

УДК 622.022:624.11

В.Л., Петров С.Н., Гончаренко А.С. Парсегов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ПРОСТОЕВ И АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОЛО-
ГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Проведено моделирование риска возникновения простоев и аварийных ситуаций технологического оборудования горных предприятий. Получены вероятностные оценки риска возникновения аварийных ситуации. Произведена сравнительная оценка величины ущерба от аварийной ситуации и затрат на плановый ремонт и техническое обслуживание оборудования.

Ключевые слова: технологическое оборудование, оценка риска аварийных ситуаций, простой оборудования, срок службы оборудования.

Основным фактором, снижающим эффективность функционирования и экономическое благополучие российских горнодобывающих предприятий является старение парка горного оборудования. На сегодняшний день темпы старения оборудования опережают его воспроизводство и модернизацию. Среди всего множества видов технологического оборудования горных предприятий более 60 % выработало свой ресурс. Эксплуатация техники в таком состоянии постоянно приводит к росту затрат на ее содержание, что в конечном итоге приводит к неуклонному увеличению себестоимости добычи и переработки продукции горного производства. На сегодняшний день величина прироста расходов на эксплуатацию и ремонт оборудования на горнодобывающих предприятиях во много раз опережает рост стоимости производимой продукции.

Анализ условий функционирования технологического оборудования на горном предприятии показывает,

что их средний срок службы составляет 8 лет ± 2 года, при нормативном сроке 10 лет. В таком случае наблюдается возрастающая тенденция повышенной аварийности, уменьшения межремонтных циклов и увеличения затрат на техническое обслуживание оборудования.

Кроме того, к добывающему производству на сегодняшний день предъявляются довольно высокие требования по эффективности функционирования парка добывающих машин. Они должны обеспечивать высокую производительность, обладать надлежащим уровнем безопасности и надежности. При этом эффективность эксплуатации оборудования в своей основе предполагает минимизацию затрат на содержание и ремонт машин и оборудования при максимизации производительности труда и соблюдении правил безопасности в условиях временных и финансовых ограничений. В этой связи необходимо решить комплекс проблем, связанных с возникновением различного

рода простоев и аварийных ситуаций на производстве и необходимостью обеспечения промышленной безопасности при функционировании достаточно большого количества технологического оборудования, практически выработавших свой ресурс.

В этом случае техническое состояние технологического оборудования является определяющим фактором надежности, влияющим на возникновение отказов оборудования, аварий и несчастных случаев.

В этой связи необходимо определить понятие *риска возникновения простоев и аварийной ситуации*, который представляет собой меру опасности, характеризующую возможность (вероятность) возникновения простоев и аварийной ситуации на технологическом оборудовании и величину ущерба от ее последствий за определенный промежуток времени.

Исходя из этого в работе предлагается, алгоритм анализа риска возникновения простоев и аварийных ситуаций технологического оборудования горных предприятий, состоящий из следующих основных этапов:

Этап 1. Организация и планирование работ по проведению анализа риска возникновения аварийных ситуаций:

— организация и нормирование времени работы технологического оборудования;

— статистический анализ временных показателей работы технологического оборудования;

— определение времени и причин простоев в работе технологического оборудования (организационные, технические, аварийные и т.д.)

Этап 2. Идентификация возможных опасностей функционирования технологического оборудования:

— определение потенциальных источников возникновения простоев и аварийной ситуации;

— анализ условий возникновения и развития аварийных ситуаций;

— определение факторов риска аварийных ситуаций.

Этап 3. Оценка риска возникновения простоев и аварийных ситуаций технологического оборудования:

— определение частоты возникновения простоев и аварийных ситуаций;

— оценка последствий и величины ущерба от возникновения простоев и аварийных ситуаций;

— обобщение (сводка и группировка) показателей риска возникновения простоев и аварийных ситуаций;

— моделирование рисков показателей и определение доверительных интервалов параметров риска.

Этап 4. Разработка рекомендаций по уменьшению риска простоев и аварийных ситуаций:

— разработка комплекса мер по уменьшению вероятности возникновения простоев и аварийных ситуаций;

— разработка комплекса мер по уменьшению тяжести последствий (ущерба) от возникновения простоев и аварийных ситуаций;

— определение эффективности разработанных мероприятий.

