

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-11-132-141

^{1,*}Бондаренко Ю.А., ²Бестужева О.В., ¹Баранов Д.С.¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: kdsm2002@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ШАРОВЫХ ТРУБНЫХ МЕЛЬНИЦ

Аннотация. Важным этапом развития предприятий является повышение надежности оборудования в процессе эксплуатации. Частая необходимость в ремонте помольного оборудования промышленности строительных материалов влечет за собой длительные простои. Основными задачами этапа являются определение основных факторов, влияющих на возникновение неисправностей, и установление рациональных режимов работы оборудования. Для оценки эксплуатационного потенциала оборудования, вероятности безотказной работы, сокращения времени ремонтных простоев и повышения межремонтного ресурса необходимо спрогнозировать остаточный ресурс оборудования, основанный на методе аппроксимации изменения параметров его технического состояния при эксплуатации. Для этого существует алгоритм функционирования системы мониторинга и контроля технического состояния деталей и узлов шаровых трубных мельниц, позволяющий оценить параметры с погрешностью 9 %. Только при выполнении заданного комплекса факторов возможно прогнозирование остаточного ресурса. Поэтапный сбор информации о зависимости прямых и косвенных параметрах технического состояния мельницы, обучающий эксперимент и альтернативные подходы необходимы для статистической обработки полученных данных, определения параметров функции распределения и оценки достоверной вероятности с минимальным объемом выборки из генеральной совокупности. При проведении периодического контроля показателей технического состояния цапфы опорного узла нужно учитывать погрешности средств измерения, метода выполнения исследований и др.

Ключевые слова: шаровые трубные мельницы, повышение надежности, режимы работы оборудования, прогнозирование остаточного ресурса оборудования

Введение. Помольное оборудование входит в состав технологических линий при производстве продуктов промышленности строительных материалов [1]. В результате эксплуатации на работу шаровых трубных мельниц оказывают большое влияние динамические нагрузки, приводящие к нарушению режима функционирования, снижению производительности, появлению необходимости данного оборудования в ремонте, приводящей к длительным простоям [2]. Поэтому повышение надежности помольного оборудования в процессе эксплуатации является основой повышения его производительности.

Повышение эксплуатационной надежности, долговечности и ремонтпригодности оборудования промышленности строительных материалов, к которому относятся и крупногабаритные шаровые трубные мельницы, является важным для развития предприятий [3]. В связи с тем, что одним из основных узлов помольного оборудования являются подшипниковые опорные узлы, необходимо понять процесс формирования отказов и неисправностей как самих опорных узлов, так и одной из важных деталей, которая входит в состав сборочной единицы «опорный узел», а именно цапфы и определить основные факторы и причины, приводящие к возникновению и разви-

тию этих неисправностей [3]. При этом необходимо установить рациональные режимы и условия работы помольного оборудования, провести уточнение прочностных расчетов, для подтверждения условий работы оборудования [5].

Изучение напряженно-деформированного состояния подшипниковых узлов помольных мельниц дает возможность оценить эксплуатационный потенциал оборудования, вероятность его безотказной работы, в конечном итоге снизить продолжительность ремонтного цикла, времени ремонтных простоев трубных мельниц, разработать мероприятия по ремонтному обслуживанию для всех видов ремонтов и увеличить межремонтный ресурс.

Методика. Помольное оборудование, как и другое оборудование, имеет установленный технологической документацией уровень надежности. В процессе его эксплуатации, в течении времени, возникают различного вида отказы этого оборудования, наиболее часто встречаемые – это износные отказы (постепенные). Для снижения их негативного воздействия требуется проведение технического обслуживания и различного вида ремонтов (капитального, сезонного и др.). При увеличении количества возникновения отказов в единицу времени способность помольного оборудования выполнять свои заданные функции

снижается, и в дальнейшем эксплуатации оборудования становится невозможной. Проведение ремонтных восстановительных работ крупногабаритного помольного оборудования является дорогостоящим и затратным по продолжительности времени. Требования по надежности — это требования, установленные в нормативной документации, к количественным значениям показателей, характеризующих такие свойства объекта, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость, которые определяют надежность объекта в целом [6]. При изучении показателей надежности оборудования по режимам функционирования оборудование классифицируют на оборудование непрерывного длительного применения, оборудование многократного циклического применения и оборудование однократного применения. Шаровая трубная мельница в процессе эксплуатации является оборудованием непрерывного действия (применения). При исследовании показателей надежности всегда необходимо учитывать является или нет рассматриваемое оборудование восстанавливаемым (ремонтируемым), или данное оборудование относится к невозстанавливаемому. Трубная мельница является восстанавливаемым (ремонтируемым) промышленным оборудованием. Оборудование такого типа характеризуется таким показателем надежности, как долговечность. Выбор номенклатуры показателей надежности исследуемого изделия проводят, взяв за основу классификацию оборудования по признакам, которые характеризуют назначение и принцип работы этого оборудования, последствия, к которым может привести возникший при эксплуатации оборудования отказ, число возможных состояний оборудования по работоспособности, которые можно учесть в процессе его функционирования; длительности процесса достижения предельного состояния, возможности восстановления работоспособного состояния изделия после возникновения отказа; возможности и способа восстановления срока службы ремонтируемого оборудования; режимов и условий эксплуатации и др. При изучении характера основных процессов, протекающих в эксплуатируемом оборудовании и обуславливающих его переход в предельное состояние, изделия классифицируют на: стареющие; изнашиваемые; стареющие и изнашиваемые одновременно.

