УДК
621.8-1/-9:
62-91

С.А. Асонов, П.В. Иванова, С.Л. Иванов, Д.И. Шишлянников

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСМИССИИ ГОРНОЙ МАШИНЫ ПРИ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Представлены подходы к построению имитационной модели технического состояния трансмиссии горной машины. Даны трактовки понятия наработки. Показано, что достоверный прогноз о надежности технической системы горной машины можно получить, используя имитационное моделирование с применением физических структурных моделей. При этом ресурсные расчеты предлагается разделить на два типа: оценка ресурса и оценка расхода ресурса. Определены группы влияющих факторов, способствующих интенсификации перехода машины в неработоспособное состояние: управление горной машиной, включая уровень квалификации и опыт персонала, корректность в приемах работы и дисциплину; техническое состояние горной машины, включая принятую систему технического обслуживания и ремонтов, уровень технического обслуживания, периодичность, длительность и полноту ремонтов, качество запасных частей, квалификацию персонала; качество подготовки забоя и состояние горной массы; климатические факторы, и условия функционирования горной машины; организация ведения горных работ; горно-геологические и горнотехнические факторы. Предложены математические выражения для оценки величины вероятности безотказной работы. Показано, что в качестве обобщенного показателя работоспособности горной машины, включенного в модель, целесообразно использовать интегрированный показатель, получаемый при комплексной оценке текущего технического состояния объекта при проведении диагностических процедур.

Ключевые слова: модель, горная машина, трансмиссия, наработка, работоспособное состояние, вероятность безотказной работы, интегрированный показатель, система добросовестного технического обслуживания.

Введение

Безопасность в современном производстве является одной из важнейших характеристик технологического оборудования. Надежность напрямую не связана с безопасностью. Вместе с тем анализ отказов и их последствий, является неотъ-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 15–27.
© 2017. С.А. Асонов, П.В. Иванова, С.Л. Иванов, Д.И. Шишлянников.

емлемой частью безопасности, позволяющей провести оценку вероятности рисков возникновения нежелательного события (опасностей, возможного ущерба, потерь, вреда или комбинация этих величин). Поэтому понятия надежности, безопасности и рисков следует рассматривать в комплексе.

При таком подходе на основании анализа характера и последствий отказов выявляют причины и предпринимают меры для их устранения или снижения вероятности появления, что позволяет минимизировать ущерб, рассчитать прогнозируемые показатели надежности. Другими словами, смоделировать поведение системы или объекта в некоторых условиях его функционирования [7].

Теория вопроса

Для получения достоверного прогноза по техническому состоянию системы в процессе эксплуатации необходим учет многих обстоятельств, имеющих вероятностную природу. Подобный прогноз о надежности технической системы наиболее технологично (получение результата при разумном минимуме затрат) можно получить, используя имитационное моделирование с применением физических структурных моделей. Физические модели используют на низших уровнях, а структурные модели на высших уровнях имитационной модели сложной технической системы. При этом необходимо учитывать особенности поведения элементов системы различной физической природы, учитывать их взаимное влияние друг на друга и систему в целом. Их отказы (предельные состояния) и определяются действием общих факторов, из которых наиболее значимыми, как правило, являются внешние факторы, действия которых, детерминировано трансформируются по системе привода от входного звена, связанного с исполнительным или рабочим органом к двигателю. Двигатель здесь выступает как самостоятельная машина, воспринимающая внешнюю нагрузку как полезное технологическое сопротивление, включающее как собственно действительные технологические сопротивления, преодолеваемые системой, так и потери, рассеиваемые в ней [3].

Трансформация и интерпретация изменений от внешних влияющих факторов в модели системы машины редуцируется с оценкой мультипликативного эффекта на общий объект к его элементам.

При этом необходимо учитывать тот факт, что объекты, будь то машина или подшипник, имеют свою индивидуальность, от-

личаются большим разнообразием в конструкции, технологии и качестве изготовления, и, следовательно, широким спектром вариативности их надежности. Вместе с тем изменяемыми являются и внешние факторы.

