в совокупности с геологическими условиями. Глубина бурения не увеличивает расход ДТ, наоборот, при бурении кровли пласта 1, где наибольшая усредненная глубина скважин (11,2 м), энергозатраты снижены, так как бурились преимущественно вертикальные скважины.

4. Учитывая, что нормативный расчет расхода ДТ по пластам был определен опытным путем в 2022г., целесообразно рассмотреть возможность его пересмотра, так как условия ведения горных работ изменились, а именно на участке Карачиякский отработка преобладает на южном борту и достигла гор.+195м, ведется разработка нового участка Красногорский IV, так же стоит учесть неизбежный коэффициент износа буровых установок (так как он отражается на длительности бурения и следовательно на энергозатратах при бурении).

Интерпретация данных с точки зрения сопротивления материалов:

1. «Слом шарошки и истирание зубков» есть прямое следствие превышения предела прочности твёрдого сплава при соударении с особо крепкими включениями (сцементированные песчаники южного борта, пласты 1 и 6). Осевая нагрузка, предписанная для абразивных пород средней крепости, в данных условиях создаёт напряжения, превышающие несущую

способность вооружения. Необходим переход на долота с более прочным сплавом или изменённой геометрией зубьев.

2. Низкая ходимость долот «Волгабурмаш» Д171 мм объясняется меньшей площадью контакта при том же осевом усилии на станок. Это делает их критически чувствительными к колебаниям крепости.

3. Влияние наклонных скважин. При бурении наклонной скважины возникает радиальная составляющая усилия подачи, действующая на долото. Она создаёт знакопеременный изгибающий момент в опорах шарошек. Максимальные касательные напряжения в телах качения возрастают пропорционально радиальной силе, резко сокращая усталостную долговечность опоры. Этим объясняется, почему на пластах с высокой долей наклонных скважин (3, 7, 9) стабильно фиксируются повышенные энергозатраты и низкая ходимость, а при преимущественно вертикальных скважинах (пласты 1 и 6) ситуация заметно лучше даже при высокой крепости.

4. Динамика снижения наработки долот «Глубур» может быть связана с накоплением усталостных повреждений в металле бурильной колонны и нарастанием вибраций по мере износа самого станка DM-45, что увеличивает пиковые динамические нагрузки на долото.

Таким образом, первоначальное предположение о «неправильной эксплуатации» получает строгое механическое обоснование: не столько выдержаны номинальные значения нагрузки и оборотов, сколько не выполнены условия, при которых контактные напряжения и интенсивность износа остаются в допустимых пределах для фактической крепости и пространственного положения скважин.

Список литературы

1. Производственная документация ООО «Разрез Тайлепский» (путевые листы буровых установок, акты выхода из строя ШД, маркшейдеские исполнительные съемки блоков, справки о геологических характеристиках горных пород.
2. ГОСТ 21153.1-75 «Горные породы. Метод определения коэффициента крепости по Протодьяконову».
3. ГОСТ Р 50544-93 «Породы горные. Термины и определения».
4. Приложения: Сводная таблица показателей работы ШД с января по сентябрь 2025г.