

© Шаханов Н. И., Юдина О. В., Ершов Е. В., Виноградова Л. Н.,  
Миштушкин М. А., Варфоломеев И. А., 2020

**Шаханов Никита Иванович**

Кандидат технических наук,  
Череповецкий государственный университет  
(Череповец, Россия)  
E-mail: nikshakhanov@gmail.com

**Shakhanov Nikita Ivanovich**

PhD in Technology,  
Cherepovets State University  
(Cherepovets, Russia)  
E-mail: nikshakhanov@gmail.com

**Юдина Ольга Вадимовна**

Кандидат технических наук,  
Череповецкий государственный университет  
(Череповец, Россия)  
E-mail: ovyudina2010@mail.ru

**Yudina Olga Vadimovna**

PhD in Technology,  
Cherepovets State University  
(Cherepovets, Russia)  
E-mail: ovyudina2010@mail.ru

**Ершов Евгений Валентинович**

Доктор технических наук, профессор,  
Череповецкий государственный университет  
(Череповец, Россия)  
ORCID 0000-0003-2888-4242  
E-mail: eve@chsu.ru

**Ershov Evgeny Valentinovich**

Doctor of Technology, Professor,  
Cherepovets State University  
(Cherepovets, Russia)  
ORCID 0000-0003-2888-4242  
E-mail: eve@chsu.ru

**Виноградова Людмила Николаевна**

Кандидат технических наук,  
Череповецкий государственный университет  
(Череповец, Россия)  
E-mail: LNVinogradova@bk.ru

**Vinogradova Lyudmila Nikolaevna**

PhD in Technology,  
Cherepovets State University  
(Cherepovets, Russia)  
E-mail: LNVinogradova@bk.ru

**Миштушкин Максим Александрович**

Магистрант,  
Череповецкий государственный университет  
(Череповец, Россия)  
E-mail: maximkacb24@gmail.com

**Mishutushkin Maxim Alexandrovich**

Student in the master's programme,  
Cherepovets State University  
(Cherepovets, Russia)  
E-mail: maximkacb24@gmail.com

**Варфоломеев Игорь Андреевич**

Кандидат технических наук,  
Череповецкий государственный университет  
(Череповец, Россия)  
E-mail: igor.varf@gmail.com

**Varfolomeev Igor Andreevich**

PhD in Technology,  
Cherepovets State University  
(Cherepovets, Russia)  
E-mail: igor.varf@gmail.com

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОТВОДЯЩЕГО  
РОЛЬГАНГА СТАНА 2000  
ПАО «СЕВЕРСТАЛЬ» НА ОСНОВЕ  
АНАЛИЗА ДАННЫХ И МАШИННОГО  
ОБУЧЕНИЯ**

**ASSESSING THE CONDITION OF THE  
DISCHARGE ROLLER TABLE AT THE  
ROLLING MILL 2000 PAO  
“SEVERSTAL” BASED ON DATA  
ANALYSIS AND MACHINE LEARNING**

**Аннотация.** Авторы рассматривают подход к оценке состояния отводящего рольганга стана 2000 в условиях малого количества неисправностей и контролируемых параметров. Статья описывает процесс обу-

**Abstract.** The authors consider an approach to assessing the condition of the discharge roller table at the rolling mill 2000 under conditions of a small number of malfunctions and controlled parameters. The

чения модели, позволяющей определять возможную причину потенциальной неисправности без учета параметров, которые соответствовали бы существующим решениям.

**Ключевые слова:** оценка состояния, фиксация аномалий, отводящий рольганг, стан 2000, малое количество неисправностей

article describes the learning process of a model that allows determining the possible cause of a potential malfunction without taking into account the parameters that would be consistent with the existing solutions.

**Keywords:** condition assessment, fixing anomalies, discharge roller table, mill 2000, a small number of malfunctions

---

**Благодарность.** Статья подготовлена при финансовой поддержке Гранта Правительства Вологодской области за 2019 год «Прогнозирование состояния промышленного оборудования на основе анализа данных и машинного обучения».