Известно, что одним из основных показателей, которые характеризуют надежность любых технических систем является показатель долговечности. Оборудование, которое используется по назначению и находится в эксплуатации в течение определенного промежутка времени, мо-

жет достичь своего предельного состояния. В результате этого возникают негативные последствия, которые приводят к таким процессам, как старение и изнашивание этого оборудования одновременно. Одной из характеристик этого процесса является остаточный ресурс исследуемого оборудования. Остаточный ресурс представляет собой сумму значений наработки рассматриваемой технической системы от начала мониторинга ее технического состояния до того времени, пока в данной технической системе не наступит момент предельного состояния. Эксплуатация технических систем, которые достигли своего предельного состояния, недопустима. После того, как был проведен мониторинг технического состояния объекта, остаточный ресурс характеризует запас допустимой наработки технической системы, в течение которого обеспечивается соответствие требованиям нормативно-технической документации всех его основных технико-эксплуатационных показателей.

Остаточный ресурс технических систем, который характеризует модификацию их основных параметров, изменение которых приводит к негативным последствиям для технического состояния этого объекта, возможно прогнозировать. Для этого следует использовать следующие нормативные указания: РД 26.260.004-91 «Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации». При эксплуатации оборудования в течении длительного промежутка времени неизбежно возникают различного вида повреждения, нарушения работоспособности узлов и деталей, входящих в конструкцию этого оборудования. Эти негативные факторы возникают даже в том случае, когда на предприятиях, на которых конструировали, изготавливали оборудование с соблюдением всех норм и требований технологической и конструкторской документации, в результате чего в оборудовании отсутствовали дефекты конструирования (наиболее отрицательно влияющие на конструкцию), а также при отсутствии дефектов изготовления и соблюдении правил эксплуатации [7–9]. К потере работоспособности оборудования, к возникновению его сложного напряженного состояния приводят некоторые процессы, которые протекают в технологических системах и связаны с их эксплуатацией. Так, например, в этих системах могут возникать температурные напряжения, деформации. Скорость протекания технологических процессов, высокие показатели давления и температурных характеристик, особенно если эти показатели оказывают влияние на эксплуатируемую

техническую систему продолжительный промежуток времени, приводят к изменению механических характеристик материала оборудования.

Такие ГОСТы, как ГОСТ 20911-89, ГОСТ 16504-81, ГОСТ 27.002-89, позволяют использовать разработанные методики прогнозирования такого показателя, как остаточный ресурс технических систем. В этих методиках прогноз остаточного ресурса производится на основании взаимосвязи ресурса и наработки технической системы. Для того, чтобы установить причины потери работоспособности технической системы, а также диапазон оказывающих влияние на дан-

ную систему нагрузок, необходимо найти значение остаточного ресурса исследуемого оборудования.

Покажем последовательность исследования состояния технического объекта, узлов и деталей, входящих в его состав, на примере эксплуатации шаровой трубной мельницы (рис. 1). Эта последовательность должна быть использована для нахождения величины остаточного ресурса, при этом необходимо ввести следующие обозначения: N – функция надежности, S – исследуемый показатель надежности, i – порядковый номер исследуемого показателя надежности.

