

## Научная статья

УДК 622.647, 622.271

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-41-49

Кузин Евгений Геннадьевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,  
филиал в г. Прокопьевске

\*E-mail: kuzinegen@gmail.com

**ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ГОРНЫХ  
ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН****Аннотация.**

В настоящей работе рассмотрены вопросы предиктивного управления техническим состоянием горных транспортных машин применительно к поточным транспортным системам горных предприятий. Показана актуальность управления ресурсом компонентов транспортных машин с учетом внедрения передовых технологий для обеспечения стратегии устойчивого развития горной отрасли Российской Федерации. При этом под термином управления понимается не просто «повышение» ресурса, а соответствие его «заданному», включая понятия энергоэффективной эксплуатации. Эффективное решение вопросов предиктивного управления состоянием машин базируется на выборе класса компонентов, подлежащих оценке, методов оценки и прогнозирования и разработке адекватной модели управления. Показано, что для целей диагностики достаточно оценивать такой класс компонентов, как подшипники, зубчатые передачи, обмотки электрических машин, станины и корпуса, валы, муфты, обечайки барабанов и т.п. Приводятся доступные и эффективные методы технической диагностики, большая часть из которых относится к методам неразрушающего контроля, но требует адаптации к условиям горнодобывающих и горно-обогачительных предприятий. Основными методами являются визуальный контроль, акустический контроль, вибродиагностика, тепловые методы контроля и контроль состояния смазочных материалов (масел и консистентных смазок). Особенностью задач управления техническим состоянием является выбор адекватных методов прогнозирования его изменения с минимизацией влияния квалификации обслуживающего и ремонтного персонала. Приводится классификация методов прогнозирования применительно к поточным транспортным системам, учитывающая теорию развития сложных технических систем. Дается обоснование перехода на интеллектуальные экспертные системы, для которых не требуется постоянного участия специалистов (экспертов), а обширная база накопленного эксплуатационного опыта обрабатывается нейронными сетями. Важно понимать, что интеллектуальная экспертная система призвана не заменять человека (кроме аварийных ситуаций), а поддерживать принятие решений, помогая эффективно эксплуатировать поточные транспортные системы на опасном производственном объекте (шахте, разрезе, обогащательной фабрике).

**Информация о статье**

Поступила:

19 августа 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

06 октября 2022 г.

Принята к печати:

15 февраля 2023 г.

Опубликована:

09 марта 2023 г.

**Ключевые слова:**

предиктивное управление, горные транспортные машины, техническая диагностика, методы прогнозирования, вибродиагностика, тепловой контроль, оценка технического состояния, интеллектуальные экспертные системы.

**Для цитирования:** Кузин Е.Г. Предиктивное управление техническим состоянием горных транспортных машин // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 1 (165). С. 41-49. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-41-49

**1. Введение**

Управление техническим состоянием горных транспортных машин остается актуальной задачей

и в настоящее время. Продление ресурса узлов и элементов транспортных машин позволяет в итоге повысить эффективность технологических процес-

сов при добыче полезных ископаемых. При этом стратегия устойчивого развития предполагает внедрение передовых технологий во все этапы жизненного цикла машин и оборудования горного производства. Одной из основных особенностей современного подхода является широкое внедрение автоматизированных систем учета, контроля и управления не только в отношении технологических параметров производства, но и применительно к техническому состоянию важных узлов и агрегатов.

Комплексное управление техническим состоянием машин возможно за счет эффективно применяемого технического диагностирования, учитывающего параметры работающего оборудования [1, 2].

Большинство исследований и разработок направлено на продление ресурса (срока службы), однако при разработке нового типа машин, значительно превосходящих по эффективности и производительности машины, установленные на производстве в настоящее время, возникает задача по выведению из работы оборудования, не исчерпавшего свой ресурс.

Таким образом, под термином «управление техническим состоянием» следует понимать не только увеличение, но и, возможно, уменьшение ресурса, готовность к модернизации или даже досрочный вывод из эксплуатации. При этом состояние узлов и элементов сложной горной транспортной машины должно быть не «хорошим» или «удовлетворительным», а соответствовать «заданному» на данном этапе жизненного цикла.