В качестве объекта исследования в работе рассматривался рудник северо-восточного региона со сложными горно-геологическими условиями, добывающий медно-никелевые руды. Предварительный статистический анализ основных форм отчетных документов по использованию технологического оборудования за три прошедших года показал, что при достаточно

Таблица 1

Основные виды технологического оборудования рудника

№№	Вид работ	Тип оборудования	Среднесписочное число машин, штук			Средняя производительность среднесписочной машины, м ³ /среднесписочное число машин		
			2009	2010	2011	2009	2010	2011
	На очистных работах	Погрузочно-доставочные машины						
1		- ST — 8BR	4	7	8	17229	14882	15840
2		- KSS M-14	4	4	2	9591	5486	3787
		Самоходные буровые установки						
3		- BOOMER — H136, H353	3	1	1	32249	37698	9366
4		- BOOMER L2D	-	1	2	-	40009	39795
5		- BOOMER — H128, H282	1	1	-	15365	9076	-
6	- SIMBA — H254	2	-	1	4046	-	10820	
7	- SOLO 1020	1	1	1	2285	4841	8726	
	На проходческих работах	Погрузочно-доставочные машины						
8		- ST — 8BR	2	2	2	12892	11371	11928
9		- ST — 5R	3	2	2	9163	9106	9573
10		-KSS M-14	4	4	3	8138	9343	5816
		Самоходные буровые установки						
11		- BOOMER — H136, H353	-	0,8	1	-	35107	34604
12		- BOOMER — H128, H282	5	5	4	34024	36332	31442
13		- MINIMATIK — 205D	4	4	-/5	43053	39148	35014
14		-MK — 2	1	1	-/1	18851	23455	15825
		Хозяйств. работы	Погрузодоставочные машины.					
15	- ST — 8BR		2	1	1	-	-	-
16	- ST — 5R		2	2	2	-	-	-
17	-R1300	1	1	1	-	-	-	

Статистические характеристики основных технико-экономических показателей рудника за 2009—2011 гг.

№№	Наименование показателя	Единица измерения	Максимальное значение	Минимальное значение	Среднее значение	Стандартное отклонение	Размах	Коэффициент вариации, %	
1	Добыча	тыс. у.е.	268,03	227,01	249,39	20,53	41,01	8,23	
8	Подготовительные	м	338	159	240,12	89,63	179,00	37,33	
9	Нарезные	м	1030	762	906,67	134,14	268,00	14,80	
10	Эксплуатационные	м	121	43	75,21	39,20	78,00	52,11	
11	Объем горной массы	м ³	73816	61435	68749,09	6224,40	12381	9,05	
12	Объем закладываемых пустот	м ³	76842	56886	68050,58	10001,49	19956	14,70	
14	Производительность по горной выработке	м ³ /чел	44,90	38,20	41,92	3,36	6,70	8,01	
15	Производительность по добыче	у.е./чел	161,45	137,42	151,58	12,08	24,03	7,97	
24	Итого затрат на добычу	тыс. руб	262279	192481	229250,79	34915,71	69798	15,23	
25	Себестоимость ед. продукции	руб/у.е.	1200,29	795,89	924,54	206,61	404,40	22,35	
26	Среднесписочное число машин	штук	6	4	4,72	0,87	2,00	18,38	
27	Простои всего	час.	10863	4691	7091,19	2031,14	6172	28,64	
28	ГПР	час.	2982	300	1262,82	774,21	2682	61,31	
29	Резерв	час.	2026	976	1348	588,09	1050	43,63	
30	Регламентированные	час.	1656	1092	1357,1	226,85	564	16,72	
31	Итого	час.	6664	1588	2987,56	1582,52	5076	52,97	
32	Аварии	час.	1961	372	760,59	440,60	1589	57,93	
33	Фронта работ	час.	2695	286	732	671,47	2409	91,73	
34	Запасных частей	час.	3963	95	1630,57	1404,52	3868	86,14	
35	ГСМ	час.	34	7	20,83	11,05	27,00	53,05	
36	Энергии	час.	364	72	173,27	82,26	292	47,47	
37	Прочие	час.	2159	174	1563,33	591,19	1985	37,82	
38	Итого	час.	5859	2578	3993,96	1097,84	3281	27,49	
39	Производительность средне-	план факт	м ³ /среднесп исочное чис- ло машин	45211,8	26052,6	38055,27	7798,69	19159,	20,49
40	списочной машины, годовая								
41	Фонд времени оборудования	час.	10829	5786,5	7708,48	1371,88	5042,5	17,79	
42	Отработано оборудованием	смен	812	481	620,91	96,53	331,00	15,54	
		часов	4909,5	21087	3237,21	830,50	2801,5	25,65	