### Введение

Одним из важнейших агрегатов на ПАО «Северсталь» является стан 2000. Его выход из строя влечет за собой значительные материальные потери и временные затраты, связанные с выводом оборудования из эксплуатации на ремонтно-восстановительный период. Производственный процесс на стане проходит последовательно с помощью различного технологического оборудования, в которое входит отводящий рольганг № 1 участка уборочной группы стана 2000 (см. рис. 1). Рольганг состоит из 4 секций, насчитывающих в общем 266 роликов. Выход из строя любого из роликов ведет к остановке рольганга и соответственно всего стана 2000<sup>1</sup>.



Рис. 1. 3D-модель отводящего рольганга уборочной группы стана 2000

Рольганг представляет собой последовательность блоков, состоящих из роликов, расположенных между приводной и холостой сторонами, и электродвигателей, обеспечивающих вращательное движение ролика.

По каждому из роликов ведется фиксация двух параметров:

– Крутящий момент (момент) – величина, вычисляемая на основе тока электродвигателя, который управляет роликом; измеряется в Н/м.

---

<sup>1</sup> Шухгальтер М. Проблемы экономики ремонта оборудования на российских промышленных предприятиях // Экономика и жизнь. – 2009. – № 26. – С. 20–27.

– Скорость – величина, измеряемая с помощью энкодера, расположенного на неприводной стороне конструкции с роликом по отношению к электродвигателю; измеряется в м/с<sup>1</sup>.

### Основная часть

Общее понимание задачи оценки состояния отводящего рольганга стана 2000 заключается в следующем: необходимо на основе данных по параметрам роликов (моментам и скоростям), а также истории возникавших неисправностей провести оценку состояния оборудования, а именно:

– зафиксировать на двухчасовом горизонте период работы оборудования в аномальном режиме, так как впоследствии этот режим может перерасти в неисправность;

– оценить вероятность предполагаемого типа(-ов) неисправности. Следует давать оценку состояния каждого ролика в отдельности. Двухчасовой горизонт обусловлен тем, что перевалка стана 2000 происходит каждые 2–4 часа, и только в этот момент специалисты могут проверить оборудование (не считая полной остановки стана).

Одной из проблем в отслеживании поведения роликов является то, что рольганг транспортирует листы различного сортамента. В имеющихся на предприятии системах слежения за металлом имеется информация о температуре, ширине и других параметрах прокатываемого листа, но нет сведений о том, какую нагрузку на ролики дает каждый лист при прохождении через рольганг. Для этого необходимо устанавливать датчики слежения непосредственно в каждый ролик, что является очень дорогостоящим решением данной проблемы.

Существует и другая сложность в решении задачи оценки состояния роликов: их замена происходит по состоянию, поэтому ролики имеют ряд индивидуальных особенностей, которые не фиксируются ни в одном из источников данных предприятия. К таким особенностям относятся: внешняя температура, охлаждение, уровень износа бочонка ролика, вертикальное положение и др. По этой причине ролики ведут себя по-разному при работе или перед вероятным отказом, следовательно, создание шаблона поведения перед отказом, основанного на информации об отказах всех роликов, нецелесообразно, поскольку он не покажет приемлемых результатов.

Существующие решения оценки состояния технологического оборудования не могут гарантировать высокого качества работы по нескольким причинам:

1. Модели, вычисляющие неявные зависимости параметров отслеживаемого оборудования, не дадут результата, так как фиксация ведется только по двум параметрам; для отслеживания дополнительных параметров необходимо устанавливать датчики на каждый ролик, что является дорогостоящим мероприятием.

2. Статистические модели, обрабатывающие временные ряды параметров, нуждаются в большом количестве обучающих данных (неисправностей в рамках решаемой задачи), которых не имеется на практике.

