

Methods for assessing the technical condition of belt conveyors

B. Omarbekova, S. Bortebayev*

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: s.bortebayev@satbayev.university

Abstract. The article analyzes the operation of belt conveyor units operated at various mines, processing plants and other enterprises. The main factors leading to failures of conveyor elements are given. The analysis of methods for assessing the technical condition of belt conveyors is carried out, brief descriptions of the methods of control and technical diagnostics used in the operation of belt conveyors are given. The method of vibration diagnostics for assessing the technical condition of the belt conveyor drive station during the operation of the equipment is described. The measuring equipment for carrying out diagnostics is listed. Based on the analysis results, a monitoring system is proposed to assess the technical condition of the belt conveyor drive station. A functional structural diagram of the monitoring system, a description of the proposed system operation, and the advantage of the proposed monitoring system are presented.

Keywords: belt conveyor, drive stations, gearbox, electric drive, technical condition assessment, non-destructive testing method, vibration diagnostics, vibration speed, vibration transducer, monitoring system.

1. Введение

Значительная часть дробильно-сортировочного оборудования на предприятиях горно-металлургической отрасли, сегодня находится в недопустимом техническом состоянии, что приводит к частым простоям оборудования и увеличению себестоимости готовой продукции [1].

В настоящей работе рассматривается ленточные конвейера как наиболее распространенный вид транспортного оборудования, используемый на промышленных предприятиях для перемещения массы измельченного материала.

Ленточный конвейер представляет транспортную машину непрерывного действия, состоящего из тягового органа, приводного и натяжного барабана, опорных роликов, а также вспомогательного и защитного устройства. На рисунках 1 и 2 представлены схемы горизонтального и наклонного конвейеров.

В горно-металлургической отрасли транспортировка рудных материалов осуществляется системами конвейеров, в т.ч. ленточных. Взаимосвязь конвейеров с технологическим процессом обуславливает их высокую ответственность. Необходимо отметить, что, выход из строя хотя бы одного конвейера из системы приводит к остановке всего технологического процесса.

Большинство ленточных конвейеров в добывающей промышленности (добыча угля, гравия, известняка, различных рудных пород) работают в тяжелых условиях перепада температур зимой, высокой влажности и запыленности окружающей среды летом, при этом эти факторы влияют на различные узлы конвейеров по разному.

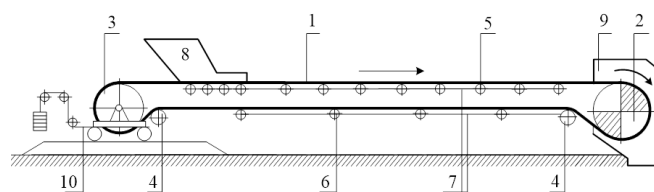


Рисунок 1. Схема горизонтального ленточного конвейера. 1-лента; 2-приводной барабан; 3-натяжной барабан; 4-отклоняющий барабан; 5-верхние роликоопоры; 6-нижние роликоопоры; 7-рама; 8-загрузочный желоб; 9-направляющий лоток; 10-натяжное устройство

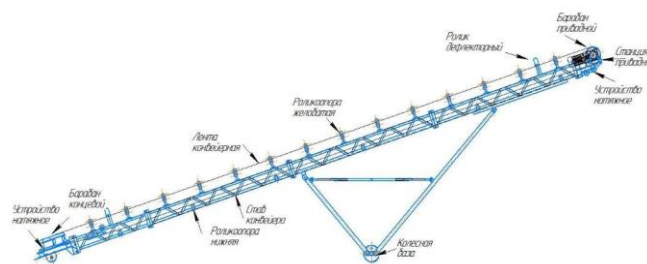


Рисунок 2. Схема наклонного конвейера

Анализ работы узлов ленточных конвейеров, эксплуатируемых на различных шахтах, обогащательных и других предприятиях показывает, что наименьший ресурс работы и наибольшие трудовые затраты имеют и конвейерные ролики и конвейерная лента. Согласно статистическим данным на долю роликов конвейеров приходится до 40% всех расходов на ремонт и обслуживание и до 30% от стоимости всего конвейера [2, 3].

Анализ работ ученых показывают, что простые, вызванные отказом приводной станции ленточного конвейера доходит до 22% от общего числа отказов конвейера. Необходимо отметить, что процент отказов стыков ленты преобладает в общем числе отказов. При этом отказы происходят часто, а среднее время их устранения составляет 1.5-2ч. Отказы, вызванные неисправностью элементов привода, происходят редко, но при этом среднее время восстановления составляет больше 20 часов [4, 5].

Основные факторы, приводящие к отказам элементов конвейера, включают в себя следующие:

- несвоевременное техническое обслуживание;
- низкая квалификация обслуживающего персонала;
- отсутствие систем определения технического состояния оборудования;
- отсутствие учета влияния места установки приводных станций;
- нарушение центровки и балансировки приводов;
- нарушения в работе систем вентиляции и охлаждения редукторов и приводных двигателей;
- использование некачественных смазочных материалов.

Мониторинг технического состояния ленточных транспортеров позволяет перевести большинство отказов из категории внезапных для персонала в категорию постепенных за счет раннего их обнаружения. Поэтому выбор методов диагностики для оценки технического состояния в процессе эксплуатации является актуальным.

