

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ МЛИНІВ САМОПОДРІБНЕННЯ РУД В УМОВАХ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

Микола Сокур

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Україна, 39600
ORCID: 0000-0001-6779-3293

Роман Аргат

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Україна, 39600, argat.rg@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9247-5297

Володимир Білецький

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002, ukcdb@i.ua
ORCID: 0000-0003-2936-9680

Денис Божик

ПрАТ «Суха Балка», вул. Конституційна, 5, Кривий Ріг, Україна, 50000
ORCID: 0000-0001-7620-7997

Подрібнення в процесі рудопідготовки забирає до 30–40% собівартості залізорудного концентрату. У разі продуктивності сучасного великого млина 250 т/год (по концентрату) добові простої призводять до втрати 6000 т продукції. Тому надійність роботи рудопомельного цеху має непересічно велике значення, позаяк визначає надійність рудозбагачувального процесу загалом. Під експлуатаційною надійністю млинів мається на увазі здатність подрібнювати гірничу масу до необхідної крупності, зберігаючи свої експлуатаційні та технічні показники в заданих межах протягом певного проміжку часу між плановими обслуговуваннями. Для визначення експлуатаційної надійності виконано збір первинних даних про роботу млинів самоподрібнення та систематизація первинної інформації за розробленим «Журналом спостережень за роботою обладнання». На основі експериментальних даних встановлена експлуатаційна надійність млинів ММС–70–23 та МБ–90–30 в умовах Інгулецького ГЗК.

Ключові слова: залізні руди, рудопідготовка, млини самоподрібнення, показники надійності, Інгулецький ГЗК, Криворізький залізорудний басейн.

Актуальність роботи. Інженерія надійності тісно пов'язана з інженерією якості, інженерією безпеки та системною безпекою. Інженерна надійність зосереджується на витратах на поломки, викликані простоем системи, вартості запасних частин, ремонтного обладнання, персоналу та вартості гарантійних претензій.

Зі зростанням одиничної потужності подрібнювального обладнання особливої актуальності набуває завдання підвищення його надійності і довговічності. Простої млинів через відмови наносять великий економічний збиток підприємству. У разі продуктивності сучасного великого млина 250 т/год (по концентрату) добові простої призводять до втрати 6000 т продукції [1; 2]. На сучасних збагачувальних фабриках, згідно з технологічними схемами, в одному послідовному ланцюзі працюють 20–30 агре-

гатів. Відмова одного з них веде до порушення всього виробничого процесу і може звести нанівець ефективність сучасної технології. Проблеми надійності машин і обладнання почали посилено досліджуватися у 1950–60-і роки. Основи теорії надійності викладено в роботах В.П. Тренера, Н.А. Шишонка, Я.Б. Шора, Б.В. Гнеденка та ін. [2]. Для найбільш повної характеристики надійності млинів розраховуються показники по безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності. Збір та обробка експлуатаційних даних, побудова розподілів досліджуваних параметрів проводяться за методикою [2; 3; 4].

Матеріал і результати досліджень. Експлуатаційна надійність млинів ММС–70–23. Обробка та дослідження експлуатаційних статистичних даних поточних значень параметрів «напрацювання на відмову», «час відновлення»,

«ресурс до капітального ремонту» млинів ММС–70–23 проводилися на II черзі збагачувальної фабрики ІНГЗК (таблиці 1–3).

За даними таблиць будувалися гістограми або полігони, а також криві законів розподілу зазначених параметрів (рис. 1, 2). Як впливає з кривих на рис. 1, параметри «напрацювання на відмову» і «час відновлення» задовільно описуються експоненціальними законами розподілу. Ряд значень параметрів «ресурс до капітального ремонту» підпорядковується нормальному закону розподілу (рис. 2).

На підставі статистичних експлуатаційних даних, зібраних у журналах спостережень за роботою обладнання, за методикою [2; 3] визначаються середні числові значення показників надійності млинів ММС–70–23, а також довірчі смуги для деяких основних показників надійності.