---

<sup>1</sup> Лукьянов С. И., Пишнограев Р. С., Швидченко Н. В., Мухин А. П., Лазаренко А. С., Юдина А. А., Астафьев Е. В. и др. Система диагностирования оборудования электропривода отводящего рольганга стана 2000 горячей прокатки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2005. – № 4 (12). – С. 51–53.

Таким образом, можно сделать вывод о необходимости разработки модели фиксации аномалий и оценки состояния оборудования отводящего рольганга стана 2000 в условиях малого количества неисправностей и контролируемых параметров.

Решение заключается в том, что на первом шаге требуется зафиксировать начало аномальной работы одного из роликов. После определения аномальной работы ролика необходимо оценить его состояние, а именно вероятности потенциальных типов отказов. Методика работы с моментом и скоростью ролика аналогична, функционируют модели по данным параметрам отдельно друг от друга, поэтому дальнейшее описание осуществлено на примере момента ролика.

Допустим, мы имеем как временной ряд значений момента каждого ролика  $M = M_1 \dots M_{t-1}, M_t$ , где  $t$  – количество измерений за исследуемый промежуток времени, так и временные ряды типичных значений момента:  $\bar{M} = \bar{M}_1 \dots \bar{M}_{t-1}, \bar{M}_t$ , где  $t$  – такое же количество измерений за промежуток времени, как и у исследуемого ролика.

В рамках решаемой задачи аномалия – нетипичное повышение / понижение значения момента или скорости ролика<sup>1</sup>, поэтому удовлетворение следующему условию:  $|Mi - \bar{M}| > d$ , где  $i$  – момент времени;  $Mi$  – значение исследуемого ролика;  $\bar{M}$  – типовое значение;  $d$  – порог отклонения от типового значения для ролика<sup>2</sup>, является отступлением от нормы.

В любом технологическом процессе возможно появление такого отклонения, как выброс (неожиданно большое или маленькое значение, которое встречается в одном наблюдении). Например, данная ситуация характерна в случае фиксации некорректного сигнала с датчика.

Чтобы не обозначать выброс как аномальную работу ролика, необходимо на временном ряду  $M$  фиксированного размера  $n$  иметь некоторое количество  $|Mi - \bar{M}|$ , удовлетворяющее условию определения аномалии, при достижении которого можно сказать, что ролик работает аномально. Поскольку исследуемый временной ряд имеет фиксированный размер, в момент времени  $n+1$  не принимается во внимание значение  $M_1$ , но исследуется значение  $M_{n+1}$ .

С учетом данного случая аномальная работа ролика будет отмечена при выполнении условия по формуле 1:

$$\sum_{n+1}^n \left\{ \begin{array}{l} 1, (|Mi - \bar{M}| - d > 0) \\ 0, (|Mi - \bar{M}| - d < 0) \end{array} \right\} S, \quad (1)$$

<sup>1</sup> Антипов С. Г., Фомина М. В. Проблема обнаружения аномалий в наборах временных рядов // Программные продукты и системы. – 2012. – № 2. – С. 78–82.

<sup>2</sup> Шаханов Н. И., Осколков В. М., Варфоломеев И. А., Юдина О. В. Прогнозирование отказов оборудования на основе алгоритмов машинного обучения // Вестник научных конференций. – 2016. – № 5–4 (9). – С. 315–317.

где  $d$  – допустимый предел отклонения для ролика, вычисленный при настройке модели;  $s$  – количество аномальных отклонений, при которых модель уверена в нетиповой работе ролика;  $n$  – плавающее окно фиксации аномалий.

Перед настройкой модели из набора загруженных данных необходимо удалить ситуации, связанные с переходными процессами, такими как разгон и торможение ролика. Это требуется по причине того, что каждый ролик обладает индивидуальными особенностями (износ, состояние электродвигателя, вертикальное и угловое положение и т. д.), поэтому сформированные отклонения показателей от медианного значения группы с большой вероятностью окажутся неадекватными, возможно возникновение ложных срабатываний.

