

Научная статья

УДК 622.232

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-17-25

Лагунова Юлия Андреевна^{1,2}, Макарова Валерия Викторовна²,
Набиуллин Рустем Шафкатович¹¹ Уральский государственный горный университет² Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

*E-mail: yu.lagunova@mail.ru

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ЭКСКАВАТОРОСТРОЕНИЯ****Информация о статье**

Поступила:

15 сентября 2022 г.

Одобрена после
рецензирования:

01 октября 2022 г.

Принята к печати:

14 октября 2022 г.

Ключевые слова:*карьерный экскаватор, рабочее оборудование, тензометрирование, магнитная память металлов, фотодиагностика Motion Amplification.***Аннотация.**

Тяжелые условия эксплуатации карьерных экскаваторов, при которых возникают значительные динамические нагрузки на рабочее оборудование и приводы, предъявляют особые требования к их проектированию. Особенность применения карьерных экскаваторов состоит в том, что внешние нагрузки, действующие на конструкцию рабочего оборудования и поворотную платформу машины, изменяются во времени и прикладываются с определенной частотой в зависимости от скорости движения ковша, качества подготовки забоя и квалификации машиниста. Знакопеременный характер нагружения приводит к периодическому изменению напряжений в элементах рабочего оборудования и металлоконструкциях машины, что вызывает появление усталостных трещин и разрушение конструкции. Цель исследования – правильный выбор методологии диагностирования всех узлов карьерного экскаватора. Применение методов диагностирования соответствует этапам технического обслуживания и ремонта рабочего оборудования. Тензометрирование является одним из основных экспериментальных методов исследования напряженно-деформированного состояния конструкций при изучении поведения натурных объектов при наладке, эксплуатации и ремонте, а также лабораторных исследований напряженного состояния конструкций на моделях на стадии проектирования. В результате проведенных исследований выделены преимущества и недостатки трех различных методов диагностирования металлоконструкций: тензометрирования, магнитной памяти металлов и фотодиагностики Motion Amplification.

Для цитирования: Лагунова Ю.А., Макарова В.В., Набиуллин Р.Ш. Анализ методов диагностирования состояния металлоконструкций на примере экскаваторостроения // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 6 (164). С. 17-25. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-17-25

Условия работы в карьере обуславливают необходимость использования гусеничного экскаватора почти регулярно на протяжении всего года. Однако факт высокой стоимости такой техники сказывается на возможности использования в карьере большого количества машин. В связи с этим повышенные требования к надежности карьерной техники полностью оправданы, так как позволяют сократить простои на время технического обслуживания машин [1-8].

Тяжелые условия эксплуатации карьерных экскаваторов, при которых возникают значительные динамические нагрузки на рабочее оборудование и

приводы, предъявляют особые требования к их проектированию. Особенность применения карьерных экскаваторов заключается в том, что внешние нагрузки, действующие на конструкцию рабочего оборудования и поворотную платформу машины, изменяются во времени и прикладываются с определенной частотой, зависящей от скорости движения ковша, качества подготовки забоя и квалификации машиниста. В процессе разработки забоя возможны резонансные явления, которые могут привести к высоким напряжениям (относительно номинального значения) в элементах рабочего оборудования, а также к другим нежелательным последствиям. Зна-

копеременный характер нагружения приводит к периодическому изменению напряжений в элементах рабочего оборудования и металлоконструкциях машины, что вызывает появление усталостных трещин и разрушение конструкции.

Для исследования надежности рабочего оборудования карьерных экскаваторов используются различные методы контроля и диагностики. Самоходная выемочно-погрузочная техника, работающая в карьерных условиях, включает в себя комплекс взаимозависимых частей различного функционального назначения. Все они разнообразны по структуре, надежности, износу и сроку эксплуатации. От их исправности, согласованности и технического состояния зависит надежная работа экскаватора. Именно поэтому крайне важно понимать, какой технический элемент в карьерном экскаваторе может выйти из строя в первую очередь. Это требует правильного выбора методики диагностики всех узлов карьерного экскаватора [1-8].

Применение методов диагностирования соответствует этапам технического обслуживания и ремонта рабочего оборудования. Для карьерных экскаваторов предусмотрены следующие виды технических обслуживаний:

— ежесменное техническое обслуживание (ЕО), выполняемое перед началом, в течение или после рабочей смены;

— плановое техническое обслуживание (ТО), выполняемое в плановом порядке через определенные, установленные заводами-изготовителями величины наработок;

— сезонное техническое обслуживание (СО), выполняемое два раза в год при подготовке машины к использованию в период последующего сезона (летнего или зимнего).

