

# О возможности использования метода локальной аппроксимации для прогноза нерегулярных временных рядов отказов горнотранспортных машин\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-3-84-89>

## ГРИШИН И.А.

Канд. техн. наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Геологии,  
маркшейдерского дела и обогащения  
полезных ископаемых»  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
455000, г. Магнитогорск, Россия,  
e-mail: igorgri@mail.ru

## ВЕЛИКАНОВ В.С.

Доктор техн. наук,  
профессор кафедры  
«Подъемно-транспортных машин  
и роботов» «УрФУ имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина»  
620002, г. Екатеринбург, Россия,  
e-mail: rizhik\_00@mail.ru

## НАЗАРОВ О.В.

электромеханик ООО «ШСУ»  
подземного участка  
горно-капитальных работ № 9  
на объекте АО СПМ «Сибирь-полиметаллы»  
658471, Корбалихинский рудник,  
Алтайский край, Россия,  
e-mail: zikfreid@yandex.ru

## ДЁРИНА Н.В.

Канд. филолог. наук,  
доцент кафедры «Иностранных языков  
по техническим направлениям»  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
455000, г. Магнитогорск, Россия,  
e-mail: nataljapidckaluck@yandex.ru

Устойчивое развитие горных технологий предполагает внедрение и реализацию основных положений и подходов Индустрии 4.0. «Индустрия 4.0» в общем понимании применяется для характеристики новых, передовых и потенциально прорывных технологий. Цифровая трансформация в горнодобывающей промышленности направлена, прежде всего, на повышение производительности. В долгосрочной Программе развития горной отрасли Российской Федерации до 2030 г. ставится задача пятикратного роста производительности труда и основных показателей уровня не менее чем в 2-3 раза. Вместе с тем нормы промышленной и экологической безопасности предполагают эксплуатацию на горных предприятиях исправных машин и оборудования с возможностью непрерывного мониторинга их технического состояния. Надежность горного оборудования является значимой проблемой, поэтому исследования, направленные на дальнейшее изучение вопросов прогнозирования поломок и отказов, являются актуальными и востребованными. Реализованный в работе метод локальной аппроксимации отличается явным преимуществом от типичной авторегрессии, заключающимся в использовании кусочно-линейной аппроксимации вместо глобально-линейной. Составление прогноза остается важным этапом к предупреждению отказов горнотранспортного оборудования. Реализация на горнодобывающих предприятиях современной эффективной системы прогнозирования изменений в состоянии горнотранспортного оборудования является ключевым инструментом для минимизации его простоев, увеличения срока службы оборудования, снижения стоимости содержания оборудования. Установлено, что интенсивность отказов узлов и агрегатов погрузочно-доставочных машин нового поколения определяется не только горно-геологическими условиями эксплуатации, но и значительной долей ремонтных работ, что свидетельствует о низком уровне технического обслуживания и ремонтов данного типа машин. Реализация прогностической модели на основе метода локальной аппроксимации нерегулярных временных рядов отказов горнотранспортных машин позволит прогнозировать рациональное функционирование технологических процессов добычи полезных ископаемых в сложных горнотехнических условиях эксплуатации.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZRU-2020-0011).

**Ключевые слова:** добыча, погрузочно-доставочная машина, оборудование, отказ, элемент, прогнозирование отказов горного оборудования, горнодобывающая промышленность, метод локальной аппроксимации.

**Для цитирования:** О возможности использования метода локальной аппроксимации для прогноза нерегулярных временных рядов отказов горнотранспортных машин / И.А. Гришин, В.С. Великанов, О.В. Назаров и др. // Уголь. 2022. № 3. С. 84-89. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-84-89.

## ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг горного оборудования и установление интенсивности отказов, задействованных в технологической цепи машин по добыче полезных ископаемых, имеют важное значение [1]. К основным критериям, характеризующим эффективность эксплуатации любой горной машины, можно отнести эксплуатационную производительность и время простоев по различным причинам. В научнотехнической литературе достаточно подробно представлены исследования по влиянию различного рода факторов на эксплуатационную производительность, работы ведутся и по настоящее время. В данной работе решается задача на основе локальной аппроксимации к прогнозу нерегулярных временных рядов отказов горнотранспортных машин, на примере погрузочно-доставочных машин, эксплуатируемых в условиях подземного рудника.

В отношении термина «отказ» необходимо обратиться к вариантам трактовки теории надежности, а именно к терминам и дефинициям, используемым в теории надежности, регламентированным ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения». Надежность – свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. При оценке надежности объект понимается как совокупность элементов, связанных между собой структурно так, что выход из строя (отказ) одного из элементов системы может привести к отказу нескольких связанных с ним элементов или системы в целом. Соответственно, данный ГОСТ дает следующую трактовку термина отказ (*failure*) – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Отказ может быть полным или частичным. Полный отказ характеризуется переходом объекта в неработоспособное состояние. Частичный отказ характеризуется переходом объекта в частично неработоспособное состояние [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Решению задач по прогнозированию отказов горного оборудования уделяется особое внимание в теории надежности, особенно на этапе эксплуатации в конкретных горно-геологических условиях применения. К наиболее значимым работам в данном научном направлении можно отнести исследования по оценке надежности и качества горных машин Г.И. Солода, В.Н. Гетопанова, В.М. Рачека, Я.М. Радкевича, М. С. Островского, Б.И. Лактионова, С.П. Карасева, Э.Г. Щербины, А.Г. Фролова и других ученых [1], а также необходимо выделить ряд зарубежных исследований следующих ученых: Morin C.R., Packer K.F.,

Slater J.E., Harish Kumar N. S., Choudhary R. P., Murthy Ch.S. N. и других [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

В работе [19] поставлена и решена задача по обоснованию экономических условий формирования цен на горношахтное оборудование, к основным определяющим факторам отнесены объем готовой продукции и затраты на горношахтное оборудование при установлении срока полезного использования с учетом минимальных затрат. Производительность вида оборудования, применяемого в горной промышленности, влияет на величину объема выполняемой работы за период использования оборудования. Рост цен на оборудование вызывает повышение удельных эксплуатационных затрат, что приравнивается к сокращению срока полезного использования. Таким образом, с целью реализации условия снижения удельных эксплуатационных затрат за эксплуатационный период оборудования при увеличении его производительности необходимо минимизировать затраты на техническое обслуживание, капитальный и текущий ремонты. Под техническим обслуживанием понимают комплекс работ или операций по поддержанию исправности или работоспособности изделий при использовании по назначению, при хранении и транспортировании.

Развитие системных взглядов по проблеме отказов горного оборудования и вопросы прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования имеют важное значение при организации технического обслуживания. До определенного момента техническое обслуживание в горнодобывающей промышленности было выстроено следующим образом: послеосмотровый, периодический, стандартный или планомерно-принудительный и планомерно-предупредительный (система ППП) ремонты; по системе технических обслуживаний и ремонтов (система ТОиР); гарантийная и фирменная системы ремонтов.

Для плановой советской экономики данный подход был отчасти прогрессивен, так как позволял на основе обобщения статистических данных по эксплуатируемому оборудованию на горных предприятиях разработать ремонтные нормативы (трудоемкость ремонта, межремонтные периоды, затраты на техническое обслуживание и ремонт и др.). Далее в условиях горных предприятий с использованием аналитических зависимостей рассчитывалось необходимое количество ремонтов и разрабатывался годовой график ремонтов на следующий календарный год с целью планомерного ремонта горных машин и равномерно распределения доли ремонтных работ.

## ЛОКАЛЬНЫЕ И ГЛОБАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗА

Необходимо отметить, что на сегодняшний день в качественных моделях прогноза испытывают потребность многие отрасли, в том числе и горнодобывающая промышленность. Основная задача прогнозирования имеет цель по полученным ранее статистическим данным предсказать будущие значения изучаемого процесса, явления или системы, составить прогноз на некоторый временной промежуток. В научно-технической литературе разработано и описано достаточно большое количество методов прогноза, но к основным можно отнести два: локальный и глобальный.

Для прогнозирования и изучения сложных технических систем широко используется подход, основанный на анализе данных, полученных в разные моменты времени – анализе временных рядов.

Авторегрессионные методы анализа временных рядов реализованы и представлены в статистических и математических пакетах. Авторегрессионные модели имеют один существенный минус – использование глобальной аппроксимации, единой для всего временного ряда, в отличие от методов локальной аппроксимации (ЛА), в которых используется система кусочных приближений. Это отличие позволяет с помощью ЛА более качественно прогнозировать квазипериодические (нерегулярные) временные ряды без дополнительной обработки (разделения на трендовую, периодическую и нерегулярную составляющие) [20].

Метод локальной аппроксимации заключается в разбиении области определения функции на несколько локальных областей, в выстраивании аппроксимирующих моделей и в оценивании параметров данных моделей отдельно по областям. Основным фактором эффективного применения локальной аппроксимации выступает обоснованный выбор размера локальной области, то есть числа соседей. Их число должно быть достаточным в каждой области для устойчивой оценки параметров. Соответственно, при этом условии небольшой рост числа новых соседей не дает существенного изменения оцениваемого параметра.

В настоящее время теория методов локальной аппроксимации, служащая для предсказания значений временного ряда, получила активное развитие в связи с ее широким практическим применением [20].

Общеизвестно, что временной ряд – это последовательность значений некоторой величины, расположенная в хронологическом порядке.

В структуре временного ряда выделяются две основные составляющие: детерминированная и случайная.

Детерминированная (систематическая) составляющая содержит следующие структурные компоненты: тренд, то есть действие долговременных факторов ( $B$ ), сезонный эффект ( $S$ ), циклическая компонента переменной длительности и амплитуды ( $K$ ).

Случайная (несистематическая) составляющая ряда ( $X$ ) включает воздействие различных случайных факторов и процессов.

Функция, описывающая временной ряд, может быть описана следующим образом:

$$Z(t) = f(B, K, S, X) = B(t) + K(t) + S(t) + X(t).$$

Если из представленной зависимости убрать или уменьшить влияние трендовой составляющей и периодической (циклическая и сезонная), то останется случайная компонента, временной ряд становится нерегулярным.

К преимуществам локальных методов прогноза нерегулярных рядов можно отнести [20]:

- использование не предполагает получение априорной информации о системе, породившей временной ряд;
- исключена необходимость создания специфической модели, отображающей динамику исследуемого ряда;
- применение значений ряда, наиболее близких к стартовой точке (стартовому вектору), для прогнозирования;

- использование меньшего количества исходных данных;

- горизонт прогноза зависит от особенностей динамики ряда, а не от возможностей метода.

В основе построения прогноза лежит метод задержек: переход от скалярного временного ряда длины  $N$  к векторному представлению длины  $N - p + 1$ , каждый вектор образуется из некоторого числа  $p$  следующих друг за другом значений исходного временного ряда:

$$\{x_1, x_2, \dots, x_N\} \rightarrow X_{p \times (N-p+1)} = \begin{pmatrix} x_p & \dots & x_N \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1 & \dots & x_{N-p+1} \end{pmatrix}.$$

Затем выбирается вид локального представления, то есть вид функции, связывающей следующее значения ряда с предыдущим:

$$x_{t+1} = f(x_t, a)$$

где  $a$  – вектор параметров представления.

Порядок линейной аппроксимации выбран первый (ЛА1), а вид функции:

$$f(x_t, a) = a_0 + x_t^2 a.$$

Зачастую переход к более высоким порядкам аппроксимации предполагает повышение точности прогноза. При этом возникает схожая проблема, что и в случае применения глобальной аппроксимации: повышение степени аппроксимации приводит к резкому увеличению количества соседей, а большее число соседей вызовет снижение точности.

Далее происходит выбор ближайших соседей, соседние к стартовому вектору  $x_{N-p+1}$  векторы, удовлетворяющие условию:

$$\{x_s\} : \sum_{s \in \omega_{\Xi}} \|x_{N-p+1} - x_s\| \rightarrow \min$$

где  $s \in \omega_{\Xi} \subset \omega_{N-p+1}$ ,  $\omega_{N-p+1} \equiv \{1, \dots, N-p+1\}$ ,  $\Xi$  – количество соседей,  $\omega_{\Xi}$  – набор номеров векторов-соседей. Норма берется евклидова. Нижняя оценка количества соседей:

$$\Xi \geq p+1.$$

После оцениваются параметры модели (вектор  $a$ ):

$$\hat{a} : \sum_{\omega_s} (x_{s+1} - f(x_s, \hat{a}))^2 \rightarrow \min.$$

Оценка происходит с помощью метода наименьших квадратов, но для длинных рядов (более  $10^4$ ) столбцы в матрице соседей могут быть линейно зависимы, из-за чего применяется сингулярное разложение ( $SVD$ ), хотя, в общем случае, оценка данным методом будет смещенная.

Оценив параметры аппроксимации, строится следующее значение ряда (стартовый вектор обозначен индексом  $L$ ):

$$\hat{x}_{L+1} = f(x_L, \hat{a}).$$

Корбалихинский рудник АО «Сибирь-Полиметаллы» находится в Змеиногорском районе Алтайского края и осуществляет добычу и разработку на крупнейшем место-

рождении полиметаллических руд в РФ. Запасы месторождения составляют 26 млн т руды с высоким содержанием цинка, а также меди, свинца, золота и серебра. Месторождение, эксплуатирующееся рудником с 2007 г., расположено на глубине до 1300 м. Сегодня Корбалихинский рудник имеет две очереди мощностью в 400 тыс. и 800 тыс. т руды. Первая очередь запущена в 2014 г., запуск второй очереди ожидается в 2021-2022 гг. На Корбалихинском руднике при подземной разработке рудных тел широко применяются погрузочно-доставочные машины (ПДМ). Это ковшовые машины периодического действия с нижним захватом горной массы. Практически все машины имеют одинаковую базовую компоновку и включают в себя: исполнительный орган, ходовое оборудование, раму, систему управления, привод и др. Машины фирмы Sandvik серии LH имеют наибольшее распространение и используются как средство механизации горных работ при подземном способе добычи.

Как показывает многолетняя практика эксплуатации данного типа машин, тяжелые горно-геологические условия эксплуатации, а также периодические нарушения условий эксплуатации приводят к интенсивному использованию ПДМ и, как следствие выходу из строя наиболее нагруженных элементов их конструкции. На основе анализа ремонтных ведомостей установлены возможные дефекты основных элементов и механизмов – гидравлическое оборудование (гидроцилиндры и гидромоторы поворота передней полурамки, подъем стрелы, опрокидывание ковша); в элементах металлоконструкций (рабочее оборудование, рама, оси, стопоры, пальцы, крепежные элементы и др.), трансмиссия (коробка передач, карданные валы, агрегаты передней и задней оси) и др. В таблице отражены возможные дефекты ПДМ.

Экспериментальные исследования надежности выполнены авторами в условиях Корбалихинского рудника. Эксперимент выполнялся для выявления отказов ПДМ Sandvik LH517i и получения номенклатуры узлов, приводящих машины в состояние полного или частичного от-

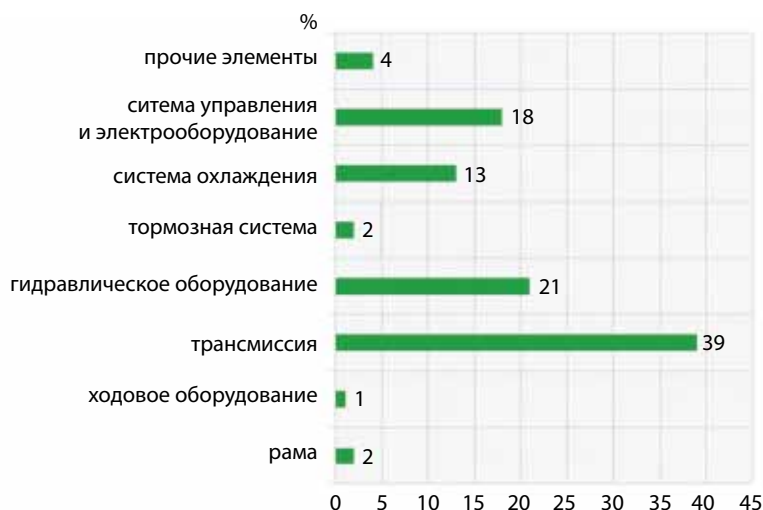


Рис. 1. Распределение отказов ПДМ Sandvik LH517i по основным механизмам

каза. На рис. 1 представлено процентное распределение потока отказов по основным механизмам погрузочно-доставочных машин фирмы Sandvik на Корбалихинском руднике АО «Сибирь-Полиметаллы».

Анализ общего объема отказов приведенных узлов показал наличие значительной доли ремонтных работ, что свидетельствует о низком уровне технического обслуживания и ремонтов данного типа машин.

Используя предложенный подход и специализированное программное обеспечение, а именно программу «Statistica», установлено следующее: в процессе работы с временными рядами основной интерес вызывает получение с их помощью информации о породившей их системе. К тому же становится возможным прогнозирование дальнейшего изменения величины (отказов), значения которой представляют изучаемый временной ряд. Итак, результаты, полученные с помощью формально-статистического инструментария, должны сопровождаться подробным анализом (рис. 2).

Таким образом, итоговая цель анализа временных рядов понимается исследователями как причинные механизмы, выступающие основой динамики нелинейных си-

### Возможные дефекты погрузочно-доставочных машин LH517i

Агрегат	Дефект
<b>С возможностью визуального наблюдения</b>	
Рабочее оборудование	Трещины, сколы
Кузов	Коррозия, вмятины, трещины, разрыв металла
Рама	Прогиб продольных балок и поперечин, перекося продольных балок и поперечин
Ходовое (пневмоколесное) оборудование	Давление в шинах, износ протектора, пробой, порезы, разрывы, трещины дисков и ободьев колес
<b>Возможность визуального наблюдения отсутствует</b>	
Ходовое (пневмоколесное) оборудование	Повреждение подшипников главной передачи, нарушение зацепления шестерен главной передачи, выкрашивание зубьев главной передачи, скол зубьев главной передачи
Рулевое управление	Неисправность гидронасоса, заклинивание приоритетного клапана, неисправность гидроцилиндра поворота
Редукторы	Повреждения подшипников, несоосность вала редуктора и вала машины, засорение дренажного отверстия, нарушение зацепления зубьев колес, поломка и выкрашивание зубьев зубчатых колес
Система нейтрализации выхлопных газов	Оплавление блока носителя, разрушение блока носителя, неисправность кислородного датчика

стем, порождающих эти ряды. В первую очередь это связано с тем, что чаще всего не удается построить адекватную математическую модель из-за недостаточности данных о природе возникновения отказов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, создание прогноза остается важным шагом к предупреждению отказов горнотранспортного оборудования. Реализация и внедрение на горных предприятиях РФ современной эффективной системы прогнозирования изменений в состоянии оборудования являются ключевым инструментом для минимизации простоев горного оборудования, увеличения срока его службы, снижения стоимости содержания оборудования, позволяющим на основе фактических данных о его работе к текущему моменту времени сделать прогноз о возможности дальнейшей эксплуатации. Для решения задачи прогнозирования отказов и получения конкретных прогнозных данных по отказам оборудования ПДМ необходима разработка математического аппарата, позволяющего оперативно обрабатывать большие объемы статистических данных по отказам оборудования, полученные в ходе исследований на предприятиях отрасли, находящихся в открытом доступе.

### Список литературы

1. Инструменты предиктивной аналитики в минимизации отказов горнотранспортного оборудования / В.С. Великанов, О.С. Мусонов, О.Р. Панфилова и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т. 19. № 4. С. 5-15.
2. ГОСТ 27.002-2015. «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения». М.: Издательство стандартов. 2016. 28 с.
3. Зорин В.А. Надежность механических систем. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 380 с.
4. Малафеев С.И., Копейкин А.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи: учебное пособие. СПб.: Лань, 2012. 313 с.
5. Надежность механических систем горных и транспортных машин: учебное пособие / О.Р. Панфилова, И.Г. Усов, И.М. Кутлубаев и др. Магнитогорск: Издательство Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2020. 60 с.
6. Острейковский В.А. Теория надежности. М.: Высшая школа, 2008. 463 с.
7. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 702 с.
8. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Практикум: учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 557 с.
9. Эксплуатационная надежность и техническое обслуживание экскаваторов ЭКГ-8 и ЭКГ-8И: учебно-методическое пособие / В.А. Голубев, А.Е. Троп, Н.М. Карасев и др. Свердловск, 1971. 119 с.
10. Dindarloo Saeid R., Siami-Irdemoosa E. Data mining in mining engineering: results of classification and clustering of shovels failures

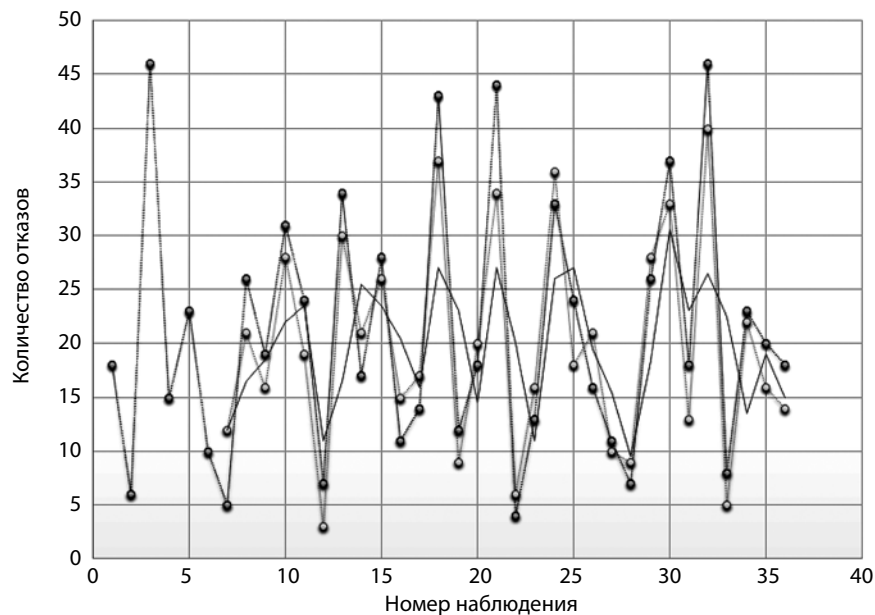


Рис. 2. Значения временных рядов и прогноз

- data // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2017. No. 31. P. 105-118.
11. Dindarloo Saeid R. Support vector machine regression analysis of LHD failures // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2016. No. 30. P. 64-69.
12. Elevli S., Uzgören N., Elevli B. Correspondence analysis of repair data: a case study for electric cable shovels // Journal of Applied Statistics. 2008. No. 35. P. 901-908.
13. Harish Kumar N.S., Choudhary R.P., Murthy N. Model based reliability analysis of shovel – dumper system’s mechanical failures used in the surface coal mine: a case study // Safety and Reliability. 2020. No. 39. p. 215-229.
14. Morin C.R., Packer K.F., Slater J.E. Failure analysis associated with mining and heavy mechanical equipment // Metallography in Failure Analysis. Springer, Boston, MA. 1978. P. 191-205. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2856-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2856-8_8).
15. Vayenas N., Wu X. Maintenance study of a skip hoist // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2011. No. 2. P. 177-186.
16. Roy S.K., Bhattacharyya M.M., Naikan A. Maintainability and reliability analysis of a fleet of shovels // Mining Technology. 2001. No. 110. P. 163-171.
17. Vayenas N., Wu X. Maintenance and reliability analysis of a fleet of load-haul-dump vehicles in an underground hard rock mine // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2009. No. 23. P. 227-238.
18. Yuriy G., Vayenas N. Discrete-event simulation of mine equipment systems combined with a reliability assessment model based on genetic algorithms // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2008. No. 22. P. 70-83.
19. Галиев Ж.К., Галиева Н.В. Экономические условия формирования цен на горно-шахтное оборудование // Научный вестник Московского государственного горного университета. 2013. № 3. С. 7-13.
20. Лоскутов А.Ю., Журавлев Д.И. Применение метода локальной аппроксимации для прогноза экономических показателей // Вопросы анализа и управления рисков. 2003. № 1. С. 21-31.

Original Paper

UDC 622-1:[2:331.101.1] © I.A. Grishin, V.S. Velikanov, O.V. Nazarov, N.V. Dyorina, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 3, pp. 84-89  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-3-84-89>

**Title****ON THE POSSIBILITY OF USING THE LOCAL APPROXIMATION METHOD TO PREDICT IRREGULAR TIME SERIES OF MINING MACHINE FAILURES****Authors**

Grishin I.A.<sup>1</sup>, Velikanov V.S.<sup>2</sup>, Nazarov O.V.<sup>3</sup>, Dyorina N.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, 455000, Russian Federation

<sup>2</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation

<sup>3</sup>SPM Siberia-Polymetals JSC, Korbalkhinsk mine, Altai Territory, 658471, Russian Federation

**Authors Information**

**Grishin I.A.**, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing, e-mail: igorgri@mail.ru

**Velikanov V.S.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Hoisting and Hauling Machines and Robots, e-mail: rizhik\_00@mail.ru

**Nazarov O.V.**, Electromechanic Technician, 'ShSU-Shakhtostroitelnoye Upravlenie' LLC, Underground section of capital mining operations No. 9, e-mail: zikfreid@yandex.ru

**Dyorina N.V.**, PhD (Philology), Associate Professor, Department of Foreign Languages in Engineering, e-mail: nataljapidckaluck@yandex.ru

**Abstract**

Sustainable development of mining technologies implies the introduction and implementation of the key messages and approaches of Industry 4.0. 'Industry 4.0' is generally applied to characterise new, advanced and potentially breakthrough technologies. Digital transformation in the mining industry is primarily aimed at increasing productivity. The long-term programme for the development of the mining industry in the Russian Federation until 2030 sets the objective of a fivefold increase in productivity and key level indicators by at least a factor of 2 to 3. At the same time, industrial and environmental safety standards require mining enterprises to operate machinery and equipment in good working order with the possibility of continuous monitoring of their technical condition. Reliability of mining equipment is a significant problem, so research aimed at further study of issues of forecasting breakdowns and failures, are relevant and in demand. The method of local approximation implemented in this work has the distinct advantage of using piecewise linear approximation instead of global-linear approximation, which is a typical autoregressive method. Forecasting remains an important step towards preventing mining equipment failures. Implementation at mining enterprises of an up-to-date efficient system for forecasting changes in the condition of mining and transportation equipment is a key tool for minimising its downtime, extending the service life of equipment and reducing the cost of equipment maintenance. It is established that failure rate of nodes and units of new generation mining loader-dumping machines is determined not only by mining and geological conditions of operation, but also by a considerable share of repair works that indicates a low level of maintenance and repair works of this type of machines. Implementation of a predictive model based on the method of local approximation of irregular time series of failures of mining transport machines will allow predicting the rational functioning of technological processes of mining of minerals in complex mining conditions.

**Keywords**

Mining, Loader, Equipment, Failure, Element, Mining equipment failure prediction, Mining industry, Local approximation method.

**References**

- Velikanov V.S., Musonov O.S., Panfilova O.R. et al. Tools of predictive analytics in minimization of mining equipment failures. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova*, 2021, Vol. 19 (4), pp. 5-15. (In Russ.).
- GOST 27.002-2015. Dependability in technics. Terms and definitions. Moscow, Izdatel'stvo Standartov Publ., 2016, 28 p. (In Russ.).
- Zorin V.A. Reliability of mechanical systems: A Handbook. Moscow, NITS INFRA-M Publ., 2015, 380 p. (In Russ.).
- Malafeyev S.I. & Kopeykin A.I. Reliability of technical systems. Examples and problems: a workbook. St. Petersburg, Lan' Publ., 2012, 313 p. (In Russ.).
- Panfilova O.R., Usov I.G., Kutlubayev I.M. & Velikanov V.S. Reliability of mechanical systems of mining and transport machines: a workbook. Mag-

nitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University Publ., 2020, 60 p. (In Russ.).

6. Ostreikovsky V.A. Theory of reliability. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2008, 463 p. (In Russ.).

7. Polovko A.M. & Gurov S.V. Fundamentals of Reliability Theory. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2007, 702 p. (In Russ.).

8. Polovko A.M. & Gurov S.V. Fundamentals of Reliability Theory. Practical course: a workbook. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2006, 557 p. (In Russ.).

9. Golubev V.A., Trop A.E., Karasev N.M. et al. Operational reliability and maintenance of EKG-8 and EKG-8I mechanical shovels: a study guide. Sverdlovsk, 1971, 119 p. (In Russ.).

10. Dindarloo Saeid R. & Siami-Irdemoosa E. Data mining in mining engineering: results of classification and clustering of shovels failures data. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2017, (31), pp. 105-118.

11. Dindarloo Saeid R. Support vector machine regression analysis of LHD failures. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2016, (30), pp. 64-69.

12. Elevli S., Uzgören N. & Elevli B. Correspondence analysis of repair data: a case study for electric cable shovels. *Journal of Applied Statistics*, 2008, (35), pp. 901-908.

13. Harish Kumar N.S., Choudhary R.P. & Murthy N. Model based reliability analysis of shovel – dumper system's mechanical failures used in the surface coal mine: a case study. *Safety and Reliability*, 2020, (39), pp. 215-229.

14. Morin C.R., Packer K.F. & Slater J.E. Failure analysis associated with mining and heavy mechanical equipment. *Metallography in Failure Analysis*. Springer, Boston, MA, 1978, pp. 191-205. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2856-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2856-8_8).

15. Vayenas N. & Wu X. Maintenance study of a skip hoist. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2011, (2), pp. 177-186.

16. Roy S.K., Bhattacharyya M.M. & Naikan A. Maintainability and reliability analysis of a fleet of shovels. *Mining Technology*, 2001, (110), pp. 163-171.

17. Vayenas N. & Wu X. Maintenance and reliability analysis of a fleet of load-haul-dump vehicles in an underground hard rock mine. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2009, (23), pp. 227-238.

18. Yuriy G. & Vayenas N. Discrete-event simulation of mine equipment systems combined with a reliability assessment model based on genetic algorithms. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2008, (22), pp. 70-83.

19. Galiev Zh.K. & Galieva N.V. Economic conditions of mining equipment pricing. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2013, (3), pp. 7-13. (In Russ.).

20. Loskutov A.Yu. & Zhuravlev D.I. Application of a local approximation technique for forecasting economic indicators. *Voprosy analiza i upravleniya riskom*, 2003, (1), pp. 21-31. (In Russ.).

**Acknowledgements**

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FZRU-2020-0011).

**For citation**

Grishin I.A., Velikanov V.S., Nazarov O.V. & Dyorina N.V. On the possibility of using the local approximation method to predict irregular time series of mining machine failures. *Ugol'*, 2022, (3), pp. 84-89. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-84-89.

**Paper info**

Received January 31, 2022

Reviewed February 14, 2022

Accepted February 21, 2022