Таблица 3

Расчет показателей использования технологического оборудования

№№	Наименование показателя	Условное обозначение	Расчетная формула
1	Коэффициент полноты использования машин (характеризует полноту использования оборудования)	Кп	$K_p = T_{ф} / T_{пл}$, где Тф – фактически отработанное время, исчисляется как сумма времени использования машин на основной работе и выполнении вспомогательных операций, час; Тпл = Треж — Тппр; Треж = кол-во рабочих дней*кол-во рабочих дней в сутки; Тппр – время проведения планово-предупредительных ремонтов.
2	Коэффициент внутрисменного использования оборудования	Кс	$K_c = T_{ф} / (T_c * P_c)$, где Тс – число смен, отработанных за учитываемый период; Pс – продолжительность смены, час.
3	Коэффициент интенсивного использования оборудования (характеризует достигнутый уровень производительности)	Ки	$K_i = P_{ф} / P_{п}$, где Pф, Pп – соответственно фактическая и плановая производительность (выработка) оборудования в единицу времени работы
4	Коэффициент готовности (характеризует надежность оборудования)	Кг	$K_g = T_{ф} / (T_{ф} + T_{рем})$, где Трем – время unplanned простоев из-за неисправности машин (аварийные), час.

Таблица 4

Статистические характеристики коэффициентов использования технологического оборудования

Наименование показателя	Погрузочно-доставочные машины								Самоходные буровые установки							
	Очистные работы				Проходческие работы				Очистные работы				Проходческие работы			
	Кп	Ки	Кг	Кс	Кп	Ки	Кг	Кс	Кп	Ки	Кг	Кс	Кп	Ки	Кг	Кс
Максимальное значение	0,76	0,96	0,97	0,92	0,79	0,87	0,96	0,88	0,61	1,01	0,92	0,86	0,77	0,96	0,89	0,94
Минимальное значение	0,50	0,39	0,68	0,71	0,43	0,61	0,70	0,61	0,25	0,36	0,71	0,52	0,44	0,56	0,75	0,60
Среднее значение	0,60	0,70	0,81	0,80	0,55	0,79	0,85	0,79	0,44	0,66	0,82	0,75	0,62	0,78	0,83	0,81
Стандартное отклонение	0,09	0,16	0,09	0,06	0,11	0,07	0,09	0,07	0,11	0,23	0,06	0,11	0,09	0,11	0,04	0,09
Размах	0,26	0,57	0,28	0,21	0,36	0,26	0,25	0,27	0,36	0,65	0,20	0,34	0,33	0,40	0,13	0,34
Коэффициент вариации, %	15,2	23,5	12,0	7,4	19,6	8,84	10,38	8,64	25,49	35,9	7,74	15,07	14,89	13,36	5,08	11,04

Регрессионный анализ основных технико-экономических показателей и коэффициентов использования технологического оборудования