Рассмотрим ряд методов для диагностики рабочего оборудования карьерных экскаваторов.

Для регистрации и контроля деформаций и нагрузок, действующих на конструкцию рабочего оборудования, наиболее распространенным методом является тензометрирование.

Тензометрирование является одним из основных экспериментальных методов исследования

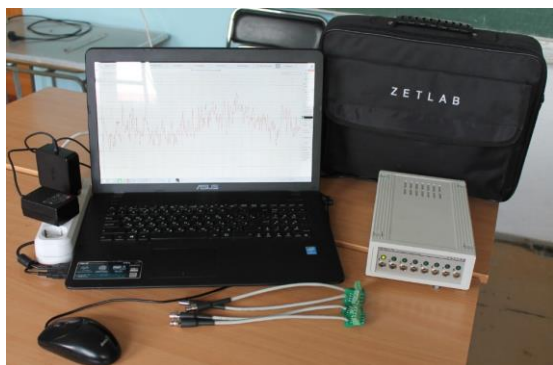


Рис.1. Тензометрическая станция ZET 017-T8
Fig. 1. Tensometric station ZET 017-T8

напряженного и деформированного состояния конструкций при изучении поведения натуральных объектов в период пуска наладочных и эксплуатационных работ, а также исследования в лабораторных условиях напряженного состояния конструкций на моделях на стадии проектирования [9]. Для реализации этих задач ранее использовались различные аппаратные средства, в том числе световые осциллографы и усилители сигналов, далее применялись различные аналого-цифровые преобразователи на основе аппаратно-программных средств, которые зачастую создавались под конкретные задачи. В настоящее время подобные приборы выпускаются специализированными фирмами и имеют богатый набор функций.

Использование тензометрической аппаратуры предназначается для регистрации и обработки спектральной структуры сигналов и генерации сигналов синусоидальной формы, полученных с различных первичных преобразователей – тензодатчиков, датчиков силы, датчиков крутящего момента, датчиков перемещения, а также схем, реализованных на тензорезисторах [10]. Тензостанция является частью комплекса измерительной аппаратуры, используемой в тензометрии [11-13].

Тензостанция (рис. 1) может:

- проводить узкополосный спектральный анализ в различных полосах для сигналов в реальном масштабе времени и сигналов, взятых из записей;
- измерять постоянную и переменную составляющие сигналов, записывать их в файл с временной привязкой;
- регистрировать сигналы (вводить в память оцифрованные значения сигнала с последующей записью на накопитель);

Тензостанция может быть использована автономно или в составе автоматизированных систем:

- в испытательных и контрольно-измерительных комплексах;
- в системах управления технологическими процессами;
- для научно-технических исследований.

К преимуществам тензометрического метода следует отнести:

- малый вес и размеры датчиков;
- простоту конструкции и крепления датчиков к изделиям;
- способность измерять статические и динамические деформации;
- программное обеспечение тензометрической аппаратуры имеет большое количество функций в программе и позволяет сделать запись сигналов и их отображение с возможностью конвертирования в стандартные пакеты прикладных программ;
- возможность измерений параметров одновременно во многих точках деталей;
- возможность измерения деформаций в движущихся (крутящихся) деталях.

Недостатки тензометрического метода:



Рис. 2. Установка тензодатчиков на рукояти действующей модели карьерного экскаватора
 Fig. 2. Installation of strain gauges on the handle of a working model of a mining excavator

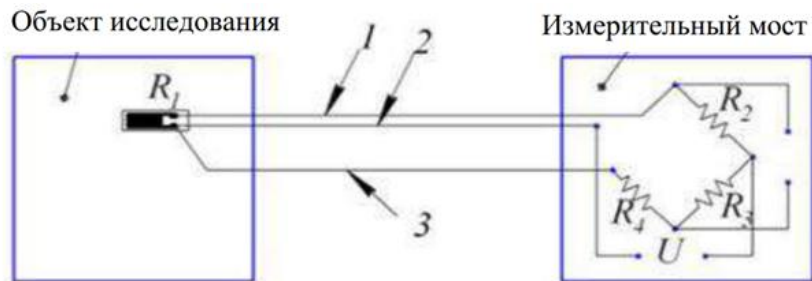


Рис. 3. Четверть-мостовая схема с трехпроводным подключением
 Fig. 3. Quarter-bridge circuit with three-wire connection