Одного технического диагностирования даже по совокупности параметров оказывается недостаточно для задач управления техническим состоянием машины. Важным дополнением является прогнозирование изменения технического состояния. Прогноз состояния, составленный на базе анализа режимов работы машины и темпов изменения диагностических параметров, является залогом безопасной и эффективной работы транспортных систем горных предприятий.

## 2. Обзор проблемы и постановка задачи

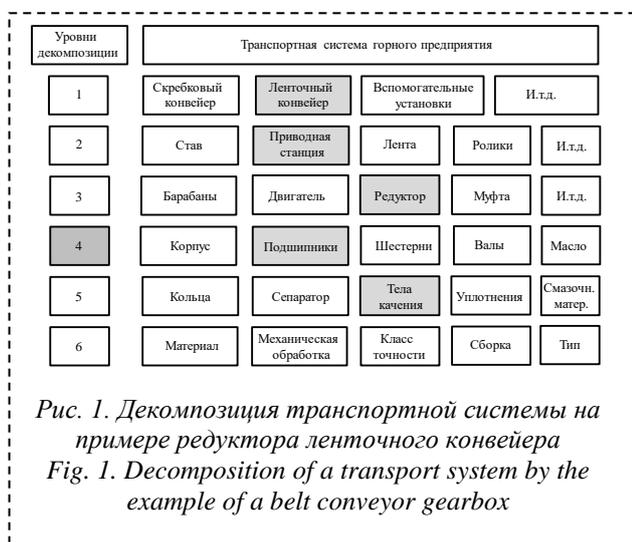


Рис. 1. Декомпозиция транспортной системы на примере редуктора ленточного конвейера  
Fig. 1. Decomposition of a transport system by the example of a belt conveyor gearbox

Для эффективного управления техническим состоянием горной транспортной машины необходимо, чтобы ключевые диагностические параметры находились в «заданном» диапазоне на данной стадии жизненного цикла. Решение указанной проблемы базируется на разработке комплексного подхода, учитывающего и определяющего следующие направления:

1. Определение перечня узлов (компонентов), для которых необходимо контролировать параметры;
2. Определение параметров (диагностических признаков), характеризующих техническое состояние конкретного узла или компонента системы;
3. Анализ методов прогнозирования состояния;
4. Анализ существующих систем технического обслуживания и ремонта;
5. Разработка модели предиктивного управления техническим состоянием транспортной машины.

Обзор научных работ, посвященных анализу отказов горных и транспортных машин, позволил выделить ряд важных обобщений:

- каждая конкретная горная машина состоит из множества взаимосвязанных узлов, агрегатов и сборочных единиц, имеющих разный ресурс, степень надежности и износостойкости, и при этом работает в существенно различающихся, часто агрессивных условиях и режимах, близких к предельным [3-5];

- следует учитывать экономические показатели при техническом использовании и проведении технического обслуживания, а также при ремонтных работах по поддержанию и восстановлению работоспособного состояния машин, а не просто снижать количество отказов или повышать ресурс [6-8];

- увеличение степени декомпозиции узлов на отдельные элементы всегда приводит к возрастанию сложности диагностики, но не всегда – к увеличению точности оценки технического состояния [9-11].

Учитывая указанные положения, в дальнейшем все отдельные элементы технической системы, до которых целесообразно проводить ее декомпозицию, будем называть компонентами. На Рис. 1 приведена декомпозиция технической системы на примере подшипника редуктора ленточного конвейера и ее ограничения для целей управления состоянием. Для эффективного управления техническим состоянием транспортной системы достаточно производить декомпозицию до 4 уровня, то есть компонентами будут являться подшипник, вал, шестерня, масло (смазочные материалы).

На самом деле достаточно определить, что подшипник достиг предельного состояния и требуется его замена. Для эксплуатационных служб горного предприятия не так важно, что же привело к отказу подшипника – тела качения, сепаратор или наружное кольцо, хотя для изготовителя подшипников эта информация оказывается полезной. При этом для целей технической диагностики анализ износа внутреннего или наружного колец, сепаратора и тел



качения служат критериями оценки состояния. Чем больше диагностических признаков характеризует дефекты конкретного подшипника, тем выше достоверность его оценки. Это положение особенно актуально для сложных систем. Например, редуктор содержит несколько различных подшипников, каждый из которых вносит свои частоты в спектральный анализ вибрационной диагностики.