Под внешними факторами понимаются не только силовые воздействия на систему во время ее функционирования, но факторы, оказывающие опосредованное воздействие на надежность системы и ее элементы, интенсифицирующие или способствующие снижению деградационных процессов системы, изменяющие величину реализации рисков. К таким факторам можно отнести климатическое воздействие, горнотехнические условия, систему технического обслуживания, характер управления объектом и т.п.

Глобальным явлением, присущей всем системам, является нагруженность элементов объекта, обусловленная уровнем нагруженности конкретной механической системы, который определяется, в конечном счете, условиями ее эксплуатации. Зависимость нагруженности элементов от условий эксплуатации имеет различную степень появления, начиная от слабой вероятностной связи и заканчивая – сильной квазидетерминированной. Суть проявления этой глобальной зависимости проявляется в известной тенденции – снижении надежности (безотказности и долговечности) объекта при повышении его нагруженности.

Подводя промежуточный итог выше изложенному необходимо указать, что в общем случае для однотипных технических объектов, представляющих собой сложную техническую систему, характерна существенная вариация величин их фактической наработки. Такой разброс обусловлен уникальностью свойств и состояний: собственно, технического объекта, объективных внешних условий его эксплуатации, поведением объекта во времени и пространстве, а также условиями разнообразных действий операторов. Поэтому при моделировании процесса функционирования подобного объекта для оценки его надежности необходимо воспроизводить вероятностный спектр условий эксплуатации объекта, свойств материалов и производственных технологий.

Принципы построения модели функционирования привода

Подходы к расчету надежности машин целесообразно оценивать посредством имитационного моделирования с учетом степени отображения в них рабочих процессов, протекающих

в агрегатах и системах в пределах всего срока службы объекта. Для этого применяется многоуровневое представление машины [3]. Низшие физические уровни содержат описания несущей способности элементов и их ресурсно-прочностные кривые, что позволяет реализовывать в расчетах зависимость по общим условиям эксплуатации и другие зависимости элементов, например, характеристик отказов элементов. Так, для случаев усталостных отказов элементов трансмиссии в качестве характеристик несущей способности используются пределы выносливости по изгибу и контакту зубьев зубчатых колес и динамическая грузоподъемность подшипников качения, которые получают детерминированным расчетом методами механики.

Ресурс агрегата определяется достижением предельного состояния нескольких его составных частей (деталей). При оценке наработки на отказ учитываются отказы основных базовых элементов. Поток отказов изделия формируется из отказов подсистем и элементов более низкого уровня. При оценке срока службы учитываются предельные состояния базовых частей с подсистемами. Предельное состояние объекта наступает при исчерпании ресурса одной из базовых частей или их подсистем.

Ресурсные расчеты предлагается разделить на два типа: расчеты ресурса и оценка расхода ресурса.

Общепринятые расчеты ресурса основаны на трактовке ресурса как наработки до предельного состояния, после которой эксплуатация (использование) рассматриваемого механического объекта недопустима или нецелесообразна. Такая трактовка, на наш взгляд, хотя формально и правильна, однако не соответствует реалиям и не позволяет осуществлять планирование использования данного объекта на конкретный достаточно протяженный промежуток времени, требует постоянного диагностирования объекта для оценки допустимости его использования [5, 11]. В результате величина остаточного ресурса оценивается опосредованно, через прогноз достижения теми или иными показателями предельного уровня, в рамках установленной процедуры. Логичнее было бы оценивать ресурс по наработке, причем по наработке в нормальных условиях (потенциальная наработка), т.е. в таких условиях для которых проектировался объект. Планируемая (потенциальная) ТНП и фактическая ТНФ наработки связаны между собой соотношением:

$$T_{НП}\left(\prod_{i\text{-}1}^{n}\left[K_{ВПi}\right]\right)^{z} = T_{НФ}\left(\prod_{i\text{-}1}^{n}K_{ВФi}\right)^{z}, \qquad (1)$$

где $[K_{ВПi}]$ – величина коэффициента влияния на объект одного из факторов, определяющих его наработку в проектных (нормальных) условиях эксплуатации; $K_{ВФi}$ – то же, но для реальных (фактических) условий эксплуатации; z – обобщенный показатель степени. Величина показателя z определяется преобладающей природой постепенных отказов, $z = 1$ в случае преобладания износных деградационных процессов. Коэффициенты влияния эквивалентны вкладу в деградационные процессы, протекающие в объекте при его эксплуатации и эквивалентны нагруженности системы. Можно также говорить о суммировании наработки при разных условиях ее осуществления по аналогии с накоплением повреждений.