Типичным значением момента ролика, от которого будет отсчитываться его отклонение, является медианное значение подгруппы соседних роликов (5 роликов), не считая значение искомого ролика. Размер группы обусловлен тем, что при малом количестве роликов (например, при 3 роликах) случайный выброс значения параметра одного ролика сильно скажется на отклонении от группы, а при большом количестве роликов (например, 15) большую роль имеют индивидуальные особенности каждого из них. Таким образом, отклонение отдельно взятого параметра по ролику определяется с помощью модуля абсолютной ошибки, вычисляемой по формуле:  $\Delta M = |M - M_e|$ , где  $\Delta M$  – абсолютная ошибка;  $M$  – значение параметра ролика;  $M_e$  – медианное значение параметра по остальным роликам в группе.

В ходе работы модели фиксации аномалий используются параметры  $n$  (окно фиксации аномалий),  $d$  (порог срабатывания) и  $s$  (количество срабатываний для фиксации). Необходимо определить, какие значения этих параметров будут оптимальными для успешной работы.

Для решения этой задачи требуется вычислить такие значения параметров, при которых возможно достижение максимального значения (формула 2).

$$\left( count_+ \sum_i^q \begin{cases} 1, X_i(M_i, M_i', n, d, s) = B_i \\ 0, X_i(M_i, M_i', n, d, s) \neq B_i \end{cases} \right) \cdot k_+ - \left( count_- \sum_i^q \begin{cases} 0, X_i(M_i, M_i', n, d, s) = B_i \\ 1, X_i(M_i, M_i', n, d, s) \neq B_i \end{cases} \right) \cdot k_- \rightarrow max, \quad (2)$$

где  $X_i$  – ответ модели об аномальной работе ролика;  $n$  – окно фиксации аномалий [10 секунд – 2 часа];  $d$  – порог срабатывания для ролика [0,1–10];  $B_i$  – наличие неисправности;  $s$  – количество срабатываний для фиксации аномалии ( $s \leq n$ );  $q$  – количество неисправностей для тестирования;  $k_{+,-}$  – коэффициент стоимости корректного (ложного) срабатывания<sup>1</sup>.

Порог срабатывания устанавливается отдельно для каждого ролика, в то время как окно фиксации аномалий и количество срабатываний для фиксации являются общими для всех роликов. Выбор оптимальных параметров произведен с помощью метода брутфорса (полного перебора).

В рамках решаемой задачи в приоритете стоит минимизация моделью пропуска неисправностей оборудования, увеличивающая в целом и общее количество зафиксированных ложных срабатываний. Следовательно, коэффициенты стоимостей кор-

<sup>1</sup> Миштушкин М. А., Виноградова Л. Н. Метод оценки состояния технологического оборудования // Вестник научных конференций. – 2018. – № 4–4 (32). – С. 78–80.

ректного и ложного срабатывания были установлены в значениях 3 к 1, обеспечивая оптимальные результаты, получаемые моделью. В результате параметрической идентификации значение окна фиксации аномалии установилось на отметке 2 минуты, а количество срабатываний для фиксации аномалии – 72.

После того как аномальная работа одного из роликов афиксирована, необходимо провести оценку его состояния. Задача оценки – исследование временного ряда (120 секунд до момента фиксации аномалий):  $M = M_1 \dots M_{t-1}, M_t$ , где  $t$  – количество исследуемых измерений, а  $M_t$  – последнее измерение момента (скорости) во время фиксации аномалии.

На этапе оценки состояния требуется оценить вероятности наступления неисправностей на двухчасовом горизонте.

Оцениваться будут 5 классов неисправностей:

- 1) заклинивание ролика;
- 2) износ ролика;
- 3) излом составляющих ролика (подшипника, промвала и т. д.);
- 4) нагрев ролика;
- 5) прочие (наименее распространенные неисправности или их отсутствие).