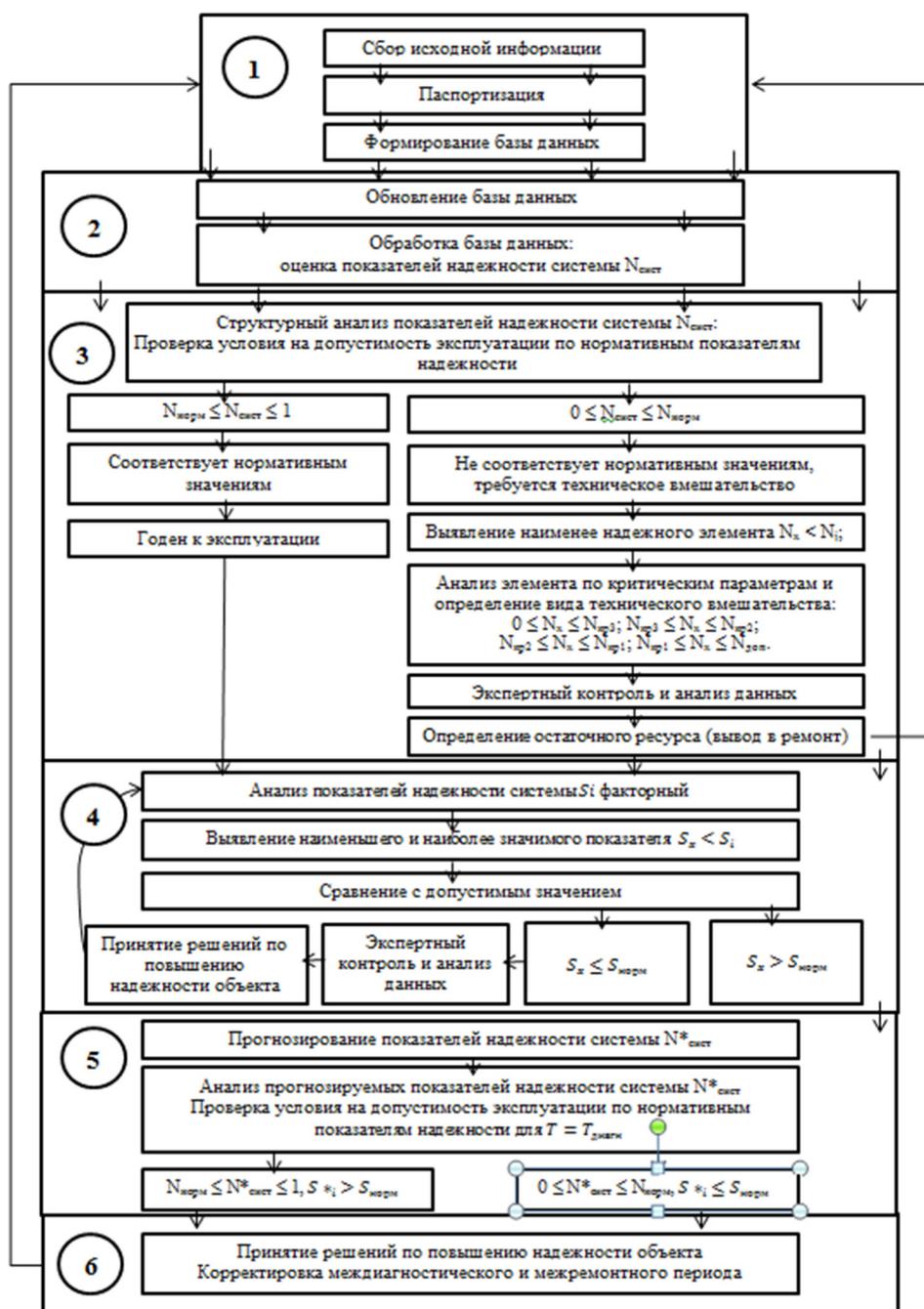


Рис.1. Последовательность проведения исследования технического состояния деталей и узлов находящейся в эксплуатации шаровой трубной мельницы при установлении значения остаточного ресурса по показателям надежности

Состав показателей S_i определяется для каждого оборудования с учетом его функциональных характеристик.

Прогнозирование величины остаточного ресурса возможно в том случае, если выполняются комплексно следующие факторы: известны параметры, определяющие техническое состояние мельницы и критерии ее предельного состояния, есть возможность периодического контроля параметров мельницы.

Известны два способа, которые применяют для прогнозирования остаточного ресурса в зависимости от срока эксплуатации одной из основных деталей опорного подшипникового узла мельницы – цапфы опоры: дефект, выраженный в незначительном износе внешней рабочей поверхности цапфы при прогнозировании ее остаточного ресурса, оценивается по нагруженности, при наличии значительных дефектов дополнительно исследуется степень поврежденности мельницы. Рациональным является второй способ, так как он позволяет дать более точный прогноз и определить дополнительный резерв ресурса цапфы опорного узла. Дополнительная информация в виде колебаний наблюдаемых параметров повышает достоверность прогнозирования [10].

Прогнозирование остаточного ресурса осуществляется в ходе эксплуатации мельницы при проведении заданных периодических мониторинга диапазона изменений показателей технического состояния деталей и узлов, входящих в ее конструкцию, а также для определения значения критерия предельного состояния. Установление максимально значимых показателей и заданных исходных параметров дает возможность проанализировать совокупность факторов, влияющих на эксплуатируемый технический объект при определении прогноза остаточного ресурса.

Информативными параметрами для прогнозирования и оценки остаточного ресурса помольных агрегатов могут быть: размеры глубинной коррозии, количественная оценка механического износа, физико-механические свойства материала деталей, количество циклов нагружения, деформации и напряжения в деталях.

На следующем этапе после установления параметров технического состояния мельницы необходимо установить критерии предельного состояния объекта, то есть некую общность факторов, свойств и признаков, которые дают возможность применения в эксплуатации по назначению, постановки на ремонт или снятие с эксплуатации.

