

С пуском на предприятии АО «АрселорМиттал Темиртау» в 2005 г. МНЛЗ и переходом на непрерывнолитые слябы, а также расширением сортамента прокатываемых сталей изменились условия эксплуатации оборудования непрерывного широкополосного стана (НШПС) 1700. Прокатка непрерывнолитых слябов с большими, по сравнению с катанными, размерами привела к ряду проблем. Одна из них – увеличение силы прокатки и, как следствие, ужесточение условий работы клетей и приводов, в ряде случаев их перегрузка. Возросли отказы оборудования НШПС-1700 и связанное с ними время простоев стана, т.е. снизилась надёжность оборудования [1].

При изменившихся условиях работы оборудования стана возникла необходимость исследования его надёжности, выявления законов распределения вероятности безотказной работы, являющейся основным показателем надёжности оборудования. Целью настоящей работы является исследование законов распределения вероятности безотказной работы оборудования НШПС-1700 при прокатке непрерывнолитых слябов.

Определение вероятности безотказной работы оборудования НШПС-1700 проведено на основе статистических данных о работе стана за период между капитальными ремонтами, произведёнными 02.09.2008 г. и 02.11.2009 г. Продолжительность безотказной работы определяли с учётом простоев стана между отказами на текущих ремонтах.

Оборудование стана было разделено на 34 группы в технологической последовательности – от участка загрузки до уборочной линии стана. Отдельно были выделены группы оборудования и системы, выполняющие аналогичные функции на различных участках стана: системы водяного охлаждения и гидросбива окалины, гидравлические системы и системы смазки, механизмы перевалки валков, направляющие линейки [2]. Надёжность основных агрегатов стана – окалиноломателей, клетей черновой и чистовой групп стана, летучих ножниц – рассматривалась индивидуально, что позволяло проанализировать влияние технологических параметров на их работоспособность.

В таблице 1 приведены данные об отказах оборудования между капитальными ремонтами и средняя наработка на отказ, определяемая по формуле:

$$T_0 = \sum_{i=1}^r \frac{t_i}{r}, \quad (1)$$

где  $t_i$  –  $i$ -наработка между отказами;

$r$  – число отказов в течение наблюдаемой наработки.

Подчеркнём, что учитывались только те отказы оборудования, которые приводили к простоям стана.

Для групп оборудования, обладающих наиболее

представительными выборками и имеющих наибольшее число отказов – № 15; № 16; № 19; № 21; № 24; № 26; № 32 (номера как в табл. 1), – составили статистические ряды и построили гистограммы.

На основе статистических рядов и гистограмм определили виды теоретических распределений, рассчитали основные параметры распределений (математическое ожидание  $m(t)$ , дисперсию  $D(t)$ , среднеквадратическое отклонение  $s(t)$  времени безотказной работы), доверительные границы, построили теоретические кривые плотности вероятности безотказной работы.

В таблице 2 приведены результаты обработки статистических данных, на рис. 1 и 2 – гистограммы и теоретические кривые плотности вероятности безотказной работы.

Установлено, что распределение времени безотказной работы групп № 26 и № 32 описывается экспоненциальным законом, остальных – законом Вейбулла.

Для экспоненциального закона плотность вероятности безотказной работы за время  $t$  [3, 4]:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов (параметр закона распределения), определяемая из выражения

$$\lambda = 1/T_0, \quad (3)$$

где  $T_0$  – средняя наработка на отказ (или среднее время безотказной работы).

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - Q(t) = \exp(-\lambda t). \quad (4)$$

Вероятность отказа

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - \exp(-\lambda t). \quad (5)$$

Для закона распределения Вейбулла плотность вероятности безотказной работы

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right], \quad (6)$$

где  $a$  – параметр масштаба (задаёт масштаб кривой распределения по оси абсцисс);

$b$  – параметр формы (определяет остроту и асимметрию кривой плотности распределения).