Вычисление данных вероятностей предполагается с помощью ансамбля деревьев решений. Построение ансамбля выполнено посредством методов бутстрэпа (составления независимых выборок исходных признаков) и бэггинга (механизма снижения ошибки классификатора)<sup>1</sup>.

Для того чтобы определить характер поведения отклонения на временном ряде  $M$ , необходимо иметь значения признаков данного временного ряда<sup>2</sup>. Одними из основных характеристик временного ряда являются:

1.  $x_1$  – среднеквадратическое отклонение:  $S_0 = \sqrt{\frac{n}{n-1} S^2} = \sqrt{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ ,

где  $S^2$  – выборочная дисперсия;  $x_i$  –  $i$ -й элемент выборки;  $n$  – объем выборки;  $\bar{x}$  – среднее арифметическое выборки (выборочное среднее).

2.  $x_2$  – среднее линейное отклонение:  $a = \frac{\sum_{i=1}^n |X - \bar{X}|}{n}$ , где  $a$  – среднее линейное

отклонение;  $X$  – анализируемый показатель;  $\bar{X}$  – среднее значение показателя;  $n$  – количество значений в анализируемой совокупности данных.

3.  $x_3$  – размах вариации:  $R = X_{\max} - X_{\min}$ .

4.  $x_4$  – межквартильный размах:  $q = \frac{(Q_3 - Me) + (Me - Q_1)}{2} = \frac{(Q_3 - Q_1)}{2}$ , где  $Q_1$ ,

$Q_3$  – первый (нижний) и третий (верхний) квартили соответственно;  $Me = Q_2$  – медиана (второй, или срединный, квартиль).

5.  $x_5$  – максимальное значение.

<sup>1</sup> Попова Т. П. Ансамбли моделей как современный инструмент анализа данных. – URL: [http://umu.usue.ru/images/docs/itogi/tom7\\_2017.pdf#page=256](http://umu.usue.ru/images/docs/itogi/tom7_2017.pdf#page=256) (дата обращения: 16.12.2019).

<sup>2</sup> Климов Г. П. Теория вероятностей и математическая статистика. – Москва: МГУ, 2011. – 368 с.

б.  $x_6$  – минимальное значение.

Класс типа неисправности имеет следующий вид:  $w(x) = \{x_1, \dots, x_{n-1}, x_n\}$ , где  $n$  – количество признаков, по которым определяется значение.

На этапе подготовки обучающей выборки для модели оценки состояния возникает проблема малого количества неисправностей. Ее решением является следующий подход подготовки выборок.

Из данных по моменту ролика для каждой неисправности берется двухчасовая выборка  $M' = \{m'_1, \dots, m'_{n-1}, m'_n\}$ , где  $n$  – количество измерений за 2 часа (горизонт работы моделей).

На данной выборке начинает работать модель фиксации аномалий с фиксированным двухминутным окном. В момент фиксации аномалии на данном окне вычисляются признаки  $x_1, \dots, x_{n-1}, x_n$  и составляется класс  $w'(x) = \{x_1, \dots, x_{n-1}, x_n\}$ , в котором  $w'(x)$  – известная фактическая неисправность. После составления класса счетчик модели фиксации аномалии обнуляется и продолжает свою работу с момента последней фиксации, т. е. за одну неисправность может сгенерироваться несколько классов. Таким образом, пройдя по всем фактическим неисправностям, сформируется пул классов:  $w = \{w'_1(x), \dots, w'_{k-1}(x), w'_k(x)\}$ , где  $k$  – количество классов, сгенерированных в ходе набора<sup>1</sup>.

Для вычисления вероятностей классов неисправностей будем использовать усредненное значение ответов деревьев решений:  $F(x) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T w_i(x)$ , где  $T$  – количество деревьев решений в ансамбле;  $w_i(x)$  – вероятность, определенная деревом решения<sup>2</sup>.