Отдельно следует обращать внимание на характеристики смазочного материала (для подшипника и редуктора в целом они могут отличаться). Оценка характеристик смазочного материала является весьма важной диагностической информацией.

Оценка качества и характеристик материала и точности механической обработки и закалки (декомпозиция до 6-го уровня) применяется для целей экспертизы после отказа, может применяться при разрушающем контроле.

Отдельными факторами, влияющими на надежность и сроки эксплуатации машин начиная от 4-го до 1-го уровней, являются условия хранения, транспортировки и монтажа (ХТМ-фактор) компонентов. Один неправильный монтаж, особенно в подземных горных условиях, способен сократить в разы срок службы оборудования.

Обзор набора диагностических признаков базируется на ответах на следующий вопрос: «Какие параметры определяют состояние конкретного компонента и системы в целом?»

Ответы целесообразно строить на видах физических процессов и явлений, происходящих с данными компонентами. Большинство процессов уже вынесено в отдельные виды и методы неразрушающего контроля и подробно рассмотрено в ряде работ [12, 13].

При этом существуют и другие методы определения характеристик компонентов технической системы, не входящих формально в методы неразрушающего контроля, но соответствующие физическим явлениям распространения радиоволн, переноса вещества и т.д.

### 3. Методы технической диагностики компонентов поточной транспортной системы горного предприятия

Методы технической диагностики компонентов транспортных систем должны давать достоверную информацию об их техническом состоянии и при этом эффективно реализовываться в условиях горных предприятий.

Предлагаются следующие методы технической диагностики, представленные на структурной схеме (Рис. 2). Расшифровка обозначений методов по большей части соответствует методам неразрушающего контроля, но имеет некоторые отличные методы:

- ВИК – визуальный и измерительный контроль;
- АЭ – акустическая эмиссия;
- УЗК – ультразвуковой контроль;
- МК – магнитный контроль;

ГРЛ – георадиолокация (новый);  
ВД – вибродиагностика;  
ТК – тепловой контроль;  
КСМ – контроль смазочных материалов (новый);  
ШК – шумовой контроль (новый);  
ЭК – электрический контроль;  
ПВК – контроль проникающими веществами.

Визуальному контролю могут подвергаться все компоненты, узлы и агрегаты машины. При этом визуальный контроль может выполняться непосредственно либо с использованием технического зрения и передвижных роботов-диагностов.

Акустическая эмиссия базируется на физическом явлении излучения волн напряжений при быстрой локальной перестройке структуры материала. Источником акустико-эмиссионной энергии служит переменное поле упругих напряжений от развивающихся дефектов. Метод акустической эмиссии реализуется при условии возможности передачи акустической волны от объекта контроля до преобразователя. Следует отметить, что оценка состояния выполняется не по абсолютным значениям параметров сигнала акустической эмиссии, а по их изменениям в процессе работы оборудования в определенном режиме [14].

Ультразвуковой контроль применяется чаще всего для оценки состояния сварных швов, определения трещин и очагов коррозии. Метод УЗК базируется на явлении распространения и отражения звуковых волн. При помощи пьезоэлектрического преобразователя в объект исследования вводятся упругие колебания (частотой от 0,5 до 10 МГц), которые преломляются на границе раздела и отражаются от донной поверхности или дефектов (в случае их наличия). Зная скорость распространения звуковой волны в обследуемом материале по амплитуде и времени прихода отраженного сигнала, можно судить о размерах и местоположении дефекта.

Магнитный метод контроля включает группу методов, основанных на изменении параметров магнитного поля и регистрации рассеянных магнитных потоков, возникающих в месте поверхностного дефекта предварительно намагниченного объекта контроля. Обнаруживаемые размеры несплошностей по ширине раскрытия от 0,001 мм, по глубине от 0,01 мм. МК целесообразен при оценке состояния валов барабанов, несущих рам конвейера.