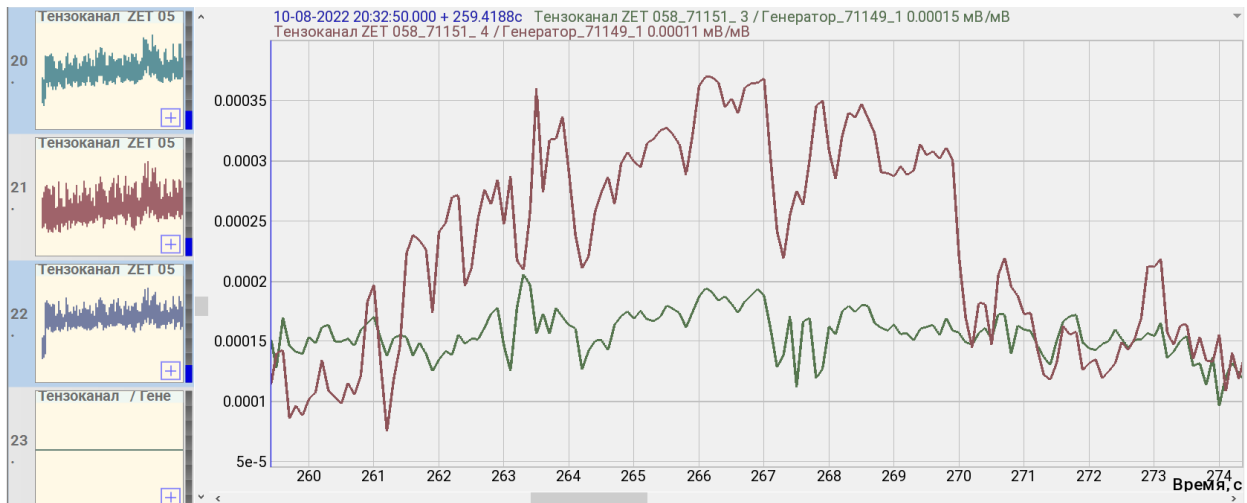


Рис. 4. Выдержка из записи аппаратуры по оценке точек напряженности в рукояти
 Fig. 4. Excerpt from the recording of the equipment for assessing the points of tension in the handle

- чувствительность и требовательность к установке тензодатчиков. Любые отклонения от норм могут стать причиной появления погрешности, которую с помощью обычной калибровки устранить не получится. Также за датчиками нужно ухаживать, своевременно убирая инородные вещества. Загрязнения могут незначительно исказить данные;

- влияние на сопротивление датчиков температуры (небольшое изменение сопротивления датчика (около 1%) требует усиление сигнала);
- требуются специальные защитные меры при работе в условиях высоких температур и в агрессивной среде;



Рис. 5. Измеритель ИКН-2м-16

наблюдаются случаи отслаивания основы (одноразовое применение);

- сопротивление и погрешность датчика сильно зависят от материала подложки и клея, используемого для крепления датчика к испытуемой детали;
- сложность первоначальной настройки (проведение тарировки тензодатчиков);
- в процессе эксплуатации диагностирование выполняется периодически для оценки состояния и прогнозирования его изменения в ближайшем будущем;
- при очень малых деформациях необходим внешний усилитель.

Пример установки тензодатчиков на действующую

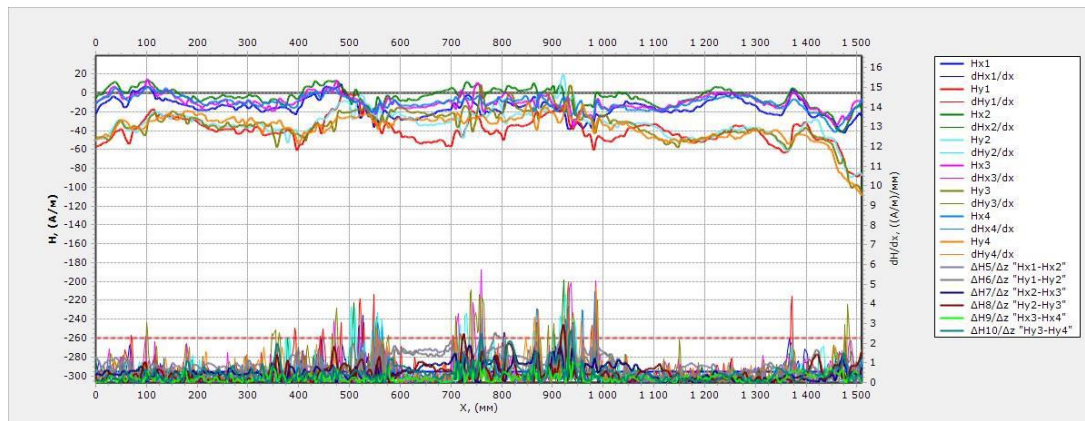


Рис. 6. Магнетограмма распределения напряженности магнитного поля H_p всех каналов измерения в верхней части и всех графиков градиента dH/dx и dH/dz в нижней части