Прогнозирование остаточного ресурса шаровых трубных мельниц на основании входных

данных возможно реализовать следующим способом: если имеются результаты периодических измерений прямых и косвенных параметров, а также установлена иерархия этих параметров; известны данные периодических измерений прямых и косвенных параметров, обучающего эксперимента с измерением параметров технического состояния оборудования и зависимости этих параметров; существуют результаты периодических измерений прямых и косвенных параметров, обучающего эксперимента без определения зависимости этих параметров.

Применяем РД 50-490-84 «Методические указания. Техническая диагностика. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей по косвенным параметрам», где показан общий вид соотношений при расчете остаточного ресурса. На основании [11] определим порядок прогнозирования остаточного ресурса цапфы по изменению его параметров. Используя определения показателей технического состояния шаровых трубных мельниц, с последующим учетом значений замеров и с нахождением значений ресурсов среднего и гарантированного, возможно провести прогнозирование и получить численное значение остаточного ресурса оборудования. Для того, чтобы установить функцию распределения и ее параметры, найти оценку доверительной вероятности, оценку достоверности максимального значения параметра технического состояния исследуемого объекта, который находится в эксплуатации, при условии, что объем выборки замеров будет наименьшим, следует провести статистическую обработку полученных данных.

Статистическая обработка результатов измерений заключается в определении минимального необходимого числа измерений (объема выборки из генеральной совокупности) и выявления однородности полученной выборки по критериям однородности; определения коэффициента вариации и параметров (среднего арифметического значения, дисперсии и др.) распределения.

Выбор минимального числа объектов наблюдения (точек поверхности для измерений) проводим по [12] с учетом установленной доверительной вероятности оценки, допустимой ошибки и степени неравномерности разрушения поверхности. При этом коэффициент вариации при малой неравномерности должен быть не более 0,2, величина доверительной вероятности составляет 0,95, а величина максимальной допустимой относительной ошибки составит 0,05.

Далее рассмотрим связь между расчетным сроком службы цапфы опорного блока мельничного агрегата и ее остаточным ресурсом. В связи с тем, что аналитические прочностные расчеты и

расчеты на износостойкость этой детали в условиях ее эксплуатации при учете действующих показателей, установленных в нормативно-технической документации, а также с учетом рекомендаций к расчетам сроков службы агрегатов, когда эти расчеты проводятся, учитывая наиболее неблагоприятные режимы нагружения, остаточный ресурс цапфы может превышать расчетный срок службы. Если шаровая трубная мельница на предприятии в условиях эксплуатации функционирует при соблюдении всех норм и правил, то действительные режимы нагружения цапфы будут значительно ниже расчетных. В связи с этим, цапфа подшипникового опорного узла не полностью вырабатывает свой ресурс и поэтому возникает резерв по остаточному ресурсу.

Далее определим, какие условия необходимо реализовывать для выполнения прогнозирования остаточного ресурса цапфы. Во-первых, необходимо обеспечивать проведение периодического контроля показателей технического состояния цапфы опорного узла. Следует определить критерии предельного состояния мельницы. Необходимо определить факторы, которые будут

характеризовать показатели технического состояния.

Основная часть. Для того, чтобы провести прогнозирование остаточного ресурса цапфы воспользуемся типовой схемой. В качестве первоначальных сведений следует через рассчитанные, установленные интервалы эксплуатации объекта проводить измерения величины параметров износа поверхности цапфы. Это позволяет экстраполировать зависимость предельно допустимой величины возникших повреждений, связанных с износом, во времени.

Эта методика позволяет устанавливать действительные максимальные значения износа при известной зависимости параметров повреждений во времени, и поэтому возможна фиксация точных оценок показателей надежности.

Следует определить вид закономерности износа цапфы в течении времени эксплуатации и других видов разрушения. Графическая зависимость общего вида (Рис. 1) износа цапфы от срока службы: $h(t) = h_0 + C \times t$, где h_0 и C – постоянные величины для определенных условий эксплуатации.