Метод георадиолокации (подповерхностного радиозондирования) позволяет оценить состояние почвы (боков и кровли), фундаментов рам и станций на предмет наличия крупных трещин, обводнения и склонности к деформациям. Так, в работе [15] показано, что размещение привода ленточного конвейера на участках, склонных к пучениям и деформациям, привело к возрастанию вибрации по причине изменения геометрии фундаментов (изгибание реактивной тяги приводного блока), а в последующем к полному отказу.

Температура является количественным показателем, характеризующим процессы преобразования

энергии, и позволяет получать информацию о состоянии объектов. Анализом тепловых процессов занимаются тепловые методы контроля (ТК), причем для целей диагностики горных машин достаточно пассивных методов контроля при помощи термодатчиков и инфракрасной термографии.

Электрический контроль предполагает создание электрического поля внутри исследуемого объекта путем применения электрического возмущения током, нагревом или механическим воздействием. Изменения потенциала или емкости характеризуют свойства объекта контроля. При помощи ЭК контролируют состояние изоляции электрооборудования транспортных машин.

Шумовой контроль относят к акустическим методам, при котором проводится прослушивание производственных шумов, в спектре которого определяются частоты, характерные для неисправного состояния.

Схожим принципом обладают методы вибродиагностики (ВД). Вибродиагностика на настоящий момент имеет развитую аппаратную и методическую базу и позволяет с высокой достоверностью определять наличие дефектов, в первую очередь у подвижных компонентов.

Отдельно следует отметить методы контроля состояния смазочных материалов (КСМ), доказавших свою эффективность при оценке технического состояния редукторов ленточных конвейеров [16].

Важной задачей технической диагностики остается распознавание технического состояния горной транспортной машины в условиях недостаточной информации. Кроме того, информация должна быть получена в процессе выполнения рабочих функций машины, без ее разборки и остановки.

#### **4. Методы прогнозирования изменения технического состояния горных машин**

Во всех отраслях промышленности (в горном деле с небольшим отставанием) развивается и внедряется современная информационно-измерительная база. Система мониторинга обеспечивает сбор, обработку и хранение информации о рабочих параметрах и состоянии отдельных компонентов оборудования в непрерывном режиме. Однако большой объем анализируемой информации требует не только автоматизации процессов анализа, но и ее интеллектуализации.

Требование к интеллектуализации связано с необходимостью использования накопленного эксплуатационного опыта (экспертных оценок) без вовлечения самих экспертов в процесс объективной оценки компонентов и транспортной системы в целом.

Техническая диагностика ретроспективна по своей сути, для решения задач предиктивного управления техническим состоянием, кроме этого, нужны эффективные методы прогнозирования его изменения.

Анализ отечественных и зарубежных работ показывает, что современный аппарат прогнозирования, включающий комплексные и простые методы, насчитывает более двухсот методов [17 - 20]. Основные отличия при этом носят информационный



характер, а также различаются формы и уровень взаимодействия с человеком [21].

Методология прогнозирования представляет собой совокупность знаний о методах, технологиях и инструментах прогнозирования. Некоторые методы и их аппарат подходят под различные классификационные признаки. Для целей технической диагностики и изменения состояния компонентов горных и транспортных машин предлагается классификация методов прогнозирования, приведенная на Рис. 3.

Фактографические методы базируются на информации об уже произошедших событиях, имеющих качественное или количественное выражение.

Аналитические методы часто объединяют с численными, фактически анализировать может человек, а компьютер считать численные (цифровые) значения до определенной степени точности. Экспертные методы относятся к эвристическим (интуитивным) и полагаются на опрос специалистов – экспертов.

Информационной основой таких методов являются суждения экспертов, полученные при проведении опросов. Фактографические методы прогнозирования включают в себя несколько методов, имеющих принципиальные отличия, особенности и области применения. К ним относятся статистические методы, методы аналогий и опережающие методы. Статистические методы прогнозирования базируются на анализе изменения параметров исследуемого объекта во времени. Использование

этих методов предполагает наличие определенного объема информации о состоянии объекта в прошлом. Применение статистических методов основано на том, что значение диагностического параметра  $K$  в момент времени  $t$  зависит от значения этого параметра в предшествующих моментах времени. Математическая экстраполяция, при которой осуществляется выбор аппроксимирующей функции  $F(t)$ , в зависимости от представления базовых данных может представляться в виде: экстраполяции тренда; экстраполяции огибающих; экстраполяции корреляционных зависимостей и др.