Результат работы модели оценки состояния – вероятности 5 классов неисправностей на двухчасовом горизонте. Конечным ответом модели являются те классы, вероятность которых выше 25 %. В случае если ни один класс не достиг такой отметки, то тип предполагаемой неисправности не определен или модель считает, что неисправности нет (например, внешнее воздействие временно вызвало аномалию в параметре ролика).

Полученная модель фиксации аномалий и оценки состояния оборудования отводящего рольганга стана 2000 была протестирована в производственных условиях.

1. Из 24 неисправностей оборудования за период тестирования модель зафиксировала 22 аномалии в работе. В 3 фиксациях аномальная работа обнаружена менее, чем за час до фактической неисправности (критерий успешной фиксации), при этом 2 из 3 срабатываний были вызваны внешним воздействием и зафиксировать их на имеющихся параметрах не представлялось возможным.

<sup>1</sup> Берестнева О. Г., Муратова Е. А. Построение логических моделей с использованием деревьев решений // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 2. – С. 154–160.

<sup>2</sup> Чистяков С. П. Случайные леса: обзор // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2013. – № 1. – С. 117–136.

2. При оценке состояния оборудования модель корректно определила тип потенциальной неисправности в 75 % случаев (см. таблицу). В ≈8 % случаев выявлено несколько типов неисправностей, но при этом среди них был правильный ответ. Сделан вывод о необходимости продолжения накопления данных по всем видам неисправностей оборудования в период его эксплуатации. В дальнейшем это позволит выполнять более точную классификацию аномалий по их типу.

*Таблица*

**Результаты оценки состояния оборудования**

Тип неисправности	Количество	Оценка моделью	
		Тип неисправности	Количество
Заклинивание ролика	7	Заклинивание ролика	5
		Заклинивание ролика или износ ролика	1
		Износ ролика	1
Износ ролика	4	Износ ролика	4
Излом составляющих ролика	1	Заклинивание ролика	1
Нагрев ролика	8	Нагрев ролика	7
		Заклинивание ролика или нагрев ролика	1
Прочие	4	Прочие	2
		Заклинивание ролика	1
		Нагрев ролика	1

### **Выводы**

В результате работы была создана модель, позволяющая фиксировать аномалии и проводить оценку состояния роликов отводящего рольганга № 1 стана 2000 в условиях малого количества неисправностей и контролируемых параметров. Точность модели составила 75 % (из 24 неисправностей в 18 случаях корректно определен вид аномалии в работе роликов).

### **Литература**

- Антипов С. Г., Фомина М. В. Проблема обнаружения аномалий в наборах временных рядов // Программные продукты и системы. – 2012. – № 2. – С. 78–82.
- Берестнева О. Г., Муратова Е. А. Построение логических моделей с использованием деревьев решений // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 2. – С. 154–160.
- Климов Г. П. Теория вероятностей и математическая статистика. – Москва: МГУ, 2011. – 368 с.
- Лукьянов С. И., Пишнограев Р. С., Швидченко Н. В., Мухин А. П., Лазаренко А. С., Юдина А. А., Астафьев Е. В. и др. Система диагностирования оборудования электропривода отводящего рольганга стана 2000 горячей прокатки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2005. – № 4 (12). – С. 51–53.
- Миштушкин М. А., Виноградова Л. Н. Метод оценки состояния технологического оборудования // Вестник научных конференций. – 2018. – № 4–4 (32). – С. 78–80.
- Попова Т. П. Ансамбли моделей как современный инструмент анализа данных. – URL: [http://umu.usue.ru/images/docs/itogi/tom7\\_2017.pdf#page=256](http://umu.usue.ru/images/docs/itogi/tom7_2017.pdf#page=256) (дата обращения: 16.12.2019).