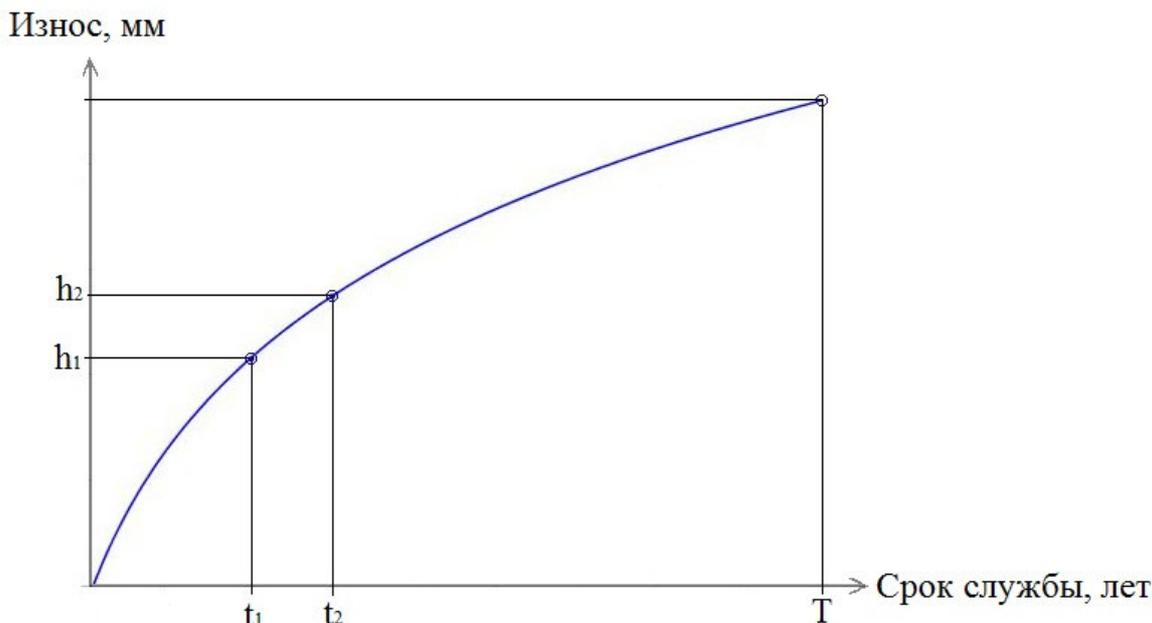


Рис. 1. Общая схема прогнозирования остаточного ресурса изделий: t – продолжительность эксплуатации объектов в течении времени; h – величина возникших при эксплуатации повреждений и дефектов (износ)

Если внешняя рабочая сопрягаемая поверхность цапфы опорного узла имеет незначительные повреждения (например, дефекты в виде рисок и неглубоких забоин), то прогнозирование остаточного ресурса в зависимости от периода эксплуатации цапфы мельничного агрегата определяется по нагруженности, тогда как при наличии значительных повреждений (например, значительная величина постепенного износа) совместно исследуется степень поврежденности оборудования. Второй вариант проведения ис-

следований имеет преимущества, так как позволяет проводить прогнозирование точнее, и возникает вероятность определения дополнительного резерва ресурса цапфы при ее эксплуатации. Чтобы достоверность прогноза была не ниже установленной, следует применить метод прогнозирования, основанный на вероятностных оценках. Для увеличения достоверности прогнозирования применяют добавочную информацию в виде интервалов рассеяния наблюдаемых параметров. В качестве показателей достоверности контроля степени соответствия результатов

оценки технического состояния оборудования рассмотрена точность измерений (доверительный интервал для параметра технического состояния) и доверительная вероятность, которая должна быть не менее 0,95 % [13].

При расчете остаточного ресурса цапфы опорного узла могут возникнуть погрешности двух видов. Первая погрешность – это погрешность средств измерения, погрешность метода выполнения исследований, погрешность, вызванная статистическими отклонениями диапазона параметров при определении показателя технического состояния. Эта погрешность относится к объективной. К субъективной погрешности относится погрешность, которая вызвана неточностями рабочего, производящего расчет. Диапазон результатов контролируемых параметров можно обосновать и тем, что существуют различные условия нагружения разных участков поверхности (концентрация температур, напряжений и деформаций).

Количество замеров определяют исходя из пропорциональности площади исследуемой поверхности. Замеры проводят выборочно, достоверность контроля повышается с увеличением количества измерений: больше число измерений, тем выше достоверность. Для помольных агрегатов принимают выборочный контроль параметров, так как полный контроль параметра возможен только для некоторых участков поверхности. Ориентировочная оценка совершается по приспособлениям осмотра состояния цапфы, уточненную оценку проводят после обработки статистических данных.

Прогнозирование процесса потери работоспособности цапфы, который проявляется как износ и показывает ухудшение параметров технического состояния эксплуатируемой технической системы, осуществляется с применением метода аппроксимации мониторинга этих параметров, который представлен в ГОСТ 27.302-86 [14]. Этот метод состоит в показе модификации параметра технического состояния объекта с приближительным описанием исследуемого процесса случайной функцией $Y(t)$:

$$Y(t) = Kt^\alpha + z(t), \quad (1)$$

где t – наработка исследуемого объекта; K – случайное значение показателя скорости трансформации параметра; α – показатель степени, описывающий некоторый конструктивные характеристики исследуемого объекта; $z(t)$ – процесс несовпадений с аппроксимирующей степенной функцией реальных значений параметра технического состояния.