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]. \quad (7)$$

Вероятность отказа

$$Q(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]. \quad (8)$$

Таблица 1 – Число отказов оборудования НШПС-1700 между капитальными ремонтами и средняя наработка на отказ

Группа оборудования	Число отказов	T <sub>о</sub> , час	Группа оборудования	Число отказов	T <sub>о</sub> , час
1. Загрузочный рольганг	5	1756,8	18. Клеть № 9	14	654
2. Печные толкатели	-	-	19. Клеть № 10	17	546,6
3. Приемный рольганг	9	1008	20. Клеть № 11	13	675,7
4. Рольганги черновой группы	9	923,1	21. Клеть № 12	32	267,1
5. Вертикальная клеть	1	3844	22. Проводковые столы	13	648,3
6. Черновой окалиноломатель	4	2242	23. Петледержатели	2	4386
Черновые клетки			24. Направляющие линейки	60	155,3
7. Клеть № 1	5	1416,8	25. Отводящий рольганг	13	693,38
8. Клеть № 2	4	2009	26. Первая группа моталок (№ 1-№ 3)	105	89,49
9. Клеть № 3	3	3046	27. Вторая группа моталок (№ 4-№ 5)	0	-
10. Клеть № 4	3	3068	28. Конвейер уборочной линии стана	2	3714
11. Клеть № 5	4	1448,4	29. Подъемно-поворотные столы	4	2051
12. Промежуточный рольганг	3	2964	30. Кантователи	-	-
13. Летучие ножицы	1	5916	31. Гидроблоки	10	839,6
14. Чистойой окалиноломатель	-	-	32. Гидравлические системы и системы смазки	60	156,13
Чистовые клетки			33. Системы водяного охлаждения и гидросби- ва окалины	9	792
15. Клеть № 6	21	441,7	34. Механизмы перевалки валков	13	722,77
16. Клеть № 7	16	563,8			
17. Клеть № 8	14	666,3			

Таблица 2 – Результаты обработки статистических данных

Группа оборудования	Число отказов	m(t), час	D(t)	s(t)	Доверительная граница наработки на отказ при P=0,9	
					нижняя T <sub>о</sub> , час	верхняя T <sub>о</sub> , час
15. Клеть № 6	21	441,7	232 405,3	482,1	307,1	576,3
16. Клеть № 7	16	563,8	247 815,4	497,8	404,2	723,4
19. Клеть № 10	17	546,6	415 939,9	644,9	346,1	747,1
21. Клеть № 12	33	259	73 985,8	272	198,4	319,6
24. Направляющие линейки	60	155,4	41 529,1	203,7	121,7	189,1
26. Первая группа моталок (№ 1-3)	105	92,5	8 738,6	93,5	80,8	104,2
32. Гидравлические системы и системы смазки	60	120,4	13 980,8	118,3	100,9	139,9

Были получены следующие зависимости:

$$f(t)_{15} = 0,0022 \left( \frac{t}{430} \right)^{-0,056} \exp \left[ - \left( \frac{t}{430} \right)^{0,944} \right]; \quad (9)$$

$$f(t)_{16} = 0,0015 \left( \frac{t}{581} \right)^{-0,148} \exp \left[ - \left( \frac{t}{581} \right)^{0,852} \right]; \quad (10)$$

$$f(t)_{19} = 0,0017 \left( \frac{t}{502} \right)^{-0,169} \exp \left[ - \left( \frac{t}{502} \right)^{0,831} \right]; \quad (11)$$

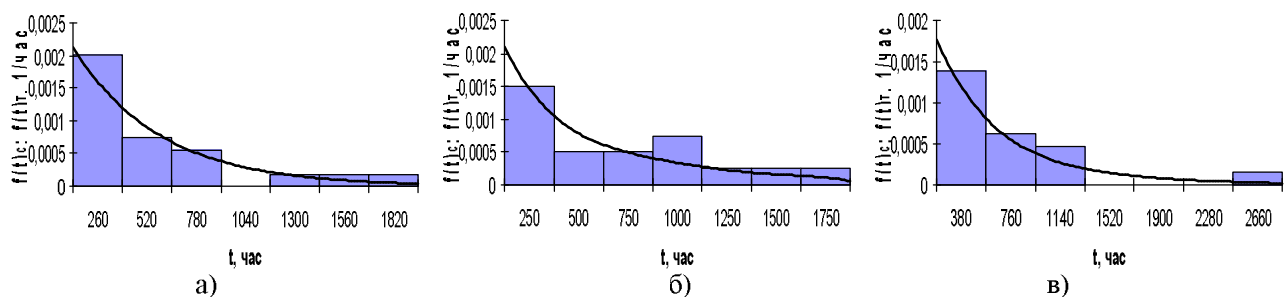
$$f(t)_{21} = 0,0038 \left( \frac{t}{241} \right)^{-0,088} \exp \left[ - \left( \frac{t}{241} \right)^{0,912} \right]; \quad (12)$$

$$f(t)_{24} = 0,0067 \left( \frac{t}{136} \right)^{-0,095} \exp \left[ - \left( \frac{t}{136} \right)^{0,905} \right]; \quad (13)$$

$$f(t)_{26} = 0,0108 \exp(-0,0108t); \quad (14)$$

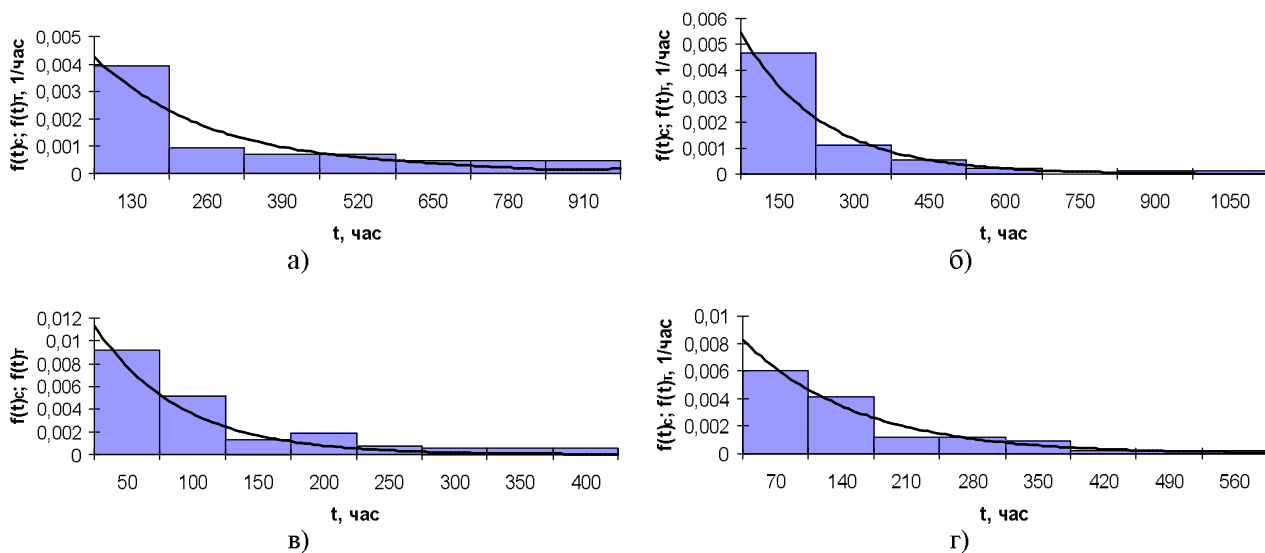
$$f(t)_{32} = 0,0083 \exp(-0,0083t). \quad (15)$$

Проверку согласованности теоретических и статистических распределений осуществили по критерию согласия Колмогорова. Вероятность соответствия теоретического и статистического распределений равна: для клетки № 6 – 0,99; клетки № 7 – 0,97; клетки № 10 – 0,99; клетки № 12 – 0,88; направляющих линеек – 0,86; первой группы моталок – 0,87; гидравлических систем и систем смазки – 0,89, что свидетельствует о достоверности принятых теоретических распределений.



а – клеть № 6; б – клеть № 7; в – клеть № 10

Рисунок 1 – Гистограммы  $f(t)_c$  и теоретические кривые  $f(t)_r$  плотности вероятности безотказной работы клетей



а – клеть № 12; б – направляющие линейки; в – первая группа моталок (№ 1-№ 3);  
г – гидравлические системы и системы смазки

Рисунок 2 – Гистограммы  $f(t)_c$  и теоретические кривые  $f(t)_r$ , плотности вероятности безотказной работы

Построены кривые вероятности отказов и вероятности безотказной работы рассматриваемых групп оборудования. На рисунке 3 в качестве примера приведены кривые для направляющих линеек.

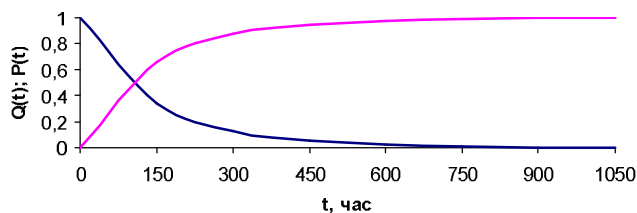


Рисунок 3 – Вероятность отказов  $Q(t)$  и вероятность безотказной работы  $P(t)$  направляющих линеек

Вероятность безотказной работы рассматриваемых групп оборудования при десятисуточном межремонтном периоде для текущих ремонтов равна: для клетки № 6 – 0,56; клетки № 7 – 0,62; клетки № 10 – 0,58; клетки № 12 – 0,37; направляющих линеек – 0,19; первой группы моталок – 0,07; гидравлических систем и систем смазки – 0,14 (рис. 4).

Анализ результатов исследования показывает, что для повышения надёжности стана необходимо, прежде всего, увеличить надёжность первой группы моталок, гидравлических систем и систем смазки, направляющих линеек, клетки № 12.

Экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы первой группы моталок, гидравлических систем и систем смазки свидетельствует о том, что большинство отказов данных групп оборудования являются внезапными и аварийными, связан-

ными с поломками и разрушениями объектов.

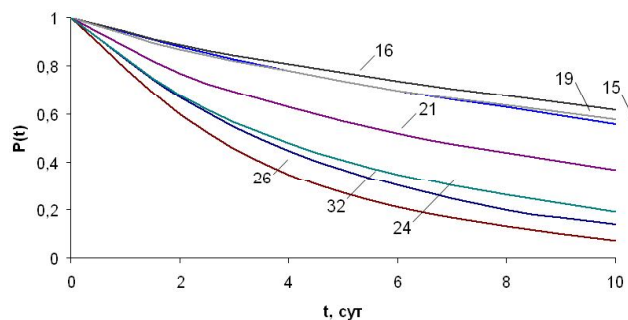


Рисунок 4 – Кривые вероятности безотказной работы  $P(t)$  отдельных групп оборудования НППС-1700. Цифры – номера групп оборудования

Закон распределения Вейбулла, описывающий время безотказной работы клеток № 6, № 7, № 12 и направляющих линеек, свидетельствует об усталостном характере большинства отказов, возникающих в результате совместного воздействия износа и ударных нагрузок.

Таким образом, проведено исследование надёжности механического оборудования НППС-1700 при прокатке непрерывнолитых слябов, определены законы распределения времени безотказной работы.

Результаты исследования можно использовать при прогнозировании поломок оборудования, планировании ремонтов и расходов на поддержание его в рабочем состоянии, определении оптимального межремонтного периода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Найзабеков А.Б., Талмазан В.А., Клементьев В.А., Ахметгалина Н.В. Оценка надёжности НППС-1700 // Казахстанской Магнитке – 50 лет: сб. науч. тр. Алматы: РИК по учеб. и метод. литературе, 2010. 320 с.
2. Суворов И.К., Тиц Ю.В., Плахтин В.Д. Исследование надёжности оборудования непрерывного широкополосного стана 1700 горячей прокатки // Сталь. 1976. № 2. С. 52-55.
3. Гребенник В.М., Цапко В.К. Надёжность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надёжности и долговечности); Справочник. М.: Металлургия, 1989. 592 с.
4. Плахтин В.Д. Надёжность, ремонт и монтаж металлургических машин. М.: Металлургия, 1983. 415 с.