В этом случае, по выполнении запланированной наработки, машина будет считаться выработавшей свой ресурс. При принятии решения о целесообразности дальнейшей эксплуатации машины, формально это будет уже другая машина и ей должна быть определена новая наработка. Необходимо заметить, что, применительно к горным машинам, продление срока службы возможно по отношению к отечественным образцам. Зарубежная техника, как правило, не используется сверхнормативного срока. Это не выгодно, прежде всего, экономически, так как в современных условиях технические объекты быстро морально устаревают.

Выход из строя технических объектов обусловлен процессами накопления повреждений в их элементах и базовых частях, а также перегрузками под действием внешних влияющих факторов, определяющими условия нагружения объекта. Допускаемая величина нагрузок и степень повреждаемости определяют несущую способность элементов горной машины и обусловливаются конструктивно-технологическими факторами решений и процессов изготовления деталей и сборки узлов.

Влияющие факторы для горных машин можно разделить на шесть основных групп:

1 – управление горной машиной – это квалификация и опыт персонала, корректность в приемах работы, дисциплина;

2 – техническое состояние горной машины – сюда следует отнести принятую систему технического обслуживания и ремонтов (ТОиР), уровень технического обслуживания, периодичность, длительность и полноту ремонтов, качество запасных частей, квалификацию персонала;

3 – качество подготовки забоя и состояние горной массы;

4 – климатические факторы, и условия функционирования горной машины;

5 – организация ведения горных работ;

6 – горно-геологические и горнотехнические факторы.

Что касается второго типа ресурсных расчетов – оценки расхода ресурса или выработки заданной наработки, то он связан с оценкой совершенной машиной и ее элементами в составе целого работы по реализации заданной наработки. При этом каждую составную часть можно оценить с позиции ее безотказности обеспечения реализации наработки машины, а затем провести оценку для машины в целом, как объекта, имеющего несколько основных (главных) составных частей.

Говоря о надежности (ресурсе) необходимо рассматривать объект как нераздельную структуру – сумму составляющих его элементов, объединенных некоторыми связями. Показатели работоспособности служат интенсивностью отказов (для первичного невосстанавливаемого объекта) или поток отказов – для ремонтируемого. Возможно оперировать понятием вероятность отказа и ли вероятностью безотказной работы $P(t)$.

Принципиальная схема расчета компонентов машин, в которой отражены два главных типа деградационных процессов, связанных с накоплением повреждений и перегрузками, сводится к параллельному решению двух задач: по оценке накопления повреждений, и оценке величины запаса прочности. Показателем оценки накопления повреждений служит отношение меры несущей способности – R, к единичной мере накопления повреждений – δ (единичная циклонапряженность или циклонапряженность, приходящаяся на единицу наработки). Показателем оценки величины запаса прочности, большем единицы, служит отношение разрушающей и действующей нагрузок, или эквивалентных им величинам, например, напряжениям σ_b и σ_m – соответственно. Расчет на перегрузку проводится вне связи с наработкой машины.

При детерминированных оценках для характеристик несущей способности R и σ_b целесообразно принимать значения, соответствующие 90%-ной вероятности не разрушения, а для характеристик повреждения δ и σ_m – значения, полученные в условиях, равных или превосходящих средний уровень по степени тяжести нагружения. При расчете δ необходим спектр нагрузок, а σ_m определяется в результате динамического расчета, который описывает неблагоприятные, но реальные условия нагружения.