Классификация оборудования	Тип работ	Статистически значимых зависимостей выявить не удалось				
		Кп Кс Кг Ки				
Погрузочно-доставочные машины	Очистные работы	Производительность среднесписочной машины (Пф)				
		Итого затрат на добычу (З) $3 = -6,3497 * Пф + 765925$ $R^2 = 0,61$	Себестоимость единицы (С) $C = -0,042 * Пф + 3290,8$ $R^2 = 0,4543$	Добыча (Д) $Д = 0,0017 * Пф + 727,27$ $R^2 = 0,531$	Простои всего (ΣПр) $Пф = -0,2956 * ΣПр + 16333$ $R^2 = 0,481$	Простои непланируемые (ΣПр _{нпл}) $Пф = -0,7923 * ΣПр_{нпл} + 17496$ $R^2 = 0,5303$
	Проходческие работы	Отработано оборудованием (Тф)				
		Итого затрат на добычу (З) $3 = 21,328 * Тф + 528360$ $R^2 = 0,56$	Себестоимость единицы (С) $C = 0,0462 * Тф + 2428,2$ $R^2 = 0,1512$	Добыча (Д) $Д = 0,0112 * Тф + 664,63$ $R^2 = 0,642$	Простои всего (ΣПр) $Тф = -0,7321 * ΣПр + 15487$ $R^2 = 0,5313$	Простои непланируемые (ΣПр _{нпл}) $Тф = -0,8523 * ΣПр_{нпл} + 12490$ $R^2 = 0,5913$
Самоходные буровые установки	Очистные работы	Статистически значимых зависимостей выявить не удалось				
		Статистически значимых зависимостей выявить не удалось				
	Проходческие работы	Производительность среднесписочной машины (Пф)				
		Итого затрат на добычу (З) $3 = 8,7281 * Пф + 493139$ $R^2 = 0,532$	Себестоимость единицы (С) $C = 0,034 * Пф + 2015,3$ $R^2 = 0,4633$	Добыча (Д) $Д = 0,0033 * Пф + 674,1$ $R^2 = 0,614$	Простои всего (ΣПр) $Пф = -1,1305 * ΣПр + 30314$ $R^2 = 0,4945$	Простои планируемые (ΣПр _{пл}) $Пф = -0,949 * ΣПр_{пл} + 25133$ $R^2 = 0,5115$
Проходческие работы	Отработано оборудованием (Тф)					
	Итого затрат на добычу (З) $3 = 9,8704 * Тф + 585451$ $R^2 = 0,622$	Себестоимость единицы (С) $C = 0,0208 * Тф + 2557,9$ $R^2 = 0,4624$	Добыча (Д) $Д = 0,0052 * Тф + 694,7$ $R^2 = 0,518$	Простои всего (ΣПр) $Тф = -0,2412 * ΣПр + 13364$ $R^2 = 0,5735$	Простои непланируемые (ΣПр _{нпл}) $Тф = -0,2972 * ΣПр_{нпл} + 11909$ $R^2 = 0,667$	
	Ки	Статистически значимых зависимостей выявить не удалось				

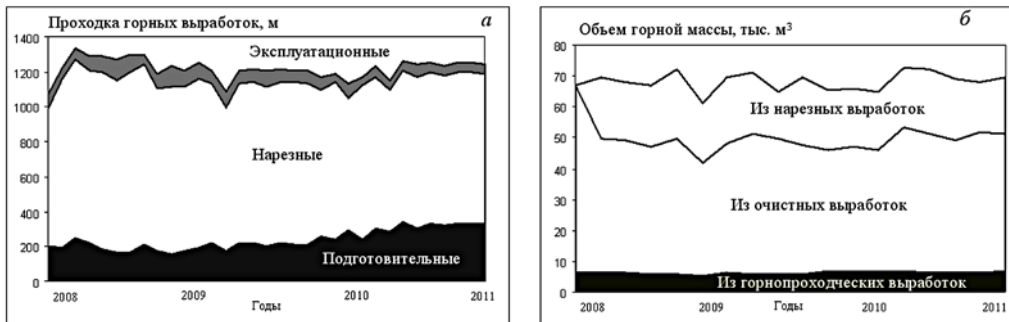


Рис. 1. Проходка горных выработок (а) и объем горной массы (б) на руднике за 2008-2011 гг.