Методы прогнозирования, использующие регрессионный анализ, близки по сути к методам экстраполяции. При использовании этих методов прогнозирования к исходной информации предъявляется два важнейших требования: первое – исходные данные должны быть однородными; второе – динамические ряды изменения качества должны охватывать ретроспективный период, достаточный для выявления тенденции развития с необходимой для принятия решений точностью. Методы прогнозирования, основанные на установлении физических или математических аналогий, изучают похожие процессы в технике или же в живой природе [21].

Следует сделать замечание, что представленная классификация имеет условный характер, ведь разработку методик и программ вычисления выполняет человек, а значит, доля эвристики всегда присутствует.

## 5. Выводы и рекомендации

Опыт эксплуатации горных транспортных машин показывает высокую эффективность использования методов вибродиагностики, теплового контроля и контроля смазочных материалов для оценки технического состояния основных компонентов поточных транспортных систем.

Важную составляющую имеет непосредственный или с помощью телеметрии визуальный и шумовой контроль, позволяющий обнаружить наличие ограждающих элементов, просыпи горной массы, несвойственные нормальному процессу эксплуатации шумы.

Таким образом, в настоящее время нецелесообразно полностью отказываться от присутствия на горном производстве обслуживающего (контролирующего) персонала. Однако возможно значительно облегчить его работу и однозначно вывести из опасных зон.

Стратегия устойчивого развития обеспечивается опережающими решениями и действиями в условиях риска и неопределенности. Развитие Индустрии 4.0 с использованием киберфизических систем, включающих технологии искусственного интеллекта и нейросетей, позволяет отслеживать физические процессы износа оборудования. Однако для оптимизации расходов на техобслуживание и ремонт горных транспортных машин предлагается использовать комплексный контроль, включающий автоматизированные системы технической диагностики дополнительно к имеющейся автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУ ТП), дополненные системой обходов и инспекций (не исключая обслуживающий персонал, проводящий визуальный контроль, очистку и регулировку).

Предлагается использовать интеллектуальную экспертную систему (ИЭС), основанную на гибридной модели прогнозирования изменения технического состояния оборудования с учетом параметров, получаемых с датчиков и вносимых обслуживающим персоналом. Данная ИЭС учитывает анализ статистических данных и физических процессов износа (накопленный эксплуатационный опыт). После искусственный интеллект сравнивает текущее значение характеризующего признака (параметра) с опорным (эталонным) и выдает рекомендации техническим специалистам службы главного механика.

В условиях современных вызовов существует необходимость оптимизировать всю систему технического сервиса, включая логистику. Минимизация затрат возможна на базе обоснованных характеристик технического состояния, включая сроки и объемы технического обслуживания и ремонтов, реконструкции или замены оборудования и его компонентов.