Средний остаточный ресурс эксплуатируемого объекта можно определить по таким характеристикам, как параметр технического состояния и наработка на момент проведения мониторинга:

$$T_{\text{ост}}^{\text{ср}} = t_k \left[\left(\frac{Y_n}{Y_k} \right)^{1/2} - 1 \right] K_t, \quad (2)$$

где t_k – наработка объекта, находящегося в эксплуатации на момент проведения мониторинга параметра; Y_n , Y_k – исследуемый параметр в заданный начальный момент времени и на момент проведения мониторинга; K_t – поправочный коэффициент.

Если задать условие, что изменение исследуемого параметра к моменту проведения мониторинга составляет:

$$Y_k < 0,5Y_n. \quad (3)$$

Этот метод прогнозирования дает возможность определить параметры с погрешностью меньше 9 %. Оценка остаточного ресурса исследуемого объекта проводится на основе статистической обработки значений параметров технического состояния с вычислением численных значений показателей по уравнениям.

После получения численного значения параметра технического состояния объекта строят графические зависимости наблюдений (Рис. 2), на которых устанавливают предельно допустимые уровни значений параметров. Результаты наблюдения статистически обрабатывают: определяют среднюю скорость изменения параметра, среднее квадратическое отклонение скорости, коэффициент вариации скорости изменения параметра, проверяют однородность результатов наблюдения, строят графические зависимости, определяют доверительные границы скорости изменения параметра технического состояния.

В результате обработки полученных в эксплуатации технического объекта результатов появляется возможность рассчитать гарантированный и средний остаточный ресурс оборудования [15].

Выводы.

1. Подтверждено определение параметров технического состояния в качестве исходных данных на основе проведенного анализа методов прогнозирования остаточного ресурса помольного оборудования.

2. Рассмотренный алгоритм прогнозирования остаточного ресурса эксплуатируемых шаровых трубных мельниц дает возможность рассчитать величину остаточного ресурса этих объектов.

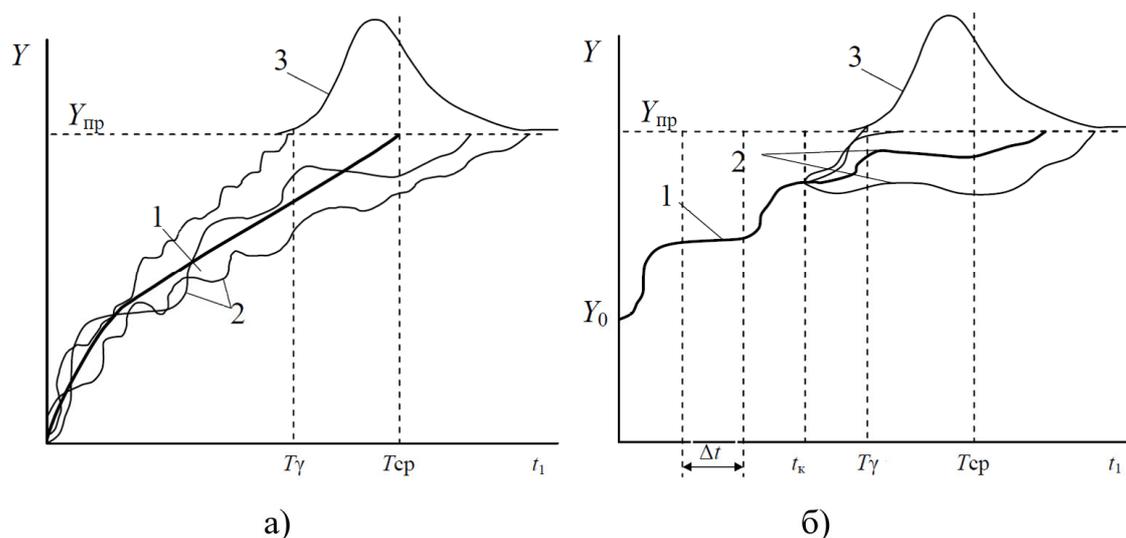


Рис. 2. Графические зависимости изменения параметров технического состояния эксплуатируемой технической системы при: а) постоянной дисперсии, б) непостоянной дисперсии:

- 1 – математическое ожидание (среднее значение) случайной величины, 2 – некоторые реализации, 3 – плотность распределения ресурса; T_{γ} – гарантированный ресурс, $T_{ср}$ – средний ресурс, $Y_{пр}$ – предельное значение параметра технического состояния эксплуатируемой технической системы