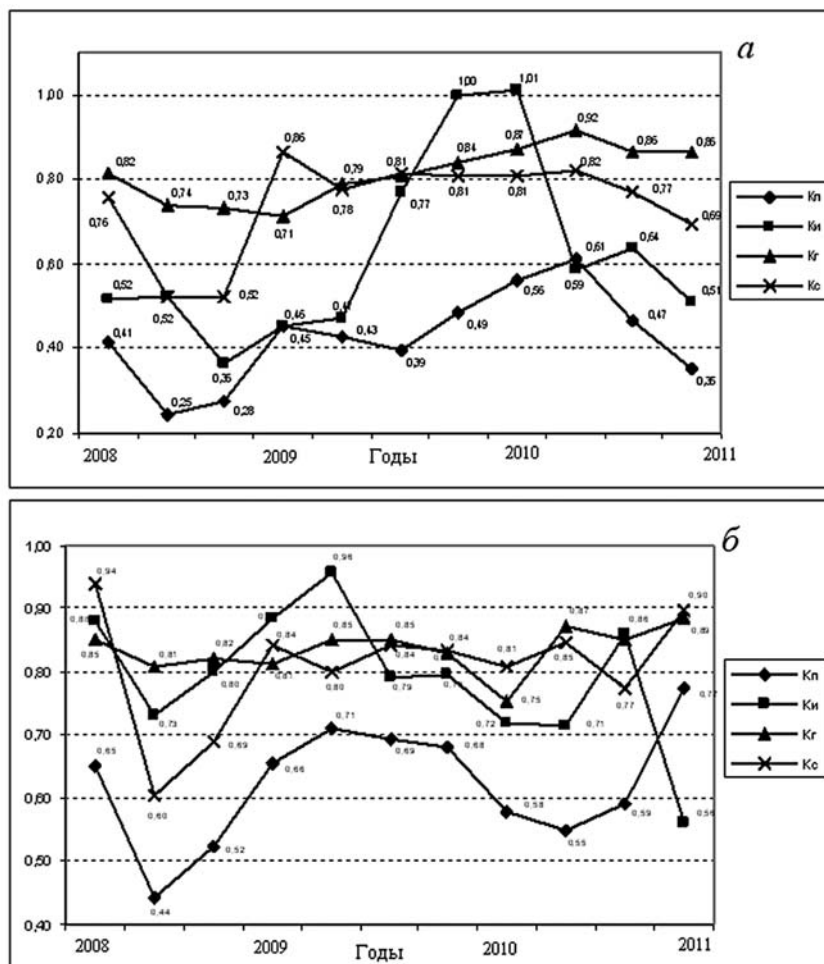


Рис. 2. Динамика коэффициентов использования технологического оборудования рудника (самоходные буровые установки на очистных (а) и проходческих (б) работах)

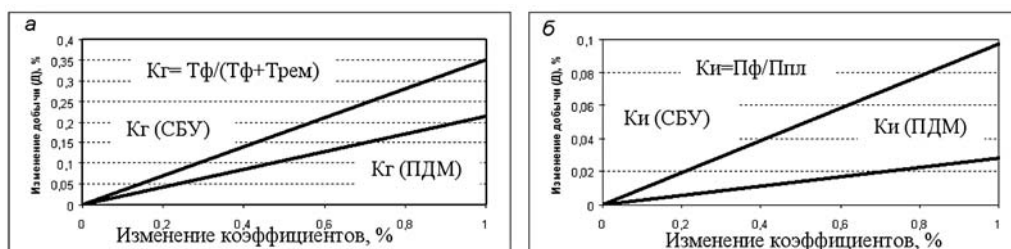


Рис. 3. Анализ чувствительности добычи от коэффициентов использования погрузочно-доставочных машин (K_i , K_f (ПДМ)) и самоходных буровых установок (K_i , K_f (СБУ)) на проходческих (а) и очистных (б) видах работ