Проактивное техническое обслуживание основано на прогнозировании отказов, направлено на упреждающее воздействие на компоненты технической системы, позволяет продлить их ресурс и повысить энергоэффективность производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Л. И. Применение методов оценки технического состояния горной техники на горнодобывающем предприятии // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2017. № 4. С. 78-85. EDN YREKWR.
2. Kuzin E. G., Lupiy M. G., Grigoryeva N. V. [et al.] Diagnostics of Technical Condition of Gear Units of Belt Conveyors for the Aggregate of Methods of Nondestructive Testing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Kemerovo, 2017. P. 012013. DOI 10.1088/1757-899X/253/1/012013. EDN ZRMDVV.
3. Андреева Л. И. Методический подход к оценке состояния горной техники и целесообразного срока ее эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. 2021. № 6(158). С. 38-43. DOI 10.26730/1816-4528-2021-6-38-43. EDN TTOOWA.
4. Gerike B., Drozdenko Yu., Kuzin E. [et al.] Formation of Comprehensive Service System of Belt Conveyor Gearboxes // E3S Web of Conferences: 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition. Kemerovo: EDP Sciences, 2018. P. 03011. DOI 10.1051/e3sconf/20184103011. EDN XVTPBB.
5. Gericke B. L., Sushko A. E., Gericke P. B., Efremkov A. B. Digital technologies used in technical diagnostics, assessment of technical condition, maintenance and repair of mining machines and equipment // Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod. RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 012016. DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012016. EDN TNVRIR.
6. Khoreshok A., Kudrevatyh N., Koroleva T. G., Islamov D. Management of environmental and economic risks of mining enterprises // E3S Web of Conferences: The 10th Anniversary Russian-Chinese Symposium «Clean Coal Technologies: Mining, Processing, Safety, and Ecology». Kemerovo: EDP Sciences, 2021. P. 01021. EDN LXSSBU.
7. Хажиев В. А. Оценка результативности системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 3(151) С. 64-74. DOI 10.26730/1999-4125-2022-3-64-74. EDN XIEUFU.
8. Довженок А. С., Алексеенко В. Б., Хажиев В. А., Байкин В. С. Методический инструментальный формирования и осуществления мониторинга организации процесса эксплуатации горно-транспортного оборудования на угледобывающем предприятии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2020. Т. 22. № 4(96). С. 48-56. DOI 10.37313/1990-5378-2020-22-4-48-56. EDN AHHTFJ.
9. Gubanov S., Petsyk A., Komissarov A. Simulation of stresses and contact surfaces of disk rolling cutters with the rock when sinking in mixed soils // E3S Web of Conferences : 18. Ekaterinburg, 2020 P. 03008. DOI 10.1051/e3sconf/202017703008. EDN XIOYCL.
10. Chaari F., Chiementin X., Zimroz R., Bolaers F., Haddar M. Smart Monitoring of Rotating

Machinery for Industry 4.0. 2022. 10.1007/978-3-030-79519-1.

11. Zhang X., Tengyi P., Sun, S., Zhou Yu. New Multifeature Information Health Index (MIHI) Based on a Quasi-Orthogonal Sparse Algorithm for Bearing Degradation Monitoring. Computational Intelligence and Neuroscience. 2021. 1-14. 10.1155/2021/2221702.

12. Биргер И. А. Техническая диагностика. М. : Машиностроение, 1978. 240 с.

13. Клюев В. В., Соснин Ф. Р., Филинов В. Н. [и др.] Клюев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. М. : Машиностроение, 2003. 657 с.

14. ГОСТ Р ИСО 22096-2015. Контроль состояния и диагностика машин. Метод акустической эмиссии. Condition monitoring and diagnostics of machines. Acoustic emission method.

15. Кузин Е. Г., Шахманов В. Н., Кавардаков А. А. Влияние горно-геологических факторов на работу привода шахтного ленточного конвейера // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 2(148). С. 51-56. DOI 10.26730/1816-4528-2020-2-51-56. – EDN ZHXOMY.

16. Mamaeva M., Kuzin E. Development of innovative methods for the assessment of the technical condition of the gearboxes of the mine belt conveyors in the parameters of the lubricating oil. MATEC Web of Conferences. The conference proceedings (ISPCIME-2019). 2019. С. 03006.

17. Manusov V. Z., Igumnova E. A., Eroshenko S. A. [et al.] Comparison Study of Wind Flow Velocity Short-Term Forecasting Methods Based on Adaptive Models and Neural Networks // International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. Vol. 29. N.8 Special Issue. P. 2108-2115. EDN FXUAFN.

18. Matrenin P. V., Manusov V. Z., Akhalyasmaa A. I., Antonenkov D. V., Eroshenko S. A., Butusov D. Improving accuracy and generalization performance of small-size recurrent neural networks applied to short-term load forecasting // Mathematics. 2020. Vol. 8, iss. 12. Art. 2169 (17 p.).

19. Kozlov V., Gulevsky V., Skrypnikov A., Logoyda V., Menzhulova A. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 327. 042056. 10.1088/1757-899X/327/4/042056.

20. Hayati J., Abdollahzadeh S. An Integrated Simulation and Virtual Cellular Manufacturing System Concept Approach for Maintenance Policy Selection. Mathematical Problems in Engineering. 2021. 1-10. 10.1155/2021/1306742.

