

# ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 669.002.5-192

Тютеряков Н.Ш., Залилов Р.В., Козлов Р.А., Осипова О.А., Юдин Д.В.

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВАЛКОВОЙ АРМАТУРЫ СОРТОВЫХ СТАНОВ

**Аннотация.** Разработка надежных и долговечных конструкций валковой арматуры зачастую представляет значительные трудности, поскольку требуется как оценка долговечности ее отдельных деталей, так и анализ безотказности конструкций валковой арматуры в целом. В данной работе приведена методика определения показателей надежности и долговечности валковой арматуры. Объектом исследования выбрана валковая арматура PRD-01 и PRD-03, установленная в клети №15. Приведены результаты статистической обработки данных по арматуре PRD-01 и PRD-03. Результаты показывают, что при выпуске 10 тыс. т проката вероятность аварийных отказов арматуры PRD-01 составляет 8,6%, а PRD-03 более 40%.

**Ключевые слова:** сортовой стан, валковая арматура, ролики, износостойкость, долговечность, надежность, средняя наработка, отказ

Повышение качества сортового проката является одной из приоритетных задач металлургического производства. В свою очередь, качество сортового проката в большей степени зависит от надежности конструкций используемой валковой арматуры.

На современных сортовых станах широко применяется валковая арматура качения, узлы которой содержат большое количество деталей: ролики, подшипники того или иного типа, оси, уплотнительные элементы и др. Надежность валковой арматуры непосредственно зависит от количества, способов соединения и долговечности этих деталей. Однако на практике чаще всего повышение надежности валковой арматуры качения сводится к применению новых, более износостойких материалов роликов, подшипниковых узлов и др. [1, 2].

Традиционный подход не позволяет, на наш взгляд, производить комплексную оценку работоспособности такой сложной и ответственной механической системы, какой является валковая арматура. Поэтому авторами предпринята попытка применить положения теории надежности как к оценке долговечности ее отдельных деталей, так и к анализу безотказности конструкций валковой арматуры в целом.

Объектом исследования была выбрана валковая арматура новых сортовых станом 450, 370 и 170 фирмы «DANIELI», пущенных на ОАО «ММК».

С этой целью были обобщены статистические данные о сроке службы наиболее изнашиваемых деталей роликотой арматуры качения: роликов, их осей, подшипников и др.

Оценку параметров надежности производили на основе традиционных общепринятых показателей безотказности, а именно:

- вероятность безотказной работы  $P(t)$ ;
- интенсивность отказов  $\lambda(t)$ ;
- средняя наработка до отказа  $T$ .

При определении указанных показателей использовались известные зависимости [3]. Для деталей, выходящих из строя по причине износа, использовались формулы закона нормального распределения случайной величины:

$$P(t) = 0,5 - \Phi(u_q), \quad (1)$$

где  $u_q = \frac{t - \mu}{\sigma}$  – квантиль нормального распределения;

$\Phi(u_q)$  – функция Лапласа;

$\mu = T$  – средняя наработка;

$\sigma$  – стандарт отклонения.

В случае внезапных отказов (при поломках) пользовались экспоненциальным распределением:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

$$T = 1 / \lambda. \quad (3)$$

Используя данные средней наработки  $T$  и стандарт отклонения  $\sigma$ , полученные по результатам статистической обработки, рассчитывали значение нижней доверительной границы (НДГ) средней наработки  $\underline{T}$ .

Для экспоненциального распределения

$$\underline{T} = T \frac{2(N-1)}{\chi_{\alpha, 2N}^2}, \quad (4)$$

где  $\chi_{\alpha, 2N}^2$  – квантиль экспоненциального распределения.

Для нормального распределения

$$\underline{T} = T - t_{q; (r-1)} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{r}}, \quad (5)$$

где  $t_{q; (r-1)}$  – квантиль распределения Стьюдента.

Полученные значения НДГ использовались для расчета количества запасных частей  $n_0$ , необходимого для бесперебойной работы в течение месяца и года с учетом ожидаемой производительности

$$n_0 = \frac{t}{T} + u_q \sqrt{\frac{\sigma^2 \cdot t}{T^3}} \quad (6)$$

Для оценки надежности арматуры в целом была определена вероятность безотказной работы каждого элемента  $P_i(t)$  при производстве 10 тыс. т проката, и с учетом схемы их соединения определялась вероятность безотказной работы арматуры как системы.