Середні значення показників надійності, що характеризують фактичну експлуатаційну надійність млинів самопідрібнення в умовах ІНГЗК: показники безвідмовності – напрацювання на відмову $T_1 = 98 \pm 14$ год, параметр потоку відмов $\lambda = 10,2 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹, ймовірність безвідмовної роботи $P(t) = 0,93$; показники довговічності – ресурс до капітального ремонту $R = 3580 \pm 465$ год, середній час відновлення $T_2 = 3,05 \pm 0,33$ год; узагальнені показники надійності – коефіцієнт готовності $K_r = 0,96$, коефіцієнт технічного використання $K_{тi} = 0,92$.

Крім того, визначено коефіцієнти відносних простоїв, які для наглядності і зручності аналізу представлені у вигляді гістограм (рис. 3 – залежно від характеру причин простоїв, рис. 4 – через відмови основних вузлів млина).

Як впливає з гістограми на рис. 3, майже 62% простоїв млинів відбувається з технічних причин,

Таблиця 1

Результати обробки статистичних даних про розподіл

Інтервал	Середина інтервалу	Емпірична частота	Емпірична частотність	Теоретична ймовірність	Теоретична частота	Накопичена емпірична частота	Накопичена теоретична частота	Різниця накопичених частот
21–111	66	132	0,7540	0,6704	117,20	132	117,20	15,20
111–201	156	15	0,0858	0,1956	34,20	147	151,40	4,40
201–291	246	9	0,0514	0,0795	13,90	156	165,30	0,30
291–381	336	10	0,0572	0,0574	10,10	166	175,40	9,40
381–471	426	4	0,0228	0,0130	2,28	170	177,68	7,68
471–561	516	1	0,0057	0,0054	0,94	171	178,62	7,62
561–651	606	1	0,0057	0,0022	0,39	172	179,01	7,01
651–741	696	3	0,0172	0,0009	0,16	175	179,17	4,17

Примітка. Критерій узгодженості Колмогорова – 1,15.

Таблиця 2

Результати обробки статистичних даних про розподіл параметра «час відновлення» млина ММС–70–23

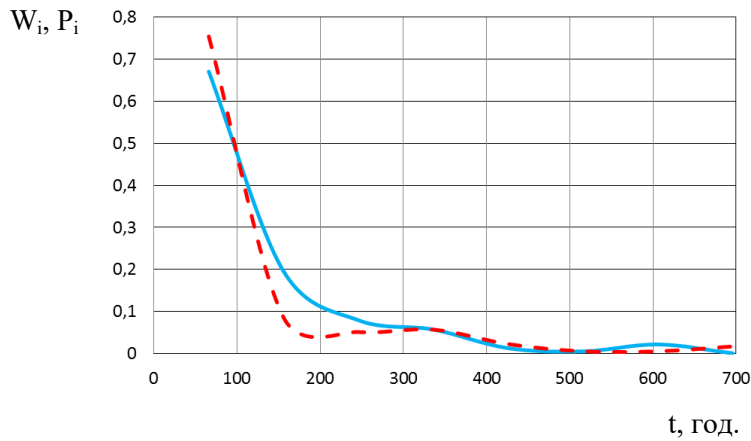
Інтервал	Середина інтервалу	Емпірична частота	Емпірична частотність	Теоретична ймовірність	Теоретична частота	Накопичена емпірична частота	Накопичена теоретична частота	Різниця накопичених частот
0,08–2,85	1,47	125	0,714	0,619	109,00	125,0	109,00	16,00
2,85–5,62	4,24	24	0,138	0,246	43,10	149,0	152,10	3,10
5,62–8,39	7,01	8	0,046	0,098	17,20	157,0	169,20	12,20
8,39–11,16	9,78	5	0,028	0,040	7,00	162,0	176,20	14,20
11,16–13,96	12,55	4	0,023	0,016	2,80	166,0	179,00	13,00
13,96–16,70	13,32	4	0,023	0,004	0,70	170,0	180,60	10,60
16,70–19,47	18,09	3	0,017	0,002	0,35	173,0	180,95	7,95
19,47–22,24	21,84	2	0,011	0,007	0,12	175,0	181,07	6,07

Примітка. Критерій узгодженості Колмогорова – 1,21.