21. Радкевич Я. М. Методический подход к установлению перспективных параметров горных машин. Сборник научных трудов семинара «Современные технологии в машиностроении». М. : МГТУ. 2013. 379 с.

© 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:

**Кузин Евгений Геннадьевич**, кандидат технических наук, доцент, Филиал Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева в г. Прокопьевске, (653039, Российская Федерация, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а), kuzinegen@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Кузин Евгений Геннадьевич – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, сбор диагностических данных, выводы, постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных и написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-41-49

### Evgeny G. Kuzin

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Branch in Prokopyevsk

E-mail: kuzinegen@gmail.com

## PREDICTIVE CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF MINING TRANSPORT MACHINES



#### Article info

Received:

19 August 2022

Accepted for publication:

06 October 2022

Accepted:

15 February 2023

Published:

09 March 2023

**Keywords:** predictive control, mining transport machines, technical diagnostics, forecasting methods, vibration diagnostics, thermal control, technical condition assessment, intelligent expert systems.

#### Abstract.

The paper considers issues of predictive control of the technical condition of mining transport machines in relation to the flow transport systems of mining enterprises. The relevance of transport machine components service life management is shown. The introduction of advanced technologies to ensure the strategy of sustainable development of the mining industry of the Russian Federation is being taken into account. The term 'management' is understood not just as "increasing" the service life, but also as its compliance with the "set targets", including the concepts of energy-efficient operation. An effective solution to the issues of predictive control of the state of machines is based on the choice of: a class of components to be evaluated, methods of evaluation and forecasting, and the development of an adequate management model. It is shown, that for diagnostic purposes it is sufficient to evaluate such a class of components as bearings, gears, windings of electric machines, machines and housings, shafts, couplings, drum shells, etc. Available and effective methods of technical diagnostics are given, most of them relate to non-destructive testing methods, but require adaptation to the conditions of mining and processing enterprises. The main methods include visual control, acoustic control, vibration diagnostics, thermal control methods and control of the condition of lubricants (oils and greases). A feature of the technical condition management tasks is the choice of adequate methods for predicting its changes with minimizing the influence of the qualifications of maintenance and repair personnel. The classification of forecasting methods in relation to flow transport systems is given. The theory of the development of complex technical systems is taken into account. The rationale for the transition to intelligent expert systems is given. It does not require the constant participation of specialists (experts). Neural networks also process the extensive base of accumulated operational experience. It is important to understand that an intelligent expert system is designed not to replace a person (except in emergencies), but to support decision-making. It helps to operate efficiently the flow-through transport systems at a hazardous production facility (mine, mine, processing plant).

**For citation:** Kuzin E.G. Predictive control of the technical condition of mining transport machines. Mining Equipment and Electromechanics, 2023; 1(165):41-49 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-41-49

#### REFERENCES

1. Andreeva L.I. Application of methods for assessing the technical condition of mining equipment at a mining enterprise. *News of higher educational institutions. Mining Journal*. 2017; 4:78-85. EDN YREKWR.

2. Kuzin E. G. [et al.] Diagnostics of Technical Condition of Gear Units of Belt Conveyors for the Aggregate of Methods of Nondestructive Testing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Kemerovo, 2017; 012013. DOI 10.1088/1757-899X/253/1/012013. – EDN ZRMDVV.

3. Andreeva L.I. Methodical approach to the assessment of the state of mining equipment and the expedient life of its operation. *Mining equipment and electromechanics*. 2021; 6(158):38-43. DOI 10.26730/1816-4528-2021-6-38-43. EDN TTOOWA.

4. Kuzin E. G. [et al.] Formation of Comprehensive Service System of Belt Conveyor Gearboxes. *E3S Web of Conferences: 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition*. Kemerovo: EDP Sciences, 2018; 03011. DOI 10.1051/e3sconf/20184103011. EDN XVTPBB.

5. Gericke B. L. [et al.] Digital technologies used in technical diagnostics, assessment of technical condition, maintenance and repair of mining machines and equipment. *Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod*. RUS: IOP Publishing Ltd, 2021; 012016. DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012016. – EDN TNVRIR.

6. Khoreshok A. [et al.] Management of environmental and economic risks of mining enterprises. *E3S Web of Conferences: The 10th Anniversary Russian-Chinese Symposium "Clean Coal Technologies: Mining, Processing, Safety, and Ecology"*. Kemerovo: EDP Sciences, 2021; 01021. – EDN LXSSBU.

7. Khazhiev V.A. Evaluation of the effectiveness of the system of operation of the equipment of the technological complex of a mining enterprise. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2022; 3(151):64-74. DOI 10.26730/1999-4125-2022-3-64-74. EDN XIEUFU.

8. Dovzhenok A. S. [et al.] V Methodological tools for the formation and monitoring of the organization of the operation of mining and transport equipment at a coal mining enterprise. *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2020; 22.

4(96):48-56. DOI 10.37313/1990-5378-2020-22-4-48-56. EDN AHTTFJ.

9. Gubanov S. [et al.] Simulation of stresses and con-tact surfaces of disk rolling cutters with the rock when sinking in mixed soils. *E3S Web of Conferences: 18*. Ekaterinburg. 2020; 03008. DOI 10.1051/e3sconf/202017703008. – EDN XIOYCL.

10. Chaari F., Chimentin X., Zimroz R., Bolaers F., Haddar M. Smart Monitoring of R-tating Machinery for Industry 4.0. 2022. 10.1007/978-3-030-79519-1.

11. Zhang X., Tengyi P., Sun S., Zhou Yu. New Multifeature Information Health Index (MIHI) Based on a Quasi-Orthogonal Sparse Algorithm for Bearing Degradation Monitoring. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2021. 1-14. 10.1155/2021/2221702.

12. Birger I.A. Technical diagnostics. M.: Mechanical Engineering; 1978.

13. Klyuev V.V. [et al.] Non-destructive testing and diagnostics: Handbook. M., Mashinostroenie; 2003.

14. GOST R ISO 22096-2015. Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. Metod akusticheskoy emissii. Condition monitoring and diagnostics of machines. Acoustic emission method.

15. Kuzin E.G. [et al.] The influence of mining and geological factors on the operation of the mine belt conveyor drive. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 2(148): 51-56. DOI 10.26730/1816-4528-2020-2-51-56. EDN ZHXOMY.

16. Mamaeva M., Kuzin E. Development of innovative methods for the assessment of the technical condition of the gearboxes of the mine belt conveyors in

the parameters of the lubricating oil. *MATEC Web of Conferences. The conference proceedings (ISPCIME-2019)*. 2019; 03006.

17. Manusov V.Z. [et al.] Comparison Study of Wind Flow Velocity Short-Term Forecasting Methods Based on Adaptive Models and Neural Networks. *International Journal of Advanced Science and Technology*. Special Issue. 2020; 29(8):2108-2115. EDN FXUAFN.

18. Matrenin P.V., Manusov V.Z., AKhalyasmaa A.I., Antonenkov D.V., Eroshenko S.A., Butusov D. Improving accuracy and generalization performance of small-size recurrent neural networks applied to short-term load forecasting. *Mathematics*. 2020; 8(12). 2169.

19. Kozlov V., Gulevsky V., Skrypnikov A., Logoyda V., Menzhulova A. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 327. 042056. 10.1088/1757-899X/327/4/042056.

20. Hayati J., Abdollahzadeh S. An Integrated Simulation and Virtual Cellular Manufacturing System Concept Approach for Maintenance Policy Selection. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021; 1-10. 10.1155/2021/1306742.

21. Radkevich Ya.M. Methodical approach to the establishment of perspective parameters of mining machines. Collection of scientific papers of the seminar "Modern technologies in mechanical engineering". Moscow: MGSU; 2013.

© 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:

**Evgeny G. Kuzin**, C. Sc. in Engineering, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Branch in Prokopyevsk, Prokopyevsk, (19 a. Nogradskaya str., 653039, Russian Federation), kuzinegen@gmail.com

Contribution of the authors:

Evgeny G. Kuzin - scientific management, reviewing the relevant literature, conceptualisation of research, data analysis and writing the text, research problem statement, obtaining diagnostic data, drawing the conclusions.

Author have read and approved the final manuscript.