Определить причины изменения показателей долговечности технических систем и разработать комплекс мероприятий для снижения влияния негативных факторов на эти системы можно на основании приведенных методик определения остаточного ресурса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электропроводный бетон // Бетоны URL: <http://betony.ru/betel/> (дата обращения: 03.09.2024).
2. Справочник // Строительная техника URL: <https://stroy-technics.ru/> (дата обращения: 03.09.2024).
3. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1(34). С. 3–33.
4. Бестужева О.В. Прогнозирование остаточного ресурса опорных цапф шаровой мельницы с учетом напряженно-деформированного состояния: специальность 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2019. 170 с.
5. Климов Д.С. Токарный модуль для одновременной обработки внутренней и наружной поверхностей цапф, помольных мельниц // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 3311–3313.
6. ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. 26 с.
7. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Аулов В.Г., Маркова О.В., Антонов С.И. Проблемы повышения эффективности и работоспособности вращающихся агрегатов непрерывного цикла // Технология машиностроения. 2014. № 11. С. 46–49.
8. Бондаренко Ю.А. Восстановление работоспособности крупногабаритных мельничных агрегатов приставными станками (монография) // Технологическое обеспечение качества и ресурса при изготовлении, сборке, ремонте и восстановлении. Коллективная монография. Под ред. А.В. Киричека. М.: Издательский дом «Спектр», 2012. 284 с.
9. Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А., Санина Т.М. Энергосберегающие методы восстановления работоспособности оборудования промышленности строительных материалов (монография). Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 162 с.
10. Бондаренко Ю.А., Ханин С.И., Бестужева О.В. Математическое описание напряженно-деформированного состояния цапфы шаровой мельницы под действием силы тяжести и вращения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 128–133. DOI: 10.34031/article_5ca1f6356f67c4.15287599
11. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. 2021. 50 с.
12. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. 1990. 131 с.

13. ГОСТ 27518-87. Диагностирование изделий. Общие требования. 2021. 4 с.

14. ГОСТ 27.302-86. Надежность в технике. Методы определения допускаемого отклонения параметра технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса составных частей агрегатов и машин. 1986. 23 с.

15. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Погонин А.А., Схиртладзе А.Г., Санина Т.М. Бездемонтажное восстановление крупногабаритных агрегатов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2009. № 11. С. 11–14.

Информация об авторах

Бондаренко Юлия Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: kdsm2002@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бестужева Ольга Васильевна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий. Email: bestuzheva@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

Баранов Денис Сергеевич, ассистент кафедры технологии машиностроения. E-mail: den-3218@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Романович Алексей Алексеевич, профессор, доктор технических наук кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: Alexejrom@yandex.ru, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 27.08.2024 г.

© Бондаренко Ю.А., Бестужева О.В., Баранов Д.С., Романович А.А., 2024

^{1,*}*Bondarenko Yu.A.*, ²*Bestuzheva O.V.*, ¹*Baranov D.S.*, ¹*Romanovich A.A.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

²*Belgorod State National Research University*

**E-mail: kdsm2002@mail.ru*

PREDICTION OF THE RESIDUAL LIFE OF BALL TUBE MILLS

Abstract. An important stage of optimization and development of enterprises is to increase the reliability of equipment during operation. Frequent need for repair of grinding equipment in the building materials industry entails long downtimes. The main objectives of the optimization stage are: determining the main factors influencing the occurrence of malfunctions and establishing rational modes of equipment operation. To assess the operational potential of the equipment, the probability of failure-free operation, reducing the time of repair downtime and increasing the service life between repairs, it is necessary to predict the residual service life of the equipment based on the method of approximating the change in the parameters of its technical condition during operation. For this purpose, there is an algorithm for the functioning of the monitoring and control system for the technical condition of parts and assemblies of ball tube mills, which allows estimating the parameters with an error of 9%. Only when a given set of factors is fulfilled is it possible to predict the residual service life. Step-by-step collection of information on the dependence of direct and indirect parameters of the technical condition of the mill, a training experiment and alternative approaches are necessary for statistical processing of the obtained data, determining the parameters of the distribution function and estimating the confidence probability with a minimum sample size from the general population. When conducting periodic monitoring of the technical condition indicators of the journal of the support unit, it is necessary to take into account the errors of the measuring instruments, the method of performing the research, etc.

Keywords: ball tube mills, increasing reliability, optimizing equipment operating modes, predicting the remaining life of equipment

REFERENCES

1. Electrically conductive concrete. Concretes [Elektroprovodnyj beton. Betony] URL: <http://betony.ru/betel/> (date of access: 09/03/2024).

2. Handbook. Construction equipment

[Spravochnik. Stroitel'naya tekhnika] URL: <https://stroy-technics.ru/> (date of access: 09/03/2024).

3. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SRC RF for the implementation of

«Strategic directions for the development of materials and technologies for their processing for the period up to 2030». Aviation materials and technologies. [Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitiya materialov i tekhnologij ih pererabotki na period do 2030 goda». Aviacionnye materialy i tekhnologii]. 2015. No. 1(34). Pp. 3–33. (rus)

4. Bestuzheva O.V. Forecasting the residual life of ball mill support journals taking into account the stress-strain state: specialty 05.02.13 «Machines, units and processes (by industry)»: dissertation for the degree of candidate of technical sciences. [Prognozirovanie ostatochnogo resursa opornyh capf sharovoj mel'nicy s uchetom napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya: special'nost' 05.02.13 «Mashiny, agregaty i processy (po otraslyam)»: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk]. 2019. 170 p. (rus)