Fig. 6. Magnetogram of the distribution of the magnetic field strength H_p of all measurement channels in the upper part and all gradient graphs dH/dx and dH/dz in the lower part

Таблица 1. Расположение и описание зон концентраций напряжений (ЗКН)

Table 1. Location and description of stress concentration zones

Обозначение ЗКН	Расположение ЗКН относительно начала сканирования (см. рис. 7)		Максимальное значение градиента в ЗКН (см. рис. 6)	
	Начало ЗКН, x_0 , мм	Конец ЗКН x_k , мм	dH/dx , (А/м)/мм	dH/dz , (А/м)/мм
1	440	590	4,2	2,0
2	700	825	5,8	2,5
3	850	1000	5,0	3,0
4	1350	1390	4,5	1,0



Рис. 7. Место начала сканирования сектора № 3, 75 мм от кромки листа до линии начала сканирования. Измерение проводилось по правой границе сектора сканирования. Ширина сектора сканирования 40 мм.

Fig. 7. The starting point for scanning sector No. 3 is 75 mm from the edge of the sheet to the line of scanning starting. The measurement was carried out along the right border of the scanning sector. The width of the scanning sector is 40 mm.

- при интенсивных динамических нагрузках щей лабораторной модели карьерного экскаватора

показан на рис. 2. Учитывая большую длину монтажных проводов и влияние колебаний температуры окружающей среды на температуру и электрическое сопротивление этих проводов, которое воспринимается контрольно-измерительной аппаратурой, как деформация детали, важной задачей становится исключение этого влияния. Для этого использована «четверть-мостовая» схема с трехпроводным подключением тензорезисторов (рис. 3). В этой схеме подключения линии 1 и 3 включены в плечи моста и их температура не влияет на результат измерения. На рис. 4 показана выдержка из записи аппаратуры по оценке точек напряженности в рукояти карьерного экскаватора.

Традиционные методы и средства диагностики направлены на поиск уже развитых дефектов и по своему назначению не могут предотвратить внезапные усталостные повреждения оборудования, которые являются основными причинами аварий и источниками травматизма обслуживающего персонала.

Известно, что основными источниками возникновения повреждений в работающих конструкциях являются зоны концентрации напряжений (КН), в которых процессы коррозии, усталости и ползучести развиваются наиболее интенсивно. Следовательно, определение зон КН является одной из важнейших задач диагностики оборудования и конструкций.

Процессами, предшествующими эксплуатационному повреждению, являются изменения свойств металла (коррозия, усталость, ползучесть) в зонах концентрации напряжений.

Таким образом, намагниченность металла изменяется, отражая фактическое напряженно-деформированное состояние оборудования и конструкций.

В настоящее время разработан и успешно внедряется на практике в России принципиально новый метод диагностики оборудования и конструкций, основанный на использовании магнитной памяти металла (МПМ). МПМ сочетает в себе потенциальные возможности неразрушающего контроля (НК) и механики разрушений, поэтому имеет ряд существенных преимуществ перед другими методами при контроле промышленных объектов [14-16]. На рис. 5 показан измеритель концентрации напряжений ИКН-2м-16, с помощью которого была оценена металлоконструкция стрелы ЭКГ-20 до ее установки на экскаватор вблизи стыкового сварного шва в месте перехода с листового металла толщиной 30 мм на 20 мм по верхнему настилу металлоконструкции головной секции стрелы.

При анализе магнитограммы выявлено четыре зоны концентрации напряжений (ЗКН). ЗКН 2 и 3 характеризуются высоким значением градиента по длине (вдоль оси сканирования), также наблюдается превышение градиента по базе (поперек относительно оси сканирования). ЗКН 1 и 4 характеризуются высоким значением градиента только по длине. Расположение и описание ЗКН приведено в таблице 1 и на рис. 7.

В результате проведенных исследований сделан следующий вывод: в зонах концентрации напряжений, где значения градиента напряженности магнитного поля $K_{ин} \leq 4 \dots 6$ (А/м)/мм, рекомендуется провести дополнительное исследование с использованием таких методов НК, как визуально-инструментальный и ультразвуковой контроль (ВИК, УЗК), для выявления возможных дефектов. При отсутствии дефектов необходимо зашлифовать поверхность конструкции в установленных ЗКН и допустить изделие к дальнейшему производству.