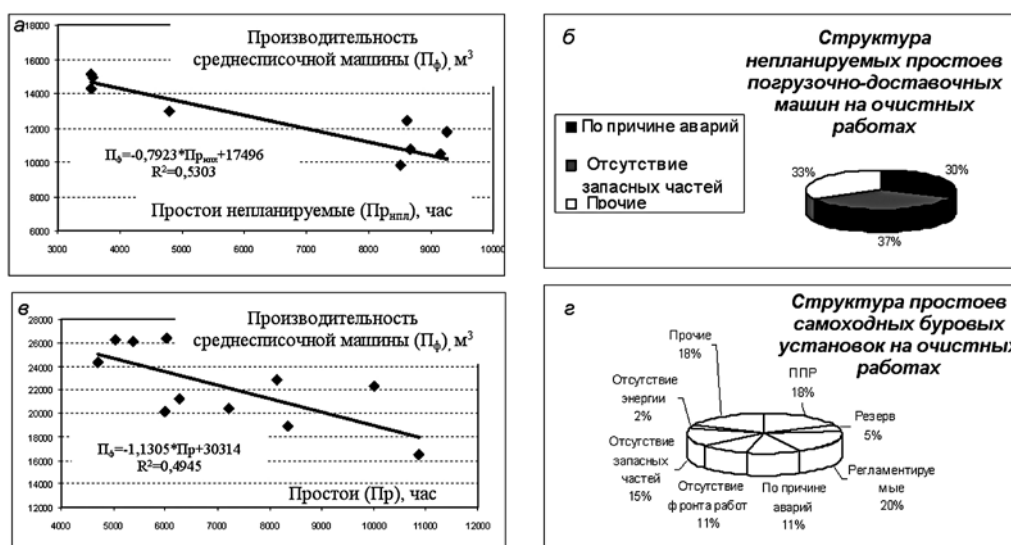


Рис. 4. Оценка влияния unplanned и общих простоев на показатели использования технологического оборудования погрузочно-доставочных машин (а, б) и самоходных буровых установок (в, г) соответственно на очистных работах

высокой степени оснащенности всех видов работ современным высокопроизводительным оборудованием (табл. 1) на предприятии наблюдаются крайне не стабильные тенденции его использования (стандартное отклонение, коэффициент вариации) (табл. 2).

Кроме того, на сегодняшний день на предприятии имеет место стойкая тенденция роста затрат (как материальных так и временных), связанных с использованием оборудования по причине возникновения аварий, отсутствия запасных частей, организа-

ционным причинам, в связи с увеличением случаев производственного травматизма, поэтому первоочередной задачей предприятия должно являться снижение уровня этих показателей и выявление факторов оказывающих на них непосредственное влияние.

Учитывая, что большую часть проходки горных выработок составляют нарезные выработки (рис. 1), а объем горной массы добывается в основном из очистных выработок, то дальнейший анализ использования технологи-

ческого оборудования рассматривался на очистных и нарезных видах работ.

Для анализа работы технологического оборудования были рассчитаны коэффициенты его использования (табл. 3, 4).

Анализ динамики (рис. 2) данных коэффициентов для каждого типа оборудования (погрузочно-доставочные машины и самоходные буровые установки) на очистных и проходческих работах позволил выявить, что в течение исследуемого периода коэффициенты практически на всех видах работ были ниже 1, что свидетельствует о неэффективности использования оборудования.

На основе метода наименьших квадратов была построена корреляционная матрица и проведен регрессионный анализ основных технико-экономических показателей и коэффициентов использования технологического оборудования (табл. 5). На основании коэффициентов регрессионной зависимости был проведен анализ чувствительности добычи и затрат от коэффициентов использования погрузочно-доставочных машин (ПДМ) и самоходных буровых установок (СБУ) на проходческих работах (рис. 3), который позволил выявить наиболее значимый коэффициент готовности (K_g), зависящий от времени отработанного оборудованием ($T_{ф} = f(\sum P_{рнпл})$) (табл. 5), в структуре которых значительную часть занимают простои, связанные с отсутствием запасных частей 65 % и простои по причине аварий 38 % соответственно. Следовательно, снижение уровня вышеуказанных простоев повлечет за собой увеличение $T_{ф}$ и соответственно K_g , и как следствие увеличение объема добываемой руды.