5. Klimov D.S. Turning module for simultaneous processing of internal and external surfaces of journals, grinding mills. International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov. [Tokarnyj modul' dlya odnovennoy obrabotki vnutrennej i naruzhnoj poverhnostej capf, pomol'nyh mel'nic. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya molodyh uchenyh BGTU im. V.G.] Belgorod, April 30 - 20, 2021. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2021. Pp. 3311–3313. (rus)

6. GOST 27.003-2016. Industrial product dependability. Dependability requirements: contents and general rules for specifying. [Nadezhnost' v tekhnike. Sostav i obshchie pravila zadaniya trebovanij po nadezhnosti]. 26 p. (rus)

7. Fedorenko M.A., Bondarenko Yu.A., Aulov V.G., Markova O.V., Antonov S.I. Problems of increasing the efficiency and performance of continuous cycle rotating units. Technology of Mechanical Engineering. [Problemy povysheniya effektivnosti i rabotosposobnosti vrashchayushchihsya agregatov nepreryvnogo cikla. Tekhnologiya mashinostroeniya.], 2014. No. 11. Pp. 46–49. (rus)

8. Bondarenko Yu.A. Restoration of operability of large-sized mill units with add-on machines (monograph). Technological provision of quality and resource during manufacturing, assembly, repair and restoration [Vosstanovlenie rabotosposobnosti krupnogabaritnyh mel'nichnyh agregatov

pristavnymi stankami (monografiya). Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva i resursa pri izgotovlenii, sborke, remonte i vosstanovlenii]. Collective monograph. Ed. A.V. Kirichek. M.: Publishing house «Spectrum», 2012. 284 p. (rus)

9. Bondarenko Yu.A., Fedorenko M.A., Sanina T.M. Energy-saving methods for restoring the operability of equipment in the building materials industry (monograph) [Energosberegayushchie metody vosstanovleniya rabotosposobnosti oborudovaniya promyshlennosti stroitel'nyh materialov]. Belgorod: Publishing house of BSTU, 2011. 162 p. (rus)

10. Bondarenko Yu.A., Khanin S.I., Bestuzheva O.V. Mathematical description of the stress-strain state of a ball mill journal under the action of gravity and rotation. [Matematicheskoe opisanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya capfy sharovoj mel'nicy pod dejstviem sily tyazhesti i vrashcheniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. Vol. 4 No. 3. Pp. 128–133. DOI: 10.34031/article_5ca1f6356f67c4.15287599 (rus)

11. RD 26.260.004-91. Forecasting the remaining life of equipment based on changes in the parameters of its technical condition during operation. [Prognozirovanie ostatochnogo resursa oborudovaniya po izmeneniyu parametrov ego tekhnicheskogo sostoyaniya pri ekspluatatsii]. 2021. 50 p. (rus)

12. RD 50-690-89. Methodical instructions. Reliability in engineering. [Metodicheskie ukazaniya. Nadezhnost' v tekhnike]. 1990. 131 p. (rus)

13. GOST 27518-87. Diagnostics of products. General requirements. [Diagnostirovanie izdelij. Obshchie trebovaniya]. 2021. 4 p. (rus)

14. GOST 27.302-86. Reliability in engineering. Methods for determining the permissible deviation of the technical condition parameter and forecasting the residual life of components of units and machines. [«Nadezhnost' v tekhnike. Metody opredeleniya dopuskaemogo otkloneniya parametra tekhnicheskogo sostoyaniya i prognozirovanie ostatochnogo resursa sostavnyh chastej agregatov i mashin]. 1986. 23 p. (rus)

15. Fedorenko M.A., Bondarenko Yu.A., Pogonin A.A., Skhirtladze A.G., Sanina T.M. Non-dismantling restoration of large-sized units. Repair, restoration, modernization. [Bezdemontazhnoe vosstanovlenie krupnogabaritnyh agregatov. Remont, vosstanovlenie, modernizaciya]. 2009. No. 11. Pp. 11–14. (rus)

Information about the authors

Bondarenko, Yulia A. DSc, Professor. E-mail: kds2002@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova St., 46.

Bestuzheva, Olga V. PhD. E-mail: bestuzheva@bsu.edu.ru. Belgorod State National Research University. Russia, 308015, Belgorod, Pobedy St., 85.

Baranov, Denis S. Assistant. E-mail: den-3218@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova, 46.

Romanovich, Alexey A. DSc, Professor. E-mail: Alexejrom@yandex.ru, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.08.2024

Для цитирования:

Бондаренко Ю.А., Бестужева О.В., Баранов Д.С., Романович А.А. Прогнозирование остаточного ресурса шаровых трубных мельниц // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 11. С. 132–141. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-11-132-141

For citation:

Bondarenko Yu.A., Bestuzheva O.V., Baranov D.S., Romanovich A.A. Prediction of the residual life of ball tube mills. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 11. Pp. 132–141. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-11-132-141