Основные практические преимущества нового метода диагностики по сравнению с известными магнитными и другими традиционными методами неразрушающего контроля (НК) заключаются в следующем:

- применение метода не требует специальных намагничивающих устройств, так как используется явление намагничивания узлов оборудования и конструкций в процессе их работы;
- в процессе их контроля определяются места концентрации напряжений от неизвестных заранее рабочих нагрузок;
- не требуется зачистка металла и другая контролируемая подготовка поверхности;
- для осуществления контроля по предлагаемому методу используются малогабаритные приборы, автономное питание и регистрирующие устройства;
- специальные сканирующие устройства позволяют контролировать оборудование в режиме экспресс-контроля со скоростью 100 м/час и более.

Метод МПМ является наиболее практичным методом неразрушающего контроля для оценки фактического напряженно-деформированного состояния. Поэтому использование нового диагностического метода оценки ресурса узлов оборудования наиболее эффективно.

Предлагаемый метод диагностики, основанный на использовании магнитной памяти металла, позволяет проводить интегральную оценку состояния узла с учетом качества металла, реальных условий эксплуатации и конструктивных особенностей карьерного экскаватора.

Основной задачей метода МПМ является определение на рабочем оборудовании карьерного экскаватора наиболее опасных участков и узлов, характеризующихся зонами концентраций напряжений. Затем с использованием, например, УЗД, в зонах концентраций напряжений определяется наличие конкретного дефекта. На основе поверочного расчета на прочность наиболее напряженных точек, выявленных методом МПМ, производится оценка реального ресурса рабочего оборудования карьерного экскаватора.

Кроме того, метод МПМ и соответствующие приборы контроля позволяют:

- проводить раннюю диагностику усталостных повреждений и прогнозировать надежность оборудования;

- документировать результаты контроля и создавать базу данных о состоянии оборудования;
- проводить экспресс-сортировку новых и старых деталей по их предрасположенности к повреждениям;
- определять место и направление развития будущей трещины на рабочем оборудовании карьерного экскаватора с точностью до 1 мм, а также фиксировать уже образовавшиеся трещины;
- в некоторых случаях контролировать оборудование без снятия изоляции.

Метод Motion Amplification — это уникальная технология, в которой используются самые современ-



Рис. 8. Аппаратура Motion Amplification
Fig. 8. Motion Amplification Equipment

ные достижения в видеотехнологиях и программное обеспечение для обнаружения движения, невидимого невооруженным глазом. Каждый пиксель видеонаблюдения становится сенсором, создавая миллионы контрольных точек в каждом кадре. Motion Amplification сочетает в себе преимущества традиционной вибродиагностики, фазового анализа и использования специализированного программного обеспечения ODS (Operational Deflection Shape) для анимации (см. рис. 8).

Запатентованная технология компании RDI Technologies (США) измеряет отклонение, смещение, движение и вибрацию, невидимые человеческому глазу. Компания использует технологию видеокамеры в сочетании с фирменным программным обеспечением и алгоритмами обработки для извлечения важных данных. Эта технология превращает каждый пиксель в поле зрения камеры в датчик, способный с высокой степенью точности измерять и анализировать видео вибрации или движения. С помощью программного обеспечения Motion Amplification можно визуализировать движение вместе с измерением и количественной оценкой любых структурных элементов, которые может видеть камера. Motion Amplification – это запатентованный алгоритм обработки видео, который обнаруживает едва заметное движение, а затем усиливает это движение до уровня, видимого невооруженным глазом, улучшая понимание компонентов и взаимосвязей, создающих движение.

Основным преимуществом перед тензометрией является визуализирование неисправностей в оборудовании, что позволит точно оценить состояние оборудования.

Система усиления движения включает в себя камеру, способную работать со скоростью 120 кадров в секунду (fps) при полном разрешении кадра и

субкадре 1300 кадров в секунду, обеспечивая верхний частотный диапазон 60 герц (Гц) и 650 Гц соответственно. Сбор данных занимает порядка нескольких секунд (обычно от 3 до 10 секунд), и анализ может быть выполнен в полевых условиях. Время анализа для создания видео с усилением движения составляет от 10 до 20 секунд. Многие параметры могут быть определены из набора данных. Смещение можно рассчитать из любого места видео, щелкнув и нарисовав прямоугольник на экране, где нужно определить желаемое значение смещения. Временной сигнал и частотный спектр возвращаются для этого местоположения как в направлении X, так и в направлении Y, если смотреть с камеры. Также система может автоматически стабилизировать видео в случае вибрации окружающей среды, чтобы удалить лишнюю вибрацию из видео.

Использование метода Motion Amplification имеет множество применений для проблем с вибрацией, таких как смещение, дисбаланс и ослабление. Другие проблемы, такие как структурные трещины, резонанс и мягкая опора, также могут быть легко диагностированы с помощью данного алгоритма. Motion Amplification дополняет традиционные методы мониторинга вибрации, которые часто используют акселерометры в качестве датчика сбора данных. Акселерометры менее чувствительны в низкочастотном режиме и часто имеют проблемы с обнаружением неисправностей в низкочастотной части спектра. Усиление движения может видеть движения до 0,01 Гц.

Преимущества технологии:

- бесконтактный сбор данных во время работы оборудования;
- уникальный инструмент для диагностики неисправностей;
- более удобный и эффективный инструмент, чем использование традиционных решений ODS (Operational Deflection Shape);
- эффективный инструмент для быстрого и продуктивного общения персонала из разных подразделений;
- решение легко в использовании и дает быстрые результаты;
- позволяет находить скрытые дефекты;
- не требует сборки-разборки оборудования;
- малое время диагностирования;
- возможность обнаружения неисправностей на этапе их зарождения;
- анализируя данные в реальном времени, можно предупреждать отказы;
- получение информации о состоянии оборудования, находящегося в труднодоступных местах;
- не требует крепления датчиков, бесконтактное измерение;
- визуализация данных о вибрации;
- непрерывное диагностирование в процессе эксплуатации.

К недостаткам метода можно отнести:

- невозможность определения типа дефекта;

• относительный недостаток метода – невозможность обнаружения дефектов на ранней стадии развития (связано это с тем, что зарождающиеся дефекты генерируют незначительные по амплитуде вибрации, которые еще трудно заметить на шумовом фоне спектра).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов А., Левкович Р., Наумов Д., Гайнуллин А. Дефекты металлоконструкции карьерных экскаваторов // ТехНадзор. 2015. № 11(108). С. 74-81. – EDN XHAZWR.
2. Малов А. М. Непрерывная диагностика металлоконструкции рукояти экскаваторов типа ЭКГ-5А // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2014. Т. 1. С. 26-28. – EDN SXCRTF
3. Чишегоров Д. А., Иванов С. Л., Шибанов Д. А. Оценка влияния определяющих факторов на работоспособность механизма подъема карьерного экскаватора // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XIX международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 20-21 мая 2021 года. Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2021. С. 386-389. – EDN SKPJVE
4. Герике П. Б., Ещеркин П. В. Разработка методологии создания единых критериев для диагностики дефектов оборудования горных машин // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2020. № 6. С. 150-154. – EDN WUSSQC.
5. Никитин К. В., Артамошкин В. Н., Стеблин И. А. Выбор и обоснование методов диагностирования одноковшовых карьерных экскаваторов // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 2 томах, Юрга, 05-06 ноября 2015 года. Юрга : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. С. 341-345. – EDN VRKFFV
6. Москвичев В. В., Ковалев М. А. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных канатных экскаваторов // Сетевой электронный журнал «Транспортные системы и технологии». 2020. Т. 6. №4. С. 25-44. doi: 10.17816/transsyst20206425-44
7. Дрыгин С. Ю. Обоснование метода вибродиагностики технического состояния одноковшовых карьерных экскаваторов: специальность 05.05.06 "Горные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово, 2005. 18 с. – EDN NIAYEP.
8. Великанов В. С., Козырь А. В., Усов И. Г., Усов И. И., Абдрахманов А. А. Использование современных средств тензометрирования в исследованиях горных и строительных машин // Горная промышленность. 2017. №1(131). С. 78-79.
9. Косульников Р. А., Карсаков А. А., Фомин С. Д., Назаров Е. А. Метод повышения точности измерения тягового сопротивления в навесном устройстве трактора // Известия НВ АУК. 2018. №1 (49). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-povysheniya-tochnosti-izmereniya-tyagovogo-soprotivleniya-v-navesnom-ustroystve-traktora> (дата обращения: 07.10.2022).
10. Макарова В. В., Лукашук О. А., Жегульский В. П. Применение экспериментальных методов исследования узлов и механизмов горно-транспортных машин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : Сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 04-05 апреля 2019 года. Под общей редакцией Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2019. С. 379-382. – EDN ZGENPF.
11. Анализатор спектра ZET017-T8. Тензостанция. Руководство по эксплуатации ЗТМС.411168.004 РЭ, 20 с.
12. Программное обеспечение ZETLAB. Руководство оператора ЗТМС.00068-01 34, 188 с.
13. Подключение мостовых схем к тензостанции <https://zetlab.com/podklyuchenie-mostovyykh-skhem-k-tenzostantsii/>
14. Дубов А. А., Дубов Ал. А., Колокольников С. М. Метод магнитной памяти металла и приборы контроля. Учебное пособие. М. : Издательский дом «Спектр», 2012. 395 с.
15. Дубов А. А. Метод магнитной памяти металла. История возникновения и развития. М. : ФГУП Издательство «Известия», 2011. 256 с.
16. Набиуллин Р. Ш., Мальцев В. В. Подбор оборудования для тензометрического сопровождения силовых испытаний // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XX международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 07-08 апреля 2022 года. Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2022. С. 56-59.