Для СБУ и ПДМ на очистных работах значимым коэффициентом являет-

ся коэффициент интенсивного использования оборудования ($K_{и}$) (рис. 3), зависящий от производительности среднесписочной машины. Регрессионный анализ выявил зависимость производительности среднесписочной машины СБУ на очистных работах от общих простоев ($P_{ф} = f(\sum P_r)$), и производительности ПДМ на очистных работах от непланируемых простоев ($P_{ф} = f(\sum P_{рнпл})$), основная доля которых приходится на простои, связанные с отсутствием запасных частей 15 % и 37 % соответственно (рис. 4). Таким образом для увеличения производительности оборудования, которая повлечет за собой увеличение $K_{и}$ и соответственно добычи, необходимо снижать простои связанные с отсутствием запасных частей.

Следовательно, для повышения объема добываемой руды и снижения материальных и временных затрат, связанных с использованием оборудования необходимо: увеличить производительность среднесписочной машины и время отработанное оборудованием на очистных и проходческих работах для погрузочно-доставочных машин и самоходных буровых установок на очистных работах за счет уменьшения простоев связанных с отсутствием запасных частей, что повлечет за собой увеличение коэффициента интенсивного использования и коэффициента готовности оборудования.

Кроме того, проведенный анализ позволил выявить, что увеличить время отработанное оборудованием для самоходных буровых установок на проходческих работах, возможно путем уменьшения простоев по причине аварий, вследствие чего произойдет увеличение коэффициента готовности оборудования и как следствие объема добываемой руды.

Поэтому, одними из основных факторов, влияющих на работу оборудования и объем добычи, являются простои, связанные с отсутствием запасных частей и простои по причине аварий.

Таким образом, основными факторами, оказывающими влияние на эффективность использования технологического оборудования являются: простои, связанные с отсутствием запасных частей и простои по причине аварий. Следовательно, повышение эффективности использования технологического оборудования возможно с первоочередной реализацией мероприятий связанных с уменьшением величины вышеуказанных простоев.

С учетом ряда технических и организационных ограничений получены следующие результаты:

1) зависимости уровня риска возникновения аварийных ситуаций от времени работы оборудования при существующих условиях функционирования ($R_1=0,0821 e^{0,1986t}$, $R^2=0,98$) и при условии реализации предлагаемых мероприятий ($R_2=0,064 e^{0,2084t}$, $R^2=0,96$);

2) зависимости суммарной экономической эффективности от реализации комплекса мероприятий от времени работы оборудования ($\Theta = 0,1306 e^{0,2012t}$, $R^2=0,93$);

3) предложен комплекс мероприятий по снижению уровня риска возникновения простоев и аварийных ситуаций, позволяющий снизить ущерб от аварийных ситуаций на (4,17 %). При этом произойдет увеличение периодичности капитальных ремонтов на 12,9 % (6,45 года вместо 5 лет);

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А. Статистическое исследование зависимостей. –М., Статистика, 1982.

2. Гончаренко С.Н., Жуковский С.А. Анализ влияния производительности технологического оборудования на эффективность функционирования горнорудного предприятия. Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: МГГУ, № 10 (Отдельный выпуск «Информатизация и управление»), 2008.

3. Гончаренко С.Н. Оценка влияния эффективности использования технологического оборудования на результаты производственно-хозяйственной деятельности горнодобывающего предприятия. Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: МГГУ, №10, 2007.

4. Федунец Н.И., Гончаренко С.Н. Механизм повышения технологической эффек-

тивности функционирования горнодобывающего предприятия в структуре компании в условиях неполноты информации. Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий: Матер. VI Международной конференции. – Владикавказ: «Терек», 2007.

5. Романов В.С. Бутуханов А.В. Риски предприятия как составная часть рисков. Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах: Труды международной научной школы МА БРК-2006. — СПб. — НПО «Омега», 2001. — 223 с.

6. Методически указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов. РД 08-120-96.25с

7. Родионов Н.С., Ганзен Г.А, Кирсанов А.Н., Теслинов М.И. Горное и буровое оборудование — М.: Недра, 2003, 445с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Петров Вадим Леонидович — доктор технических наук, профессор,

Гончаренко Сергей Николаевич — доктор технических наук, профессор, gs16@mail.ru,

Парсегов А.С. — аспирант,

Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru