

ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 681.518.5

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-33-40

Герике Павел Борисович, Герике Борис Людвигович

Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН

*E-mail: am_besten@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН



Информация о статье

Поступила:

13 июля 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

06 октября 2022 г.

Принята к печати:

15 февраля 2023 г.

Опубликована:

09 марта 2023 г.

Ключевые слова:

прогнозное моделирование, вибродиагностика, деградация технического состояния, карьерные экскаваторы, единый диагностический критерий, горное оборудование.

Аннотация.

Актуальность работы. В условиях действующей сегодня на угольных предприятиях Кузбасса системы плановых ремонтов наибольшую актуальность приобретают результаты кратко- и среднесрочного прогнозирования процессов изменения фактического состояния горной техники. В рамках выполнения настоящей работы была предпринята попытка создания универсальной прогнозной модели, использующей в качестве моделируемых параметров принципиально новые единые диагностические критерии оценки состояния сложных механических систем.

Цель работы: Разработать математическую модель, пригодную для осуществления адекватного прогнозирования процессов деградации фактического технического состояния энерго-механического оборудования горных машин с использованием алгоритма новых единых диагностических критериев.

Методы исследования: Регистрируемые характеристики вибронгруженности оборудования горных машин исследовались с использованием спектрального анализа в расширенном частотном и динамическом диапазонах, спектра огибающей и эксцесса. При разработке единых диагностических критериев использовался метод оптимальной скаляризации данных эксперимента. Результаты адаптивного краткосрочного прогнозирования применялись при разработке модели развития дефектов динамического оборудования горной техники.

Результаты: Полученные в рамках настоящей работы научные результаты свидетельствуют об эффективности предложенной краткосрочной прогнозной модели для решения задачи оценки степени развития деградационных процессов на оборудовании горных машин в рамках использования новых единых диагностических критериев.

Для цитирования: Герике П.Б., Герике Б.Л. Прогнозирование процессов безаварийной эксплуатации оборудования горных машин // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 1 (165). С. 33-40. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-33-40

Введение. Создание универсальной прогностической модели является необходимым условием решения научных задач, сформулированных в рамках выполнения научного проекта РФФИ и Кемеровской области № 20-48-420010. Главное отличие разрабатываемой модели от уже существующих заключается в использовании в качестве моделируемых параметров новых единых диагностических критериев, каждый из которых способен заменить

собой большое количество диагностических признаков и правил в области контроля вибрации.

Математическая модель оценки фактического состояния объекта диагностики может создаваться на основе допущения о том, что имеющаяся на данный момент совокупности технических параметров объекта диагностики зависит от его начального состояния, режима функционирования и истории его эксплуатации [1, 2].

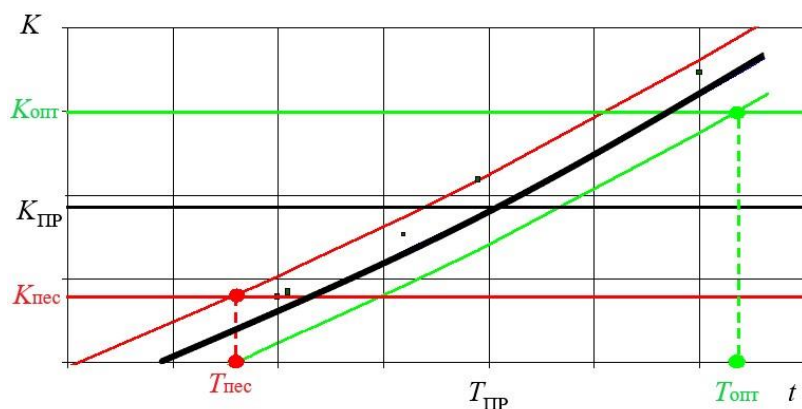


Рис. 1. Схема изменения технического состояния объекта диагностики в координатах «диагностический параметр – время». K_{PP} – предельное значение диагностического параметра, $K_{Пес}$ и $K_{Опт}$ – 95% доверительные интервалы оценки предельного состояния, $T_{Пес}$ и $T_{Опт}$ – пессимистическая и оптимистическая оценки остаточного ресурса

Fig. 1. Scheme of changing the technical state of the diagnostic object in the coordinates "diagnostic parameter – time". K_{PP} – limit value of the diagnostic parameter, $K_{Пес}$ and $K_{Опт}$ – 95% confidence intervals of the limit state assessment, $T_{Пес}$ and $T_{Опт}$ – pessimistic and optimistic estimates of the residual life

Т.к. регистрируемые параметры вибрации являются случайными величинами, то данную математическую модель нельзя считать детерминированной, поэтому необходимо использовать статистические закономерности изменения фактического состояния объекта диагностирования [3, 4]. При неизвестном законе распределения для наработки до отказа обычно используются точечные оценки среднего и гамма-процентного ресурсов с учетом их доверительных интервалов. В рамках действующей системы планово-предупредительных ремонтов осуществление длительных прогнозов деградации технического состояния сложных механических систем не имеет никакой практической ценности, поэтому в рамках настоящей работы наибольший интерес представляют системы кратко- и среднесрочного прогнозирования. Основной целью таких систем становится поиск ответа на вопрос, проработает ли диагностируемая система до момента проведения очередного ремонта или нет? В этом случае можно ограничиться прогнозированием на незначительном временном отрезке – от момента проведения диагностики до очередного планового ремонта.

В этом случае необходимо решить задачу распознавания фактического состояния, в котором находится горное оборудование на момент проведения диагностики. Как правило, регистрируемые при диагностике параметры зашумлены, поэтому целесообразно использовать проверку данных на корректность и систему фильтрации, при помощи которых можно выделить информативный тренд для осуществления прогноза, а также оценить вклад в общий уровень сигнала случайных компонент, зависящих от режима работы горного оборудования, квалификации оператора, погрешности измерений и т.д. При разработке адаптивной модели в рамках данной работы для выявления тренда значимой составляющей из зашумленной совокупно-

сти данных использовался методологический подход оценки рядов на отсутствие тренда по критерию Стьюдента [2, 4].

Результаты и их применение. Построение среднесрочного прогноза подразумевало моделирование деградационных процессов на два интервала диагностики, т.е. около шестидесяти календарных дней. Т.к. рассматриваемый ряд данных представляет собой непериодический тренд, то следующей задачей прогнозирования было отыскание аналитической зависимости, которая наиболее точно описывала бы детерминированную составляющую временного ряда экспериментально полученных сигналов вибрации. Обычно для этого используется метод наименьших квадратов, который основывается на допущении о том, что результаты измерения нормально распределены относительно своего математического ожидания. В том случае, когда закон распределения диагностического параметра отличается от принятого нормального, целесообразно применять другие формы законов распределения [5]. В том случае, когда абсолютные значения различных параметров вибрации на стадии зарождения дефектов оборудования растут экспоненциально, искомый тренд диагностического параметра будет иметь линейный вид. Данная математическая модель позволяет рассчитать величину средней скорости деградации диагностируемой системы и сроки достижения ее предельного состояния (см. пример на Рис. 1), в отличие от других моделей, зачастую имеющих неудовлетворительные экстраполяционные свойства [5, 6].

На практике при оценке остаточного ресурса в случае малого числа измерений диагностического параметра ограничиваются использованием выражения вида

$$T = \frac{K_{PP} - K_0}{\bar{V}_K}$$

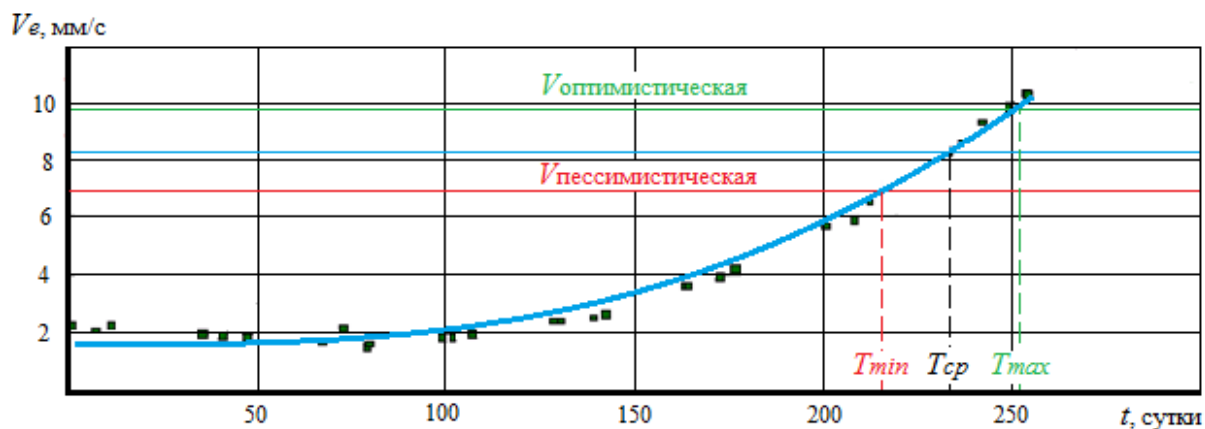


Рис. 2. Прогноз деградации технического состояния объекта диагностирования
Fig. 2. Forecast of degradation of the technical condition of the object being diagnosed

где $K_{ДР}$, K_0 – предельное и начальное значения контролируемого параметра;

\bar{V}_K – средняя скорость изменения контролируемого параметра.

Предельное техническое состояние любой системы может быть определено двумя способами:

- на стадии проектирования, когда рассчитываются предельные отклонения значений параметров механических систем, например, допустимый остаточный дисбаланс, допустимая расцентровка, допустимые посадочные зазоры и т.п.;

- во время эксплуатации оборудования по мере получения и анализа диагностических данных, описывающих фактическое техническое состояние объекта диагностирования [7, 8].

На практике предпочтительно использование второго подхода, т.к. первый способ определения технического состояния гораздо более сложен и намного менее эффективен по сравнению с накоплением диагностических данных, несущих ценную информацию о деградации фактического состояния горного оборудования. В этом случае решение задачи по прогнозированию процессов изменения фактического технического состояния сложной механической системы сводится к экстраполяции искомого полезного диагностического тренда и определению времени его пересечения с линией, определяющей пороговое состояние обследуемого технического устройства (см. Рис. 2). С увеличением числа диагностических данных и уменьшением периода прогнозирования точность прогноза повышается [9]. Однако при использовании мобильных средств диагностики сбор в ручном режиме большого количества диагностических данных является достаточно трудоемкой задачей, именно поэтому необходимо точно знать минимально возможное количество измерений, которое способно обеспечить высокую точность прогноза для заданных технологических условий. В рамках нашей работы на основании использования аналитических зависимостей погрешности результатов прогнозирования от количества диагностических измерений минимальное количество данных было определено как шесть измерений, необходимых для осуществ-

ления прогноза на один временной интервал измерений (один календарный месяц).

Определение минимального количества данных было сделано с учетом допущения того, что дисперсия, вносимая полезным трендом, не должна превышать дисперсии, вносимой случайными отклонениями от линии диагностического тренда. В предельном случае при равенстве дисперсий это допущение может быть представлено в следующем виде:

$$\frac{1}{N} + \frac{3(N + 2T - 1)^2}{N(N^2 - 1)} = 1,$$

откуда для выбранного периода прогнозирования T может быть получено минимально необходимое число измерений N .

Таким образом, очевидно, что построение среднесрочного, а тем более долгосрочного прогноза процесса деградации технического состояния сложных механических систем сопряжено с определенными техническими сложностями, среди которых можно выделить потребность в большом количестве измерений, слабую обеспеченность служб диагностики, нестационарный режим работы оборудования и т.п.

В то же время необходимость в результатах долгосрочного прогноза существует только лишь при условии обслуживания техники по ее фактическому состоянию. При действующей в Кузбассе системе плановых ремонтов горного оборудования значительно снижаются требования к периоду прогнозирования, наибольшую ценность при этом приобретает лишь уверенное знание о том, проработает ли объект диагностики до момента проведения ближайшего ремонта или следующего диагностического обследования. Таким образом, оптимальный период прогнозирования составляет тридцать календарных дней, что является задачей краткосрочного прогнозирования [10, 11]. Для заданных условий, которые определены конструктивными и кинематическими особенностями горных машин, а также условиями их эксплуатации, наиболее эффективные результаты моделирования позволяют получить использование алгоритмов адаптивного краткосрочного прогнозирования. В таких моделях максимальную ценность представляют наибо-

А)

№ агрегата	Место измерения	Результаты виброобработки				Результаты дефектоскопии		
		Максимальное значение	Среднее	Среднее квадратичное	Уровень			
1а	Агрегат 10	3 град	0,450	0,490	11,00	Морская		
2а	Агрегат 10	4 град	0,280	0,210	14,10	Морская		
3а	Агрегат 10	2 град	4,390	11,010	32,140	Морская		
4а	Агрегат 10	3 град	0,470	0,490	11,00	Морская		
5а	Агрегат 10	4 град	0,280	0,170	11,10	Морская		
6а	Агрегат 10	2 град	10,000	0,970	100	119,50	Аварийная	
7а	Агрегат 10	3 град	0,280	0,210	14,10	Морская		
8а	Агрегат 10	4 град	0,280	0,210	14,10	Морская		
9а	Агрегат 60	2 град	7,500	1,120	3,890	8,50	3,180	Привалымо
10а	Агрегат 60	3 град	0,440	0,370	12,20	3,080	Морская	
11а	Агрегат 60	4 град	0,280	1,140	40,40	0,100	Привалымо	
12а	Агрегат 60	3 град	10,000	0,570	1,290	22,00	4,210	Морская
13а	Агрегат 120	4 град	0,200	1,320	9,80	5,200	Морская	
14а	Агрегат 120	1 град	10,000	0,910	8,170	15,80	3,180	Привалымо
15а	Агрегат 120	2 град	0,890	3,210	15,00	2,810	Привалымо	
16а	Агрегат 120	3 град	0,180	1,010	10,80	2,450	Морская	
17а	Агрегат 120	4 град	0,480	1,490	24,90	3,040	Морская	
18а	Агрегат 120	3 град	10,000	0,900	44,400	20,80	3,900	Аварийная
19а	Агрегат 120	2 град	0,350	11,410	18,40	1,490	Привалымо	
20а	Агрегат 120	3 град	0,290	3,670	5,10	5,810	Привалымо	
21а	Агрегат 120	4 град	1,120	2,370	3,50	1,110	Морская	
22а	Агрегат 140	1 град	1,180	3,990	27,40	3,010	Привалымо	
23а	Агрегат 140	2 град	0,800	15,970	20,00	4,010	Привалымо	
24а	Агрегат 140	3 град	0,650	1,380	21,60	2,510	Морская	
25а	Агрегат 140	4 град	1,040	4,380	13,00	8,000	Аварийная	
26а	Агрегат 140	3 град	10,000	0,100	0,10	2,210	Морская	
27а	Агрегат 140	2 град	1,840	31,120	60,50	1,300	Привалымо	
28а	Агрегат 140	3 град	1,040	39,370	31,30	10,120	Аварийная	
29а	Агрегат 140	4 град	0,800	65,980	21,70	6,120	Аварийная	

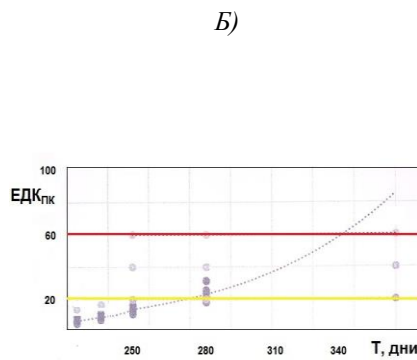


Рис. 3. Результаты адаптивного прогнозирования разрушения элементов подшипника с использованием единого диагностического критерия (А – пример расчета единого критерия для подшипника качения, Б – графическое представление результатов моделирования, В – множественные дефекты подшипника – изменение геометрии тел качения, задиры на кольцах, наклеп сепаратора)

Fig. 3. The results of adaptive prediction of the destruction of bearing elements using a unified diagnostic criterion (A – an example of calculating a unified criterion for a rolling bearing, B – a graphical representation of the simulation results, C – multiple bearing defects – a change in the geometry of the rolling elements, scuffing on the rings, separator hardening)

лее свежие результаты замеров вибрации, на основе анализа которых корректируются параметры прогнозной модели, адаптируя всю модель к изменившимся входным условиям. Адаптивные модели позволяют получить хорошую сходимость результатов прогнозирования на относительно коротких временных интервалах, что полностью удовлетворяет требованиям действующей сегодня на предприятиях угольной промышленности Кузбасса системы планово-предупредительных ремонтов [12].

Для записи адаптивной модели, основанной на принципе вычисления экспоненциальной средней в момент времени t для ряда диагностических данных, имеющего N членов, в рамках данной работы использовалось следующее выражение [2, 4]:

$$S_t = \alpha \sum_{i=0}^{N-1} \beta^i K_{t-i} + \beta^N S_0,$$

где S_0 – величина, характеризующая начальные условия для применения формулы, α – параметр экспоненциального сглаживания ($0 < \alpha < 1$), $\beta = 1 - \alpha$, S_t – новый прогноз, N – количество членов диагностического ряда, K_{t-i} – значение диагностического параметра, зарегистрированного в момент времени $t-i$.

Т.к. при выполнении настоящего проекта было собрано и проанализировано большое количество диагностических данных по вибрации оборудования горных машин, то при решении задачи расчета краткосрочного прогноза фактического состояния диагностируемой сложной механической системы, обслуживаемой в рамках действующей стратегии плановых ремонтов, в качестве величины S_0 использовались среднеарифметические значения рассчитанных ранее единых диагностических критериев [13].

На практике при реализации алгоритмов адаптивного моделирования наибольшие затруднения

вызывает выбор величины параметра экспоненциального сглаживания α , который полностью определяется целями исследования, типом диагностируемого оборудования и режимами его работы. Обзор отечественных и зарубежных публикаций показал, что с возрастанием величины α повышается ценность наиболее свежих диагностических измерений, но в то же время плохо сглаживаются случайные изменения диагностического параметра [2, 7, 13, 14]. Уменьшение величины α позволяет улучшить сглаживание регистрируемой функции. Обычно, если данные о величине параметра экспоненциального сглаживания отсутствуют, для единичных вычислений рекомендуется использовать величину $\alpha = 0,1 \dots 0,3$. При построении средних или долгосрочных прогнозов необходимо учитывать информацию о развитии дефектов за продолжительный период времени, и значение параметра сглаживания α здесь может варьироваться от 0,1 до 0,3. В случае осуществления прогнозирования на малый период времени оптимальным является выбор значения α в диапазоне от 0,5 до 0,7.

На основании исследований, проведенных в рамках выполнения мониторинга состояния подшипниковых узлов основного и вспомогательного оборудования на угольных и горнорудных предприятиях, для решения задач краткосрочного прогнозирования состояния подшипниковых узлов адаптивными методами были определены значения α , полностью удовлетворяющие условиям действующей на предприятиях системы планово-предупредительных ремонтов. В частности, для агрегатов, работающих на стационарных (установившихся) режимах с интервалом мониторинга менее 1/20 межремонтного интервала, значение α может составлять 0,55. Для агрегатов, работающих на нестационарных режимах (знакопеременные

ударные нагрузки, изменяющиеся во время работы частоты и т.п.) или с интервалом мониторинга более 1/20 межремонтного интервала значение α не должно превышать 0,3 [14, 15].

Разработанные единые критерии для диагностики состояния подшипников качения, соединительных муфт, жесткости опорной системы, дефектов поршневых компрессоров в составе пневматических систем электрических карьерных экскаваторов и дефектов электрической природы, созданные на основе принципов «оптимальной скаляризации» [2, 14], были протестированы в качестве параметров универсальной адаптивной модели, созданной для осуществления прогноза развития деградационных процессов на оборудовании горных машин. Результаты прогнозирования получили подтверждение в рамках проведения годового ремонта при демонтаже поврежденного узла (подшипник генератора тяги преобразовательного агрегата экскаватора ЭШ 10/70) с использованием визуально-измерительного контроля (см. Рис. 3).

Выводы. Таким образом, обобщая вышесказанное, можно заключить, что задача по прогнозированию остаточного ресурса диагностируемой системы на основе использования новых единых диагностических критериев решается через поиск и экстраполяцию полезного диагностического тренда и определение времени его пересечения с линиями, определяющими пороговое состояние диагностических параметров исследуемого объекта.

В ходе выполнения настоящей работы были подвергнуты формализации более ста двадцати диагностических признаков и правил выявления дефектов в области контроля вибрации, в том числе признаки нарушения жесткости системы, расцентровки валов агрегатов, неуровновешенности вращающихся конструктивных элементов, дефектов подшипников качения и зубчатых передач, а также дефектов соединительных муфт, поршневых компрессоров и дефектов электродвигателей и генераторов электрической природы (замыкание обмоток, нарушения воздушного зазора и т.д.). Большая часть рассматриваемых диагностических признаков определена правилами спектрального анализа, кроме того, формализации подверглись результаты анализа с использованием алгоритмов поиска огибающей и эксцесса.

Предложенный подход к анализу диагностических данных с применением разработанных единых диагностических критериев позволил осуществить прогноз развития деградационных процессов на оборудовании горных машин на кратко- и среднесрочную перспективу, что позволяет закрыть все существующие потребности в прогнозировании для системы планово-предупредительных ремонтов. Реализованные способы выделения тренда детерминированной компоненты из исходного виброакустического сигнала позволяют получить меры достоверности для статистических оценок, используемых при построении прогноза.

Заключение. Полученные научные результаты позволили доказать эффективность предложенной методологии создания адаптивной прогнозной де-

градационной модели при использовании в качестве моделируемых параметров новых единых диагностических критериев, основанных на принципе комплексного диагностирования оборудования по параметрам вибрации. Применение предложенного подхода к прогнозированию процессов деградации фактического состояния сложных механических систем позволит снизить аварийность при проведении открытых горных работ, а также оптимизировать логистику и складское хозяйство эксплуатирующих предприятий угольной и горнорудной промышленности.

Использование единых диагностических критериев, разработанных для диагностики всего спектра дефектов горного оборудования, в качестве параметров адаптивной модели для прогнозирования процессов деградации технического состояния горных машин открывает инновационный путь к реализации в условиях угольных предприятий России системы управления ремонтами на основе оценки фактического состояния эксплуатируемой техники, что позволит уменьшить негативное влияние человеческого фактора на результаты вибродиагностики, снизить требования к квалификации специалистов, осуществляющих контроль фактического состояния горных машин, уменьшить себестоимость добычи за счет минимизации аварийных отказов и ухода от морально устаревшей системы планово-предупредительных ремонтов и аварийного обслуживания техники. Применение результатов кратко- и среднесрочного прогнозирования позволит свести к минимуму количество несчастных случаев на производстве, связанных с фактически недопустимым техническим состоянием эксплуатируемой горной техники, и уменьшить риски для ремонтного и обслуживающего персонала сложной и дорогостоящей горной техники.

Источники финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-48-420010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В.В. Клюева. Т.7. М. : 2005. 828 с.
2. Сушко А. Е., Грибанов В. А. Проблемы оценки технического состояния динамического оборудования опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. 2011. № 10. С. 58-65.
3. Краковский Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск : Наука, СО. 2005. 200 с.
4. Герцбах И. Теория надежности с приложениями к профилактическому обслуживанию: Монография / Под ред. В. В. Рыкова; пер. с англ. М.Г. Сухарева. М. : ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. 263 с.
5. Герике Б. Л., Копытин Д. В., Тациенко В. П. Опыт использования цифровых

технологий в оценке технического состояния комплексов глубокой разработки пластов. // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2019. №3. С. 72-80.

6. Бигус Г. А., Даниев Ю. Ф., Быстрова Н. А., Галкин Д. И. Основы диагностики технических устройств и сооружений. М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 445 с.

7. Wang, T., Han, Q., Chu, F., Feng, Z. Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox : A review. Mechanical Systems and Signal Processing. 2019. V. 126. Pp. 662-685. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.02.051>

8. Gerike P. B., Gerike B .L. and Klishin V. I. Analyzing the vibration parameters of gas-cleaning units operated in coal and mining industry of Kuzbass. // KTDUMR 2020. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 823 (2021) 012012 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/823/1/012012.

9. Gerike B. L., Gerike P. B. Selecting the criterion for diagnosing imbalance of electric mining shovel rotors. E3S Web Conferences 315, 03025 (2021). VI International Innovative Mining Symposium (Международный инновационный горный симпозиум МИГС-2021). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131503025>

10. Артемьев А. А., Потапенко В. С., Иванов С. Л. [и др.] К вопросу оценки ресурса

элементов трансмиссий горных машин. // Горное оборудование и электромеханика. 2007. № 9. С. 31-35.

11. Drygin S., Peton N., Ahmad S. Oil whirl instability on a gearbox and gas turbine unbalance. IMVAC Europe. Antwerp, Belgium. June 03-06. 2019.

12. Shardakov I., Shestakov A., Tsvetkov R., Yepin V. Crack diagnostics in a large-scale reinforced concrete structure based on the analysis of vibration processes. AIP Conference Proceedings 2053, 2018. 040090 <https://doi.org/10.1063/1.5084528>

13. Tse P., Peng Y., Yam R. Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault Diagnosis—Their Effectiveness and Flexibilities. Journal of Vibration and Acoustics. 2001. Vol. 123. Pp 303-310. <https://doi.org/10.1115/1.1379745>

14. Герике П. Б., Ещеркин П. В. Разработка методологии создания единых критериев для диагностики дефектов оборудования горных машин // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. № 6. Кемерово, 2020. С. 150-154.

15. Liu G., Parker R. Dynamic Modeling and Analysis of Tooth Profile Modification for Multimesh Gear Vibration. Journal of Mechanical Design. 2008. Vol. 130. Pp. 121402/1-121402-13. <https://doi.org/10.1115/1.2976803>

© 2023 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Герике Павел Борисович, канд. техн. наук, доцент, Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН, (650065, г. Кемерово пр. Ленинградский, 10), am_besten@mail.ru

Герике Борис Львович, д-р техн. наук, профессор, Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН, (650065, г. Кемерово пр. Ленинградский, 10), gbl_42@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Герике Павел Борисович – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, сбор диагностических данных, выводы

Герике Борис Львович – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, анализ данных и написание текста, выводы

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-33-40

Pavel B. Gericke, Boris L. Gericke

Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS

E-mail: am_besten@mail.ru

FORECAST OF ACCIDENT-FREE OPERATION OF MINING MACHINERY



Article info

Received:

15 July 2022

Accepted for publication:

06 October 2022

Accepted:

15 February 2023

Published:

09 March 2023

Keywords: predictive modeling, vibration analysis, degradation of technical condition, mining shovels, a unified diagnostic criterion, mining equipment.

Abstract.

Under the conditions of the planned preventive maintenance system currently operating in the coal industry of Kuzbass, the results of short- and medium-term forecasting of the processes of changing the actual state of mining equipment are of the greatest relevance. Within the framework of this work, an attempt was made to create a universal predictive model that uses fundamentally new unified diagnostic criteria for assessing the state of complex mechanical systems as modeled parameters. The purpose of this work is to develop a mathematical model suitable for adequate prediction of the degradation processes of the actual technical state of the energy-mechanical equipment of mining machines using the algorithm of new unified diagnostic criteria. The vibration of mining machinery equipment was analyzed using spectral analysis in the extended frequency and dynamic ranges, the spectrum of the envelope and kurtosis. When developing unified diagnostic criteria, the method of optimal scalarization of experimental data was used. The results of adaptive short-term forecasting were used to develop a model for the development of defects in the dynamic equipment of mining machinery. The scientific results obtained in the framework of this work indicate the effectiveness of the proposed short-term predictive model for solving the problem of assessing the degree of development of degradation processes on the equipment of mining machines in the framework of the use of new unified diagnostic criteria.

For citation: Gericke P.B., Gericke B.L. Forecast of accident-free operation of mining machinery. Mining Equipment and Electromechanics, 2023; 1(165):33-40 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-33-40

REFERENCES

1. Nerazrushayushchiy kontrol': spravochnik. V 7-kh tomakh [Non-destructive testing: Handbook. In 7 Vol. V.7]. Pod. red. V.V. Klyueva. Moscow: Mashinostroenie Publishers; 2005. (rus)
2. Sushko A.E., Griбанov V.A. Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2011; 10:58-65. (rus)
3. Krakovskiy Yu.M. Matematicheskie i programnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya [Mathematical and software evaluation of the technical state of equipment]. Novosibirsk. 2006. (rus)
4. Gertsbakh I. Teoriya nadezhnosti s prilozheniyami k profilakticheskomu obsluzhivaniyu [Reliability theory with applications for preventive maintenance]. Publishing house "Oil and Gas" Russian State University of Oil and Gas named after I.M Gubkin, 2003. 263 p. (rus)
5. Gerike B.L., Kopytin D.V., Tacienco V.P. Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti. 2019; 3:72-80. (rus)
6. Bigus G.A., Daniev Ju.F., Bystrova N.A., Galkin D.I. Osnovy diagnostiki tehnikeskikh ustrojstv i sooruzhenij [Fundamentals of diagnostics of technical devices and structures]. Moscow. 2015. (rus)
7. Wang, T., Han, Q., Chu, F., Feng, Z. Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox : A review. Mechanical Systems and Signal Processing. 2019; 126:662-685. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.02.051>. (eng)
8. Gerike P.B., Gerike B.L., Klishin V.I. Analyzing the vibration parameters of gas-cleaning units operated in coal and mining industry of Kuzbass. *KTDUMR* 2020. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 823. 2021. 012012 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/823/1/012012. (eng)
9. Gerike B.L., Gerike P.B. Selecting the criterion for diagnosing imbalance of electric mining shovel rotors. *E3S Web Conferences* 315, 03025. 2021. VI International Innovative Mining Symposium. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131503025>. (eng)
10. Artem'ev A.A., Potapenko B.C., Ivanov C.L. [i dr.]. K voprosu ocenki resursa elementov transmissij gornyh mashin. *Gornoe oborudovanie i jelektromehanika*. 2007; 9:31-35. (rus)
11. Drygin S., Peton N., Ahmad S. Oil whirl instability on a gearbox and gas turbine unbalance. *IMVAC Europe*. Antwerp, Belgium. June 03-06. 2019. (eng)
12. Shardakov I., Shestakov A., Tsvetkov R., Yepin V. Crack diagnostics in a large-scale reinforced concrete structure based on the analysis of vibration processes. *AIP Conference Proceedings* 2053, 040090. 2018. <https://doi.org/10.1063/1.5084528>. (eng)
13. Tse P., Peng Y., Yam R. Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault Diagnosis—Their Effectiveness and Flexibilities. *Journal of Vibration and Acoustics*. 2001; 123:303-310. <https://doi.org/10.1115/1.1379745>. (eng)
14. Gerike P.B., Eshherkin P.V. Razrabotka metodologii sozdaniya edinyh kriteriev dlya diagnostiki defektov oborudovaniya gornyh mashin. *Naukoemkie tehnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nyh resursov*. Kemerovo. 2020; 6:150-154. (rus)

15. Liu G., Parker R. Dynamic Modeling and Analysis of Tooth Profile Modification for Multimesh Gear Vibration. *Journal of Mechanical Design*. 2008;

130:121402/1-121402-13.
<https://doi.org/10.1115/1.2976803>. (eng)

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declare no conflict of interest.

About the author:

Pavel B. Gericke, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, (10 Leningradsky Prospect, Kemerovo, 650065, Russian Federation), am_besten@mail.ru

Boris L. Gericke, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, (10 Leningradsky Prospect, Kemerovo, 650065, Russian Federation), gbl_42@mail.ru

Contribution of the authors:

Pavel B. Gericke - scientific management, reviewing the relevant literature, conceptualisation of research, data analysis and writing the text.

Boris L. Gericke - research problem statement, reviewing the relevant literature, conceptualisation of research, obtaining diagnostic data, drawing the conclusions.

Author have read and approved the final manuscript.