Если принять, что постепенные и внезапные отказы независимы, то вероятность безотказной работы объекта, связанная с этими отказами $P_O(t)$ возможно оценить по выражению (2)

$$P(t) = P_O(t) = P_{ПО}(t)\,P_{ВО}(t), \tag{2}$$

где $P_{ПО}(t)$, $P_{ВО}(t)$ – вероятности безотказной работы в условиях постепенных и внезапных отказов соответственно.

С другой стороны

$$P(t) = -\int_0^t \omega(t)d(t), \tag{3}$$

где $\omega(t)$ – интенсивность потока отказов применительно к конкретным условиям функционирования.

Как правило, $\omega(t)$ принимается постоянным, если не изменяются внешние условия, определяемые спектром нагрузок и характером внешних влияющих факторов. Зная величину безотказной работы легко оценить величину наработки до первого отказа T_1 или величину наработки на отказ $T_о$.

$$T_{1(o)} = -\int_0^\infty P(t)d(t). \tag{4}$$

Вместе с тем все технические объекты являются стареющими и горные машины здесь не исключение. Общеизвестно, что по мере отработки срока службы годовая наработка объекта имеет тенденцию к снижению. Таким образом, потенциальная работоспособность объекта, выражаемая посредством величины вероятности безотказной работы от двух независимых факторов, может быть записана следующим образом:

$$P(t) = 1 - \left[1 - P_{сл}(t)\right]\left[1 - P_O(t)\right], \tag{5}$$

где $P_{сл}(t)$ – функция изменения вероятности безотказной работы машины, связанная с ее сроком службы.

Возвращаясь к элементам системы, составляющим единый объект, необходимо указать, что если элемент выходит из строя преимущественно по одному критерию, например, как подшипник качения, то расчет безотказной работы в условиях постепенных отказов не представляет проблем. Сложнее дело обстоит, когда выход из строя элемента объекта может произойти по нескольким критериям. Примером в этом случае могут служить зубчатые передачи: в процессе своей работы рабочие поверхности зубьев колеса и шестерни изнашиваются, накапливают усталостным повреждения, а сами зубья подвержены систематическим изгибным нагрузкам, что может привести к усталостному излому. Данные явления происходят одновременно. И это касается только зацепления, хотя критериев выхода из строя

зубчатой передачи как узла – значительно больше. Тогда, предполагая, что i-е разрушающие факторы действуют совместно и независимо, переводя элемент в неработоспособное состояние при проявлении хотя бы одного из них, вероятность безотказной работы такого элемента будет определяться выражением:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} \left[1 - P_i(t) \right] \qquad (6)$$

Элементы трансмиссий работают в условиях высоких скоростей и нагрузок. Их состояние в значительной степени определяет техническое состояние машины в целом. Время безотказной работы элементов трансмиссий есть величина случайная, так как наработка на отказ каждой сборочной единицы различна и колеблется в широких пределах. Поэтому, в первую очередь, выявляют наиболее «слабое» звено или элементы машины, определяющие показатели ее безотказности и долговечности, и методами безразборной диагностики контролируют техническое состояние этих элементов в процессе эксплуатации машины. В ряде случаев, такими слабыми элементами горных машин являются их зубчатые передачи. Большой процент (до 60%) повреждений трансмиссионных механизмов происходит вследствие выхода из строя зубчатого колеса, который, в свою очередь, инициируется местным повреждением зуба (износ, питтинг, сколы, трещины и т. д.) [1].

Контактное выкрашивание и износ изменяют шаг зацепления зубчатой передачи и величины контактных площадок, образованию усталостных трещин, что способствует изменению жесткости зацепления. Это приводит к изменению величин, динамических составляющих нагрузки. В свою очередь величина динамической нагрузки определяет уровень виброакустической активности зубчатой передачи.

Вибрация может свидетельствовать о появившихся повреждениях на ранних стадиях их зарождения [9, 10, 12]. Особенностью диагностики трансмиссионных узлов в условиях эксплуатации машин, во многих случаях является невозможность использования стандартных виброакустических средств контроля. Их большинство ориентированы на вибрационную диагностику подшипниковых узлов и наиболее эффективны при диагностировании роторных узлов машин, работающих в квазистационарных условиях, где рабочие скорости и нагрузки меняются незначительно, а динамика механизма обусловлена в основном геометрическими погрешностями изготовления и монтажа де-

талей и их изменениями в процессе эксплуатации. Гораздо эффективнее в этих случаях является применение акустико-эмиссионной диагностики [1]. Величина интенсивности теплового излучения сама по себе является диагностическим параметром состояния технического объекта, при этом изменение ее во времени свидетельствует о нарастании деградационных процессов. Метод диагностики технического состояния электромеханической системы по содержанию продуктов износа в масле характеризует высокая достоверность оценки. Однако сами по себе единичные методы диагностики не могут дать полноценного представления о техническом состоянии трансмиссии горной машины.

Для оценки технического состояния приводов горных машин в настоящее время применяется целый комплекс методов и средств, использующих различные диагностические параметры [4, 6, 8]. В современных условиях задача обеспечения заданной надежности и безопасности технической системы требует применения интегральных критериев работоспособности, позволяющих идентифицировать текущее техническое состояние и остаточный ресурс машины, отказ которой может привести к созданию аварийных ситуаций, сопровождающихся значительным ущербом. В качестве некоторого обобщенного показателя, на наш взгляд, целесообразно использовать интегрированный показатель, получаемый при комплексной оценке текущего технического состояния объекта при проведении диагностических процедур который оценивают по выражению (7).

$$\Delta = 1 - Q\,, \tag{7}$$

где Δ – степень деградации объекта; Q – интегральный показатель состояния объекта.

В свою очередь, интегральный показатель состояния объекта определяется усредненным значением приведенных к базовой величине единичных диагностических показателей с учетом их коэффициента весомости (8)

$$Q = N^{-1}\sum_{i=1}^{N}\frac{[q]_i}{q_i}\alpha_i\,, \tag{8}$$

где q_i – величина i-го единичного показателя, полученного по результатам диагностических процедур; $[q]_i$ – базовая величина i-го единичного диагностического показателя, соответствующая новому объекту; N – общее число диагностических показателей; α_i – коэффициент весомости i-го показателя, при этом следует

иметь в виду, что сумма α_i равняется единице. В качестве единичных показателей следует брать показатели вибрации и шума, температурные показатели оборудования, величину акустико-эмиссионного сигнала машинного оборудования, метод контроля токов, напряжения и мощностей, потребляемых электродвигателями, время выбега до полной остановки и ряд других.

Кроме того, такая комплексная оценка состояния привода горной машины насущно необходима для качественного проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту горной машины, как технического объекта. Особенно в рамках применения прогрессивных систем бережливого производства, RCM и CM&R.

В отличие от бережливого производства и систем RCM, система CM&R (Conscientious Maintenance and Repair) – добросовестного технического обслуживания, фокусирует свое внимание на стремлении к достижению нулевого показателя аварийных отказов, повышению надежности работы оборудования, снижению затрат на обслуживание и ремонт, повышении ответственной заинтересованности и добросовестности персонала в максимально эффективном функционировании объекта в технологической цепи оборудования, включая мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту [2]. При этом учитывается квалификация и стимулируется эффективность сложной системы человек-машина. Эти проблемы, с учетом теории ограничений, заставляют предприятие искать системные решения, позволяющие повысить эффективность их деятельности. Система сервиса CM&R опирается не только на строгую техническую процедуру, но и на добросовестное ее выполнение. Концепция такой системы основывается на постоянном стремлении к устранению рисков, препятствующих сохранению эффективности (в соответствии с ГОСТ 27.002-89, ГОСТ Р 27.002-2009) сложной системы (объекта или процесса с участием человека) в реальных условиях ее эксплуатации.

Выводы

Достоверный прогноз о надежности технической системы горной машины можно получить, используя имитационное моделирование с применением физических структурных моделей. При этом ресурсные расчеты предлагается разделить на два типа: оценка ресурса и оценка расхода ресурса.

В качестве некоторого обобщенного показателя работоспособности горной машины, включенного в модель, целесооб-

разно использовать интегрированный показатель, получаемый при комплексной оценке текущего технического состояния объекта при проведении диагностических процедур.