В качестве примера приведем методику определения показателей надежности и долговечности валковой арматуры для наиболее «проблемной» клетки стана 450 – клетки №15 для арматуры PRD–01 и PRD–03 [4].

Исходными данными для расчета показателей надежности и долговечности являлись: количество прокатанного металла до выхода арматуры из строя; количество изношенных или замененных после ревизии арматуры деталей; причина замены деталей. Ре-

зультаты статистической обработки наработок деталей приведены в табл. 1 и 2 [4].

Арматура PRD предназначена для направления и удержания заготовки в калибрах валков. Состоит из двух пар роликов и комплекта накладок: приемных, промежуточных и выводных. Основное удержание осуществляется роликовыми парами. Накладки несут дополнительную функцию в случае износа ролика, при перекосах заготовки и т.п. Такая конструкция представляется наиболее удачной, поскольку в случае отказа одной роликовой пары прокатка может осуществляться на оставшейся паре и накладках. Поэтому при составлении схемы соединения деталей для расчета вероятности безотказной работы роликовые пары и накладки соединяются параллельно, поскольку выполняют функцию дублирования. Вероятность безотказной работы при таком соединении определяется по формуле

$$P_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) \quad (7)$$

Таблица 1

Результаты статистической обработки данных по арматуре PRD–01

Арматура	PRD–01				
Деталь	Ролик	Подшипник	Ось	Винтовые пары	Накладки
Средняя наработка $T$	11900,0	166600,0	294309,8	106800,0	294309,8
Стандарт отклонения $\sigma$	1410,3	19743,9	294309,8	67154,3	294309,8
НДГ $T$	11507,5	161105,7	294309,8	80371,6	294309,8
Комплект	20	40	20	5	30
Отказов в месяц при производстве 17000 т	1,7	0,2	0,5	0,8	0,5
Отказов в год при производстве 204 тыс. т	18,6	1,5	2,1	4,7	2,1
Запчастей на год	74,3	59,8	41,3	23,7	41,3
Запчастей на месяц	6,9	6,8	9,1	4,2	9,1
$P_i(t)$ $t = 10$ тыс. т	0,909	0,9999	0,963	0,925	0,963
$\lambda$	5,65E-04	2,05E-06	3,4E-06	4,1365E-05	3,4E-06

Таблица 2

Результаты статистической обработки данных по арматуре PRD–03

Арматура	PRD–03				
Деталь	Ролик	Подшипник	Ось	Винтовые пары	Накладки
Средняя наработка $T$	3440,0	20640,0	27520,0	10320,0	41280,0
Стандарт отклонения $\sigma$	403,3	2419,9	3226,6	1210,0	4839,8
НДГ $T$	3327,8	19966,6	26622,1	9983,3	39933,2
Комплект	4	8	4	1	6
Отказов в месяц при производстве 13500 т	4,5	0,8	0,6	1,6	0,5
Отказов в год при производстве 162 тыс. т	50,1	8,7	6,6	17,0	4,5
Запчастей на год	40,1	69,5	26,3	17,0	17,8
Запчастей на месяц	3,6	6,7	2,6	1,6	1,8
$P_i(t)$ $t = 10$ тыс. т	0,00001	0,999	0,9999	0,602	0,999
$\lambda$	0,002479	4,1365E-06	3,0996E-06	0,000529	2,07E-06

Отдельные же детали в группах (подшипники, оси, ролики и т.д.) соединяются последовательно. В случае последовательного соединения элементов подразумевается, что при включении системы работают все элементы, а при отказе одного элемента отказывает вся система. Вероятность безотказной работы такой системы

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) . \quad (8)$$

Таким образом, мы имеем смешанную схему соединения (см. рисунок), при анализе которой получено значение вероятности безотказной работы на момент выпуска 10 тыс. т проката [4].

Для PRD–01  $P_s(t = 10 \text{ тыс. т})$  равно 0,914; для PRD–03  $P_s(t = 10 \text{ тыс. т})$  равно 0,598.