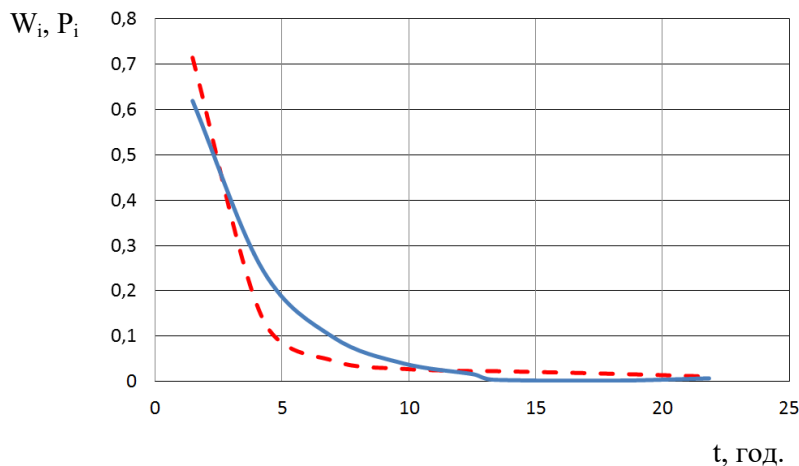
Результати обробки статистичних даних про розподіл параметра «ресурс до капітального ремонту» млина ММС–70–23

Інтервал	Середина інтервалу	Емпірична частота	Емпірична частотність	Теоретична ймовірність	Теоретична частота	Накопичена емпірична частота	Накопичена теоретична частота	Різниця накопичених частот
1030–1950	1490	2	0,038	-242	0,02134	0,028	1,486	0,183
1950–2870	2410	5	0,095	-1,360	0,15820	0,170	9,02	1,780
2870–3790	3300	27	0,510	-0,302	0,38140	0,408	21,60	2,010
3790–4710	4250	16	0,302	0,780	0,29430	0,315	16,70	0,0293
4710–5630	5170	1	0,018	1,350	0,72060	0,077	4,08	0,0208
5630–6550	6090	2	0,037	2,920	0,05616	0,060	3,18	0,435

Примітка. Критерій узгодженості Колмогорова – 0,712.



— теоретичне розподілення параметрів;
 - - - емпіричне розподілення параметрів.



— теоретичне розподілення параметрів;
 - - - емпіричне розподілення параметрів.

Рис. 1. Емпіричні і відповідні теоретичні розподіли параметрів: а – напрацювання на відмову, б – тривалість відновлення.

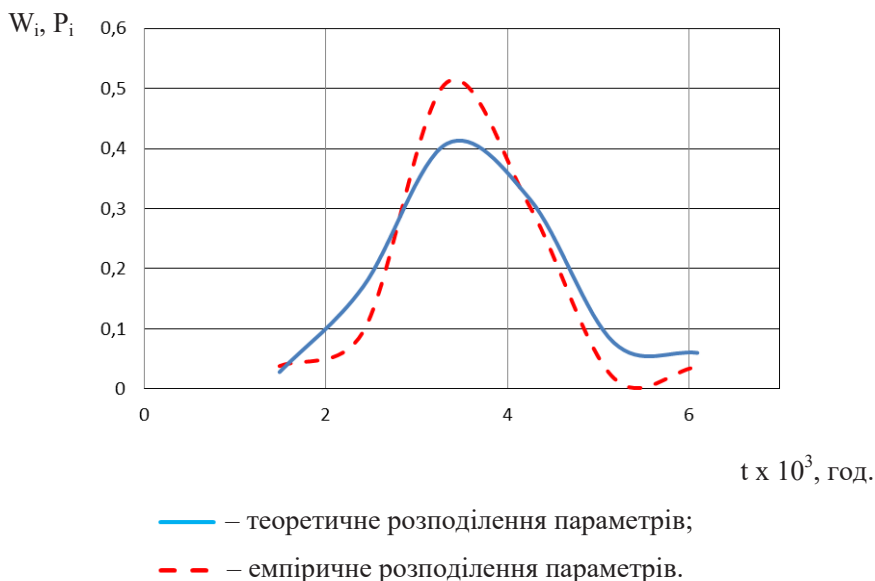


Рис. 2. Емпіричний і відповідний йому теоретичний розподіл параметра «ресурс до капітального ремонту»

з них близько 27% – через аварійні відмови вузлів і деталей. За даними журналів спостережень, простої млина протягом року становили більше 14 000 год., тобто 13,6% загального робочого часу. Це рівнозначно тому, що 2 млини з 12 не працювали через простої протягом року. Отже, зменшення простоїв хоча б наполовину рівнозначно введенню в експлуатацію додатково ще одного млина, вартість виготовлення якого близько 300 тис. у.о.