© 2022 Авторы. 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:

Лагунова Юлия Андреевна, проф., доктор техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Макарова Валерия Викторовна, аспирант, старший преподаватель, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

Набиуллин Рустем Шафкатович, доцент, канд. техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

Заявленный вклад авторов:

Лагунова Ю.А. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; концептуализация исследования; написание текста, выводы.

Макарова В.В. – обзор соответствующей литературы; написание текста.

Набиуллин Р.Ш. – проведение тензометрических испытаний на лабораторной модели и действующем экскаваторе, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-17-25

Yuliya A. Lagunova^{1,2}, Valeria V. Makarova², Rustem S. Nabiullin¹

¹Ural State Mining University

²Ural Federal University

*E-mail: yu.lagunova@mail.ru

ANALYSIS OF METHODS FOR DIAGNOSING THE STATE OF METAL STRUCTURES ON THE EXAMPLE OF EXCAVATOR CONSTRUCTION



Article info

Received:

15 September 2022

Accepted for publication:

01 October 2022

Accepted:

14 October 2022

Keywords: mining excavator, working equipment, strain measurement, magnetic memory of metals and Motion Amplification photo diagnostics.

Abstract.

Severe operating conditions of mining shovels, under which there are significant dynamic loads on working equipment and drives, put forward special requirements for their design. The peculiarity of the use of mining excavators is that the external loads acting on the structure of the working equipment and the turntable of the machine change with time and are applied at a certain frequency, depending on the speed of the bucket, the quality of the face preparation and the driver's qualifications. The alternating nature of loading leads to a periodic change in stresses in the elements of the working equipment and the metal structures of the machine, which causes the occurrence of fatigue cracks and the destruction of the structure. The purpose of the study is the correct choice of methodology for diagnosing all components of a mining excavator. The use of diagnostic methods corresponds to the stages of maintenance and repair of working equipment. Strain measurement is one of the main experimental methods for studying the stressed and deformed state of structures when studying the behavior of full-scale objects during commissioning and operational work, as well as studying the stressed state of structures in laboratory conditions on models at the design stage. As a result of the research, the advantages and disadvantages of three different methods for diagnosing metal structures are highlighted: strain gauge, metal magnetic memory, and Motion Amplification photo diagnostics.

For citation: Lagunova Yu.A., Makarova V.V., Nabiullin R.S. Analysis of methods for diagnosing the state of metal structures on the example of excavator construction. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 6(164):17-25 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-17-25

REFERENCES

1. Bogdanov A., Levkovich R., Naumov D., Gajnullin A. Defekty metallokonstrukcii kar'ernyh ekskavatorov. *TekhNadzor*. 2015; 11(108):74-81. – EDN XHAZWR.

2. Malov A.M. Nepreryvnaya diagnostika metallokonstrukcii rukoyati ekskavatorov tipa EKG-5A.

Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya. 2014; 1:26-28. – EDN SXCRTF

3. Chishegorov D.A., Ivanov S.L., Shibanov D.A. Ocenka vliyaniya opredelyayushchih faktorov na rabotosposobnost' mekhanizma pod"ema kar'ernogo ekskavatora. *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoj i neftegazovoj promyshlennosti: sbornik trudov XIX mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konfer-*

encii «Cheniya pamyati V.R. Kubacheka», provedennoj v ramkah Ural'skoj gornopromyshlennoj dekady, Ekaterinburg, 20-21 maya 2021 goda. Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj gornyj universitet; 2021. – EDN SKPJVE

4. Gerike P.B., Eshcherkin P.V. Razrabotka metodologii sozdaniya edinyh kriteriev dlya diagnostiki defektov oborudovaniya gornyh mashin. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nyh resursov*. 2020; 6:150-154. – EDN WUSSQC.