Чистяков С. П. Случайные леса: обзор // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2013. – № 1. – С. 117–136.

Шаханов Н. И., Осколков В. М., Варфоломеев И. А., Юдина О. В. Прогнозирование отказов оборудования на основе алгоритмов машинного обучения // Вестник научных конференций. – 2016. – № 5–4 (9). – С. 315–317.

Шухгалтер М. Проблемы экономики ремонта оборудования на российских промышленных предприятиях // Экономика и жизнь. – 2009. – № 26. – С. 20–27.

### References

Antipov S. G., Fomina M. V. Problema obnaruzheniia anomalii v naborakh vremennykh riadov [The problem of detecting anomalies in sets of time series]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems], 2012, no. 2, pp. 78–82.

Berestneva O. G., Muratova E. A. Postroenie logicheskikh modelei s ispol'zovaniem derev'ev reshenii [Constructing logical models applying decision trees]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2004, vol. 307, no. 2, pp. 154–160.

Klimov G. P. *Teoriia veroiatnostei i matematicheskaiia statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow: MGU, 2011. 368 p.

Luk'ianov S. I., Pishnograev R. S., Shvidchenko N. V., Mukhin A. P., Lazarenko A. S., Iudina A. A., Astaf'ev E. V. Sistema diagnostirovaniia oborudovaniia elektroprivoda otvodiaschego rol'ganga stana 2000 goriachei prokatki [Diagnostic system for the machinery related to the electric drive of the discharge roller table at the hot rolling mill 2000]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2005, no. 4 (12), pp. 51–53.

Mishutushkin M. A., Vinogradova L. N. Metod otsenki sostoianiia tekhnologicheskogo oborudovaniia [Method for assessing the state of manufacturing machinery]. *Vestnik nauchnykh konferentsii* [Bulletin of scientific conferences], 2018, no. 4–4 (32), pp. 78–80.

Popova T. P. *Ansambli modelei kak sovremennyi instrument analiza dannykh* [Ensembles of models as a modern data analysis tool]. Available at: [http://umu.usue.ru/images/docs/itogi/tom7\\_2017.pdf#page=256](http://umu.usue.ru/images/docs/itogi/tom7_2017.pdf#page=256) (accessed: 16.12.2019).

Chistiakov S. P. Sluchainye lesa: obzor [Random forests: a review]. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Works of Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences], 2013, no. 1, pp. 117–136.

Shakhanov N. I., Osolkov V. M., Varfolomeev I. A., Iudina O. V. Prognozirovaniie otkazov oborudovaniia na osnove algoritmov mashinnogo obucheniia [Predicting equipment failures based on algorithms of machine learning]. *Vestnik nauchnykh konferentsii* [Bulletin of scientific conferences], 2016, no. 5–4 (9), pp. 315–317.

Shukhal'ter M. Problemy ekonomiki remonta oborudovaniia na rossiiskikh promyshlennykh predpriiatiakh [Problems in the economics of equipment maintenance at Russian industrial enterprises]. *Ekonomika i zhizn'* [Economics and life], 2009, no. 26, pp. 20–27.

---

**Для цитирования:** Шаханов Н. И., Юдина О. В., Ершов Е. В., Виноградова Л. Н., Мишутушкин М. А., Варфоломеев И. А. Оценка состояния отводящего рольганга стана 2000 ПАО «Северсталь» на основе анализа данных и машинного обучения // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2020. – № 2 (95). – С. 47–55. DOI: 10.23859/1994-0637-2020-2-95-4

**For citation:** Shakhanov N. I., Yudina O. V., Ershov E. V., Vinogradova L. N., Mishutushkin M. A., Varfolomeev I. A. Assessing the condition of the discharge roller table at the rolling mill 2000 PAO “Severstal” based on data analysis and machine learning. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2020, no. 2 (95), pp. 47–55. DOI: 10.23859/1994-0637-2020-2-95-4