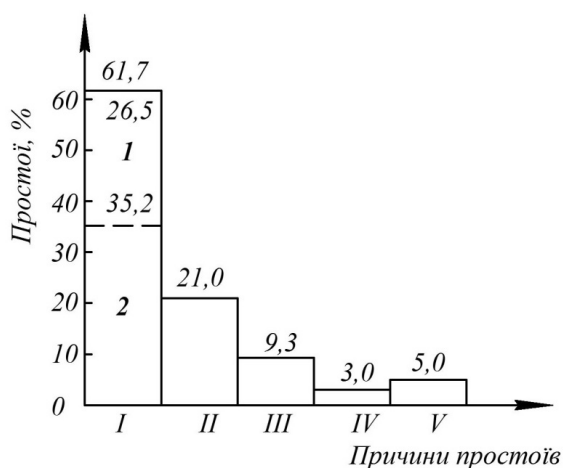


Рис. 3. Гістограма розподілу простоїв млинів ММС-70-23 з різних причин: I – технічні причини (1 – відмови механічної частини; 2 – планово-попереджувальний ремонт); II – відсутність руди; III – технологічні причини; IV – відмова електричної частини; V – інші причини (тут і на рис. 4 цифри – простої, %).

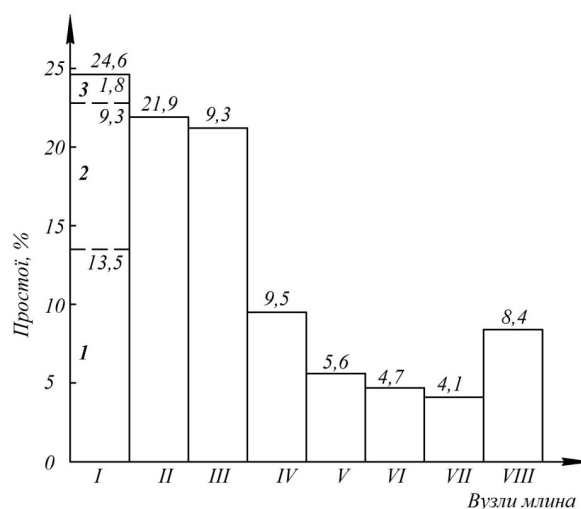


Рис. 4. Гістограма розподілу простоїв млинів через відмови окремих вузлів: I – привод (1 – вал-шестерня, 2 – редуктор, 3 – муфта); II – підшипники; III – бутара, IV – решітка; V – футеровка, VI – барабан; VII – завантажувальна течка; VIII – інші вузли.

З рис. 4 видно, що майже четверта частина простоїв млинів (24,6%) з технічних причин відбувається через відмову привода млина, при цьому більша частина з них (13,6%) – через відмови вала та шестірні відкритої передачі, а також редукторів Ц2Ш-1000 і Ц2Ш-1250 (9,3%).

Млин МБ-90-30. Дослідний зразок найбільшого вітчизняного млина МБ-90-30 з діаметром

барабана 9 м виготовлений за технічним завданням Механообрчормет і встановлено на дослідній секції збагачувальної фабрики ІнГЗК, де були проведені промислові випробування та всебічні дослідження млина. В процесі випробувань велися безперервні спостереження, збір і обробка статистичних даних про надійність млинів згідно із зазначеною вище методикою і за аналогією з млином ММС–70–23 (табл. 4).

Як видно з рис. 5, розподіл параметра «час відновлення» задовільно описується експоненціальним законом, отже, основна маса відмов млина носить раптовий характер і виникнення їх визначається дією випадкових факторів [4]. Це стосується насамперед барабана млина, відмови якого не пов'язані зі зносом або втомою металу, мають не поступово наростаючий, а раптовий характер у результаті недостатньої міцності і надійності конструкції барабана.

На підставі статистичних експериментальних даних про відмови і часу відновлення основного технологічного обладнання дослідної секції побудовані гістограми розподілу часу простоїв секції внаслідок відмов окремих типів обладнання (рис. 6). Так, простої секції внаслідок відмов млина становлять 73%, що свідчить про неприпустимо низьку надійність першого дослідного зразка млина МБ–90–30.

На другому місці за тривалістю простоїв перебуває класифікатор КСН 3,0×17,2, що також вказує на його недостатню надійність.

Для виявлення найменш надійних вузлів побудована гістограма розподілу часу простоїв млинів з технічних причин через відмови основних вузлів (рис. 7). Як видно з рисунка, майже 60% простоїв з технічних причин відбувається внаслідок відмов барабана, що свідчить про недосконалість

його конструкції, низьку міцність і надійність. У перший період випробувань млин простояв близько 5000 год. через поломки барабана, тобто практично первісна (заводська) конструкція барабана цього млина виявилася непрацездатною. На другому місці за тривалістю простоїв перебуває привод млина (більше 25%, тобто як і млини ММС–70–23), при цьому найменш надійним вузлом привода є редуктор (16,6% часу простоїв). Не досить надійним вузлом млина є також футерування та решітка (7,4% часу простоїв). Отже, аналіз надійності дослідного зразка млина МБ–90–30 показав, що для підвищення його загальної надійності та ефективності роботи насамперед необхідно провести детальні дослідження з метою удосконалення конструкції і підвищення надійності його барабана, привода, футеровки і решітки.

Одержані нами результати комплексу модельних досліджень млинів самоподрібнення [5] кореспондують з експериментальними даними щодо їх надійності.

Висновки. Для млинів ММС–70–23 та МБ–90–30 в умовах збагачувальної фабрики Інгулецького ГЗК отримані емпіричні і відповідні теоретичні розподіли параметрів: напрацювання на відмову, тривалість відновлення, які задовільно описуються експоненціальними законами розподілу. Отримані значення параметру «ресурс до капітального ремонту» підпорядковується нормальному закону розподілу. Для вказаних млинів самоподрібнення експериментально визначено коефіцієнти відносних простоїв, які для наглядності і зручності аналізу представлені у вигляді гістограм: залежно від характеру причин простоїв, відмови основного технологічного обладнання секції, внаслідок відмови основних вузлів млина.

Таблиця 4

Результати обробки статистичних даних про розподіл параметра «час відновлення» млина МБ–90–30

Інтервал	Середина інтервалу	Емпірична частота	Емпірична частотність	Теоретична ймовірність	Теоретична частота	Накопичена емпірична частота	Накопичена теоретична частота	Різниця накопичених частот
10–204	107	52	0,531	0,5002	49,02	52	49,02	2,98
204–398	301	17	0,173	0,2414	23,66	69	72,68	3,68
398–592	495	15	0,153	0,1248	12,33	84	84,91	0,91
592–786	689	8	0,082	0,0645	6,32	92	91,23	0,77
786–980	883	3	0,031	0,0334	3,27	95	94,50	0,50
980–1174	1077	–	–	0,0172	1,69	95	96,19	1,19
1174–1368	1271	2	0,020	0,0090	0,88	97	97,07	0,07
1368–1562	1465	1	0,010	0,0046	0,45	98	97,52	0,48

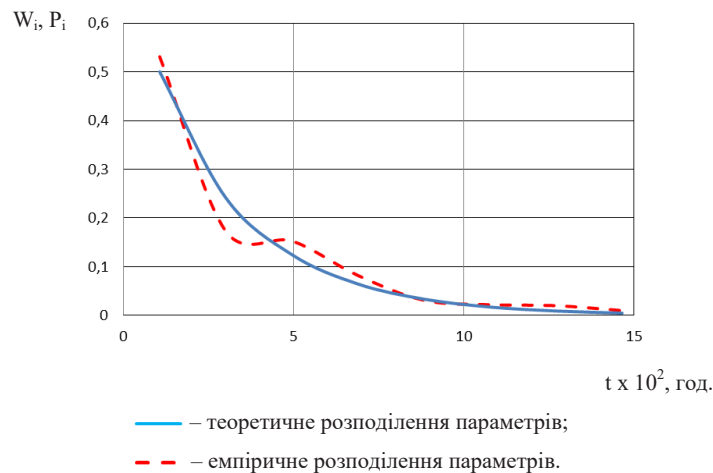


Рис. 5. Емпіричний і відповідний йому теоретичний розподіл параметра «час відновлення» дослідного зразка млина МБ–90–30 в умовах ІнГЗК.

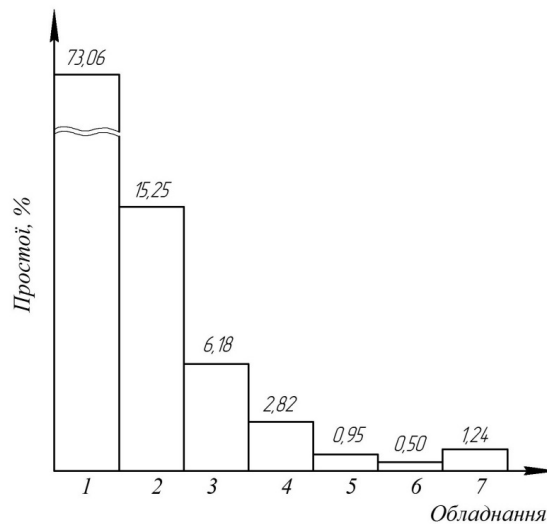


Рис. 6. Гістограма часу простоїв дослідної секції фабрики через відмови основного технологічного обладнання секції: I – млин МБ–90–30; 2 – класифікатор; 3 – конвеєр і живильники, 4 – насоси ГРН; 5 – млин МРГ–55–75; 6 – сепаратори; 7 – інше обладнання.

При цьому виділявся такий характер причин простоїв: I – технічні причини (1 – відмови механічної частини; 2 – планово-попереджувальний ремонт); II – відсутність руди; III – технологічні причини; IV – відмова електричної частини; V – інші причини.

Відстежувалося таке основне технологічне обладнання секції: 1 – млини; 2 – класифікатор; 3 – конвеєр і живильники, 4 – насоси ГРН; 5 – сепаратори; 6 – інше обладнання.

Відстежувалися відмови таких основних вузлів млина: I – барабан; II – привод (1 – редуктор,

2 – електродвигун, 3 – вал-шестірна, 4 – муфта); III – футерування та решітка; IV – бутара; V – електрична частина; VI – мастило і гідропідпор; VII – підшипники; VIII – завантажувальна течка.

Одержані експериментальні дані можуть бути використані для розробки технічних рішень щодо підвищення надійності млинів самоподрібнення та технологічного обладнання рудопомельної секції збагачувальної фабрики.

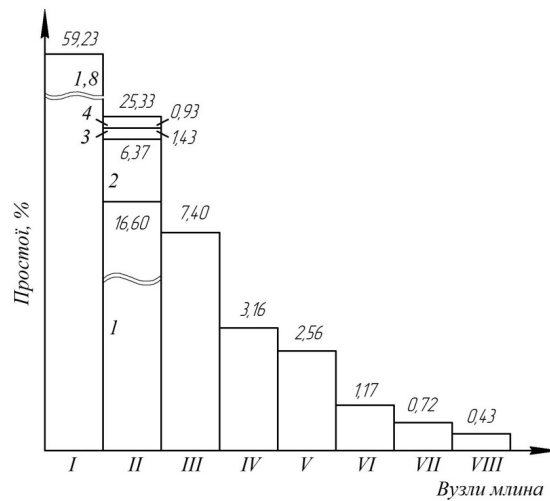


Рис. 7. Гістограма часу простоїв млинів МБ–90–30 через відмови основних вузлів млина: I – барабан; II – привод (1 – редуктор, 2 – електродвигун, 3 – вал-шестірня, 4 – муфта); III – футерування та решітка; IV – бутара; V – електрична частина; VI – мастило і гідропідпор; VII – підшипники; VIII – завантажувальна течка.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ягунов А.В. Мельницы самоизмельчения. Москва : Недра, 1978. 35 с.
2. Потураев В.Н., Сокур М.И. Мельницы самоизмельчения. Киев : Наукова думка, 1991. 195 с.
3. Ягунов А.В., Марутов В.А., Сокур Н.И. Исследование эксплуатационной надежности мельниц самоизмельчения МБ–70–23. *Реф. сб. НИИИИформтяж-*

маш. Горнорудное оборудование, 1973. № 2–73–39. С. 12–15.

4. Отраслевая методика обработки машин и оборудования на надежность в эксплуатации. Кривой Рог, 1968. 112 с.
5. Сокур М.І., Білецький В.С., Божик Д.П. Збірник наукових праць. Кременчуц. нац. ун-т ім. М. Остроградського. Кременчук : Новабук, 2022. 294 с.

STUDY OF THE RELIABILITY PARAMETERS OF SELF-FINISHING ORE MILLS IN THE CONDITIONS OF THE KRYVORIZ BASIN

Mykola Sokur

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, 20, Pershotravneva St., Kremenchuk, Ukraine, 39600, argat.rg@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6779-3293

Roman Arhat

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, 20, Pershotravneva St., Kremenchuk, Ukraine, 39600, argat.rg@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9247-5297

Volodymyr Biletskyi

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, 2, Kyrpychova str., Kharkiv, Ukraine, 61002, ukcdb@i.ua
ORCID: 0000-0003-2936-9680

Denis Bozhyk

Private Joint-Stock Company “Suha Balka”, 5, Konstitutsiiyna St., Kryvyi Rih, Ukraine, 50000
ORCID: 0000-0001-7620-7997

Grinding in the process of ore preparation takes up to 30–40% of the cost of iron ore concentrate. With the productivity of a modern large mill of 250 t/h (concentrate), daily downtime leads to a loss of 6.000 t of products. Therefore, the reliability of the ore grinding shop is extremely important, as it determines the reliability of the ore beneficiation process in general. Operational reliability of mills refers to the ability to grind mining mass to the required size, maintaining its operational and technical indicators within the specified limits during a certain period of time between scheduled maintenance. To determine the operational reliability, the collection of primary data on the operation of self-grinding mills and the systematization of primary information according to the developed “Log of observations of the operation of the equipment” were carried out. On the basis of experimental data, the operational reliability of MMS-70-23 and MB-90-30 mills in the conditions of the Ingulets GZK was established.

Key words: iron ore, ore preparation, self-crushing mills, reliability indicators, Ingulets GZK, Kryvorizkyi Iron Ore Basin.

REFERENCES

1. Yagupov, A.V. (1978). Mel'nitsy samoizmel'cheniya [Self-grinding mills]. *Nedra*, Moscow, 35 p. [in Russian].
2. Poturaev, V.N., Sokur, M.I. (1991). Mel'nitsy samoizmel'cheniya [Self-grinding mills]. *Naukova dumka [Scientific thought]*. Kyiv, 195 p. [in Russian].
3. Yagupov, A.V., Marutov, V.A., Sokur, N.I. (1973). Issledovaniye ekspluatatsionnoy nadezhnosti mel'nits samoizmel'cheniya MB-70-23 [Investigation of the operational reliability of self-grinding mills MB-70-23]. *Gornorudnoye oborudovaniye [Mining equipment]*. No. 2–73–39. Pp. 12–15 [in Russian].
4. Otralevaya metodika otrabotki mashin i oborudovaniya na nadezhnost' v ekspluatatsii [Industry methodology for testing machines and equipment for reliability in operation]. (1968). *Krivoy Rog*, 112 p. [in Russian].
5. Sokur, M.I., Biletsky, V.S., Bozhyk, D.P. (2022). Zbirnyk naukovykh prats [Collection of scientific works]. *Nova buk*. Kremenchuk, 294 p. [in Ukrainian].

Стаття надійшла 27.05.2022