Кроме того такая комплексная оценка состояния привода горной машины необходима для качественного проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту, как технического объекта в рамках применения прогрессивных систем бережливого производства, RCM и CM&R (Conscientious Maintenance and Repair) – добросовестного технического обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Звонарёв И. Е.*, *Иванов С. Л.*, *Фокин А. С.*, *Семёнов М. А.* К вопросу оценки остаточного ресурса силовых передач горных машин // Инновации в науке. – 2012. – № 14–1. – С. 67–73.

2. *Иванова П. В.*, *Иванов С. Л.*, *Кувшинкин С. Ю.*, *Шибанов Д. А.* Системы организации и стратегии технического обслуживания и ремонта горных машин / Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом. Выпуск 2. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2015. – С. 46–48.

3. *Махутов Н. А.*, *Зацаринный В. В.*, *Альгин В. Б.*, *Ишин Н. Н.* Техногенный риск, надежность и диагностика технических систем: подходы, модели, методы // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – № 3 (20)-4 (21) – С. 67–85.

4. *Островский М. С.* Применение виброметрии для оценки смазочных материалов и защитных покрытий / Современные технологии в горном машиностроении. Сборник научных трудов. – М.: МГГУ, 2013. – С. 224–236.

5. *Островский М. С.* Фреттинг как причина снижения надежности горных машин / Современные технологии в горном машиностроении. Сборник научных трудов. – М.: МГГУ, 2011. – С. 214–228.

6. *Радкевич Я. М.*, *Островский М. С.*, *Бойко П. Ф.* Методология оценки качества и управление состоянием горных машин с использованием вибрационных характеристик // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 10. – С. 8–12.

7. *Сеничев Г. С. и др.* Реализация концепции производственного планирования на основе эффективного использования ограничений. – М.: Экономика, 2006. – 210 с.

8. *Чекмасов Н. В.*, *Трифанов М. Г.*, *Шишлянников Д. И.*, *Иванов С. Л.* Методы оценки технического состояния и ресурса механических трансмиссий проходческо-очистного комбайна «УРАЛ-20Р» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 272–278.

9. *Kobra Heidarbeigi, Hojat Ahmadi, M. Omid* Adaptive Vibration Condition Monitoring Techniques for Local Tooth Damage in Gearbox // Modern Applied Science Vol. 4, No. 7; July 2010 – pp. 104–110.

10. *Shawki Abouelseoud, Ibrahim Ahmed, Mohamed Khalil* An experimental study on the diagnostic capability of vibration analysis for wind turbine planetary gearbox // International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) – Vol.2, Issue.3, May-June 2012. – pp. 667–675.

11. *Bertsche B.* Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability. VDI-Buch, doi: 10.1007/978-3-540-34282-3_2. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. – 492 p.

12. Detecting gear tooth cracks using cepstral analysis in gearbox of helicopters / Leila Nacib, Komi Midzodzi.Pekpe, Saadi Sakhara // International Journal of Advances in Engineering & Technology, Jan. 2013 Vol. 5, Issue 2, pp. 139–145. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Асонов Сергей Алексеевич[1] – аспирант, e-mail: ason11s@bk.ru,
Иванова П.В.[1] – аспирант,
Иванов Сергей Леонидович[1] – доктор технических наук, профессор,
Шишлянников Дмитрий Игоревич – кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
[1] Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 15–27.

UDC 621.8-1/-9: 62-91

S.A. Asonov, P.V. Ivanova, S.L. Ivanov, D.I. Shishlyannikov

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF MODELS OF THE TECHNICAL STATE OF TRANSMISSION OF MINING MACHINE DURING ITS OPERATION

Presents the approaches to constructing simulation models of the technical condition before the transmission of the mining machine. Given the notions of experience. It is shown that a reliable forecast about the reliability of the technical system of the mining machine can be obtained using simulation with the use of physical structural models. This resource calculation is proposed to divide into two types: assessment of the resource and estimation of consumption of the resource. Defined group of influencing factors contributing to the intensification of the transition of the machine in an inoperable state: the management of mountain mAbus, including the qualifications and experience of staff, the correct methods of working and discipline; the technical condition of mining machines, including continuity of maintenance and repairs, level of maintenance, frequency, duration and completeness of repairs, quality replacement parts, qualified staff; quality of the preparation of slaughter and the condition of the rock mass; climatic factors, and the conditions of operation of mining machinery; organization of mining; geological and geotechnical factors.

The mathematical expressions for estimating probability values of trouble-free operation. It is shown that the generalized indicator of the health of the mining machines included in the model, it is advisable to use an integrated indicator obtained in the comprehensive assessment of the current technical state of the object when carrying out diagnostic procedures.

A comprehensive assessment of the drive mining machines are necessary for qualitative carrying out of technical maintenance and repair, as technical object in relation to the implementation of advanced systems of lean production, RCM and CM&R (Conscientious Maintenance and Repair) – conscientious maintenance.

Key words: model, mining machine, transmission, lifelength, state of serviceability, reliability probability, integrated indicator, conscientious system maintenance.

AUTHORS

Asonov S.A.[1], Graduate Student, e-mail: ason11s@bk.ru,
Ivanova P.V.[1], Graduate Student,
Ivanov S.L.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
Shishlyannikov D.I., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Perm National Research Polytechnic University, 614990, Perm, Russia,
[1] National Mineral Resource University «University of Mines»,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

REFERENCES

1. Zvonarev I. E., Ivanov S. L., Fokin A. S., Semenov M. A. *Innovatsii v nauke*. 2012, no 14–1, pp. 67–73.

2. Ivanova P. V., Ivanov S. L., Kuvshinkin S. Yu., Shibanov D. A. *Aktual'nye problemy tekhnicheskikh nauk v Rossii i za rubezhom*. Vypusk 2. Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Current issues of engineering sciences in Russia and in the world. Issue 2. International Scientific-and-Practical Conference Proceedings), Novosibirsk, 2015, pp. 46–48.

3. Makhutov N. A., Zatsarinnyy V. V., Al'gin V. B., Ishin N. N. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2012, no 3 (20)-4 (21), pp. 67–85.

4. Ostrovskiy M. S. *Sovremennye tekhnologii v gornom mashinostroenii. Sbornik nauchnykh trudov* (State-of-the-art technologies in mining machine industry. Collection of scientific papers), Moscow, MGGU, 2013, pp. 224–236.

5. Ostrovskiy M. S. *Sovremennye tekhnologii v gornom mashinostroenii.* Sbornik nauchnykh trudov (State-of-the-art technologies in mining machine industry. Collection of scientific papers), Moscow, MGGU, 2011, pp. 214–228.

6. Radkevich Ya. M., Ostrovskiy M. S., Boyko P. F. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2008, no 10, pp. 8–12.

7. Senichev G. S. *Realizatsiya kontseptsii proizvodstvennogo planirovaniya na osnove effektivnogo ispol'zovaniya ogranicheniy* (Implementation of a production planning concept based on efficient employment of constraints), Moscow, Ekonomika, 2006, 210 p.

8. Chekmasov N. V., Trifanov M. G., Shishlyannikov D. I., Ivanov S. L. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, pp. 272–278.

9. Kobra Heidarbeigi, Hojat Ahmadi, M. Omid Adaptive Vibration Condition Monitoring Techniques for Local Tooth Damage in Gearbox. *Modern Applied Science*. Vol. 4, no 7, July 2010, pp. 104–110.

10. Shawki Abouelseoud, Ibrahim Ahmed, Mohamed Khalil An experimental study on the diagnostic capability of vibration analysis for wind turbine planetary gearbox. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* Vol. 2, Issue 3, May–June 2012, pp. 667–675.

11. Bertsche B. *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability*. VDI-Buch, doi: 10.1007/978-3-540-34282-3_2. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 492 p.

12. Detecting gear tooth cracks using cepstral analysis in gearbox of helicopters / Leila Nacib, Komi Midzodzi.Pekpe, Saadi Sakhara. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, Jan. 2013, Vol. 5, Issue 2, pp. 139–145.