По этим данным видно, что при выпуске 10 тыс. т проката вероятность аварийных отказов арматуры PRD–01 составляет 8,6%, а PRD–03 более 40%, что недопустимо. Низкие показатели надежности арматуры PRD–03 объясняются крайне низкими показателями стойкости самих роликов и регулировочной винтовой пары. Вероятность отказа роликов составляет практически 99,9%, для повышения вероятности безотказной работы роликов до 0,95 (т.е. вероятность отказа 5%) необходимо увеличить их среднюю наработку в 3,5 раза (с 3400 до 12000 т). Повышение средней наработки винтовой пары достаточно на 20%. При этих условиях вероятность безотказной работы арма-

туры PRD–03 составит 0,94, то есть вероятность аварийного выхода из строя при производстве 10 тыс. т проката не более 6%.

Аналогичные расчеты проведены для стана 370 – клетей №15, 16 с арматурой DR2BPA1; CTD02RS и стана 170 – клетки №2 с арматурой PTS-15.

Применение предложенной методики позволяет оценивать надежность и отдельных деталей и оборудования в целом, сравнивать различные исполнения узлов, выполняющих подобные функции и выявлять слабые места в их конструкции, а также определять необходимое количество запасных деталей арматуры для бесперебойной работы стана на заданный период времени.

#### Список источников

1. Чекмарев А.П., Чернобрюнко Ю.С. Роликовая арматура прокатных станов. М.: Metallurgy, 1964. 256 с.
2. Федин В.П., Грицук Н.Ф. Валковая арматура сортовых станов. М.: Metallurgy, 1975. 216 с.
3. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин: учебник. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 330 с.
4. Оншин Н.В., Тютряков Н.Ш. Метод определения прогибов линеек валковой арматуры переменного сечения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 1(13). С. 53-55.



Блок-схема соединения элементов арматуры PRD

#### Сведения об авторах

**Тютряков Наиль Шаукатович** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: Nltut80@yandex.ru

**Залилов Рустем Венирович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

**Козлов Роман Алексеевич** – кандидат педагогических наук, доцент, декан факультета физической культуры и спортивного мастерства, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

**Осипова Ольга Александровна** – старший преподаватель кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

**Юдин Данил Владиславович** – магистрант кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

---

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

**EVALUATION OF THE RELIABILITY INDICATORS OF GUIDE FITTINGS SECTION ROLLING MILL**

**Tyuteryakov Nail Sh.** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Design and Operation of Metallurgical Machines and Equipment, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: Nltyut80@yandex.ru

**Zalilov Rustem V.** – Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Design and Operation of Metallurgical Machines and Equipment, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Kozlov Roman A.** – Ph.D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Physical Education and Sports Excellence, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Osipova Olga A.** – Senior lecturer at the Department of mechanics, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Yudin Danil V.** – Master's student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Abstract.** The development of reliable and durable roller reinforcement structures often presents significant difficulties, since it requires an assessment of the durability of its individual parts, as well as an analysis of the reliability of roller reinforcement structures as a whole. This work presents a methodology for determining the reliability and durability of guide fittings. Guide fittings PRD–01 and PRD–03, installed in crate No. 15, were selected as the object of the study. The results of statistical processing of data on valves PRD–01 and PRD–03 are presented. The results show that when 10 thousand tons are produced, the rental probability of emergency failures of the PRD – 01 valve is 8.6%, and the PRD–03 is more than 40%

**Keywords:** section rolling mill, guide fittings, rollers, wear resistance, durability, reliability, average operating time, failure

---

Ссылка на статью:

Оценка показателей надежности валковой арматуры сортовых станов / Тютеряков Н.Ш., Залилов Р.В., Козлов Р.А., Осипова О.А., Юдин Д.В. // Теория и технология металлургического производства. 2025. №4(55). С. 32-35.  
Tyuteryakov N.Sh., Zalilov R.V., Kozlov R.A., Osipova O.A., Yudin D.V. Evaluation of the reliability indicators of guide fittings section rolling mill. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2025, vol. 55, no. 4, pp. 32-35.