5. Nikitin K.V., Artamoshkin V.N., Steblin I.A. Vybory i obosnovaniye metodov diagnostirovaniya odnokovshovykh kar'ernykh ekskavatorov. *Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere: sovremennyye problemy i puti resheniya: Sbornik trudov Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. V 2 tomah, Yurga, 05-06 noyabrya 2015 goda*. Yurga: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet; 2015. – EDN VRKFFV

6. Moskvichev V.V., Kovalev M.A. Ocenka pokazatelej ekspluatatsionnoj nadezhnosti kar'ernykh kanatnykh ekskavatorov. *Setevoy elektronnyj zhurnal "Transportnye sistemy i tekhnologii"*. 2020; 6(4):25-44. doi: 10.17816/transsyst20206425-44

7. Drygin S.Yu. Obosnovaniye metoda vibrodiagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya odnokovshovykh kar'ernykh ekskavatorov : special'nost' 05.05.06 "Gornyye mashiny" : avtoreferat dissertatsii na so-iskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Drygin Sergej Yur'evich. Kemerovo; 2005. 18 s. – EDN NIAYEP.

8. Velikanov V.S., Kozyr' A.V., Usov I.G., Usov I.I., Abdrahmanov A.A. Ispol'zovaniye sovremennykh sredstv tenzometrirovaniya v issledovaniyakh gornyh i stroitel'nykh mashin // *Gornaya promyshlennost'*. 2017; 1(131):78-79.

9. Kosul'nikov R.A., Karsakov A.A., Fomin S.D., Nazarov E.A. Metod povysheniya tochnosti izmereniya tjagovogo soprotivleniya v navesnom ustrojstve traktora. *Izvestiya NV AUK*. 2018; 1(49). URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/metod-povysheniya-tochnosti-izmereniya-tyagovogo-soprotivleniya-v-navesnom-ustrojstve-traktora> (data obrashheniya: 07.10.2022).

10. Makarova V.V., Lukashuk O.A., Zhegul'skij V.P. Primeneniye jeksperimental'nykh metodov issledovaniya uzlov i mehanizmov gorno-transportnykh mashin. *Tekhnologicheskoe oborudovaniye dlja gornoj i neftegazovoj promyshlennosti: Sbornik trudov XVII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Ekaterinburg, 04-05 aprelya 2019 goda / Pod obshej redakciej Ju.A. Lagunovoj*. Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj gornyj universitet; 2019. – EDN ZGEHPF.

11. Analizator spektra ZET017-T8. Tenzostanciya. Rukovodstvo po ekspluatatsii ZTMS.411168.004 RE, 20 s.

12. Programmnoye obespecheniye ZETLAB. Rukovodstvo operatora ZTMS.00068-01 34, 188 s.

13. Podklyuchenie mostovykh skhem k tenzostancii <https://zetlab.com/podklyuchenie-mostovykh-skhem-k-tenzostantsii/>

14. Dubov A.A., Dubov A.I., Kolokol'nikov S.M. Metod magnitnoj pamyati metalla i pribory kontrolya. Uchebnoye posobie. M.: Izdatel'skij dom "Spektr"; 2012.

15. Dubov A.A. Metod magnitnoj pamyati metalla. Istoriya vozniknoveniya i razvitiya. M.: FGUP Izdatel'stvo "Izvestiya"; 2011.

16. Nabiullin R.Sh., Mal'cev V.V. Podbor oborudovaniya dlya tenzometricheskogo soprovozhdeniya silovykh ispytaniy. *Tekhnologicheskoe oborudovaniye dlja gornoj i neftegazovoj promyshlennosti: sbornik trudov XX mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Cheniya pamyati V.R. Kubacheka», provedennoj v ramkah Ural'skoj gornopromyshlennoj dekady, Ekaterinburg, 07-08 aprelya 2022 goda*. Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj gornyj universitet; 2022.

© 2022 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Yuliya A. Lagunova, Professor, Dr. Sc. in Engineering, Ural State Mining University (30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russia), Ural Federal University (Yekaterinburg, st. Mira, 19, 620002, Russia)

Valeriya V. Makarova, Postgraduate, Senior Lecturer, Ural State Mining University (30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russia)

Rustem S. Nabiullin, Associate Professor, C. Sc. in Engineering, Ural State Mining University (30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russia)

Contribution of the authors:

Yuliya A. Lagunova – research problem statement; scientific management; conceptualisation of research; writing the text, drawing the conclusions.

Valeriya V. Makarova – reviewing the relevant literature; writing the text.

Rustem Sh. Nabiullin – carrying out strain gauge tests on a laboratory model and an operating excavator, data collection; data analysis.

Author have read and approved the final manuscript.