2. Матералы и методы

Для оценки технического состояния элементов ленточного конвейера следует проводить диагностику основных узлов в условиях эксплуатации в различных режимах работы конвейера, а после этого проводить анализ результатов диагностики. Для проведения обследования ленточных транспортеров применяются следующие методы контроля и технической диагностики:

- визуального и измерительного контроля;
- неразрушающего контроля;
- вибродиагностического обследования.

Визуально-измерительный контроль элементов ленточного конвейера проводится в целях выявления изменений их формы, поверхностных дефектов в материале и соединениях деталей, трещин, коррозионных и эрозийных повреждений, образовавшихся в процессе эксплуатации, деформаций деталей, ослаблений резьбовых соединений и пр.

Визуальным и измерительным контролем устанавливают: комплектность и правильность монтажа ленточного конвейера и их основных узлов; состояние транспортной ленты, величину износа, состояние стыков, прямолинейность и симметричность расположения ленты на роликах; действие смазочных систем, защитных устройств и блокировок.

Измерительные инструменты и приборы должны проходить поверку в метрологических службах в установленном порядке. Все дефекты, обнаруженные при обследовании ленточного конвейера, должны быть отражены в рабочей карте обследования.

При обнаружении дефектов в металлических конструкциях, несущие и опорные узлы ленточного конвейера подвергаются проверке методами неразрушающего контроля. Места обнаружения трещин подвергают дополнительной проверке с помощью ультразвукового, магнитопорошкового или капиллярного методов контроля.

Ультразвуковой контроль позволяет выявить поверхностные и внутренние плоскостные (трещины) и объемные дефекты, определять их координаты и расположение в детали.

Магнитопорошковый контроль позволяет обнаружить наличие трещин у поверхности, расслоений, различных включений, находящихся на небольшой глубине.

Капиллярный метод контроля позволяет определять наличие трещин, характер их развития по поверхности детали.

Одним из основных методов оценки технического состояния технологического оборудования в современном производстве является вибродиагностика. Устанавливаются два вида измерений параметров механических колебаний: контрольные измерения и диагностические измерения.

Контрольные измерения предназначены для оценки технического состояния механических узлов ленточного конвейера по общему уровню вибрации без выявления дефектов и причин их возникновения.

Диагностические измерения предназначены для выявления дефектов и причин их возникновения, оценки и прогнозирования степени развития дефектов и разработки рекомендаций по их устранению.

Виды и объем диагностических измерений определяются целями вибродиагностики. Они выполняются по разработанным методикам, программам с привлечением специальной диагностической аппаратуры и вычислительных средств.

Вопросами вибродиагностики и оценки технического состояния машин и оборудования посвящены работы П. П. Пархоменко, Ф. Я. Балицкого, А. В. Баркова, Н. А. Барковой, И. А. Генкина, В.Н. Костюкова, В.В. Клюева, и других ученых [6-8].

Для обнаружения дефектов электрической части привода целесообразно применить термографический метод контроля с использованием тепловизоров. Термографическое исследование — это метод диагностики теплового оборудования, основанный на измерении температурных полей на поверхности оборудования с помощью инфракрасной камеры.

Для определения технического состояния редуктора ленточного конвейера можно использовать диагностирование по накоплению продуктов износа в масле.

3. Результаты и обсуждение

Анализ отказов компонентов приводных станций ленточных конвейеров включает выявление причин, приводящих к выходу из строя, и разработку мер для предотвращения подобных отказов. Основные компоненты приводной станции, такие как двигатель, редуктор, муфта и тормозное устройство, подвержены различным типам отказов, включая механические и электрические. Анализ позволяет оптимизировать эксплуатацию конвейера, снизить затраты на ремонт и продлить срок службы оборудования.

Вибрация в конвейерных системах представляет собой механические колебания, которые могут иметь негативные воздействия на соединения элементов привода. В процессе эксплуатации ленточного конвейера возникают различные типы вибраций (таблица 1).

Таблица 1. Типы вибраций, возникающих в приводах ленточного конвейера

Тип вибрации	Источник	Влияние на соединение муфты и вала	Частотный диапазон, Гц
Низкочастотная	Неравномерность движения ленты, неправильная балансировка	Усталостное разрушение соединения, ослабление крепежных элементов	2-20
Среднечастотная	Дефекты приводного механизма, подшипников	Повышенный износ, резонансные явления	20-300
Высокочастотная	Дефекты зубчатых передач, кавитация в гидросистемах	Микротрещины, фреттинг-коррозия	300-2000
Ударная	Падение материала на ленту, пуски/остановки	Мгновенные перегрузки, пластические деформации	Импульсная

Для контроля значений технических параметров, на основные узлы приводной станций ленточного транспортера будут установлены комплекты контрольно-измерительных приборов и автоматики. Они позволят осуществлять автоматическое управление работой конвейера и отключают его при недопустимом изменении значений параметров. Автоматика предусматривает защиту приводной станций ленточного конвейера в следующих случаях:

- а) повышение температуры подшипников приводного барабана и электродвигателя;
- б) повышение температуры масла в редукторе;
- в) повышение уровня вибраций подшипниковых узлов приводного барабана и электродвигателя, а также корпуса редуктора;
- г) повышение температуры обмоток ротора электродвигателя.

Комплекты измерительных приборов регистрируют значения параметров и выводят на монитор оператора, обслуживающего транспортную машину. Допустимые значения этих параметров указаны в паспорте ленточного транспортера или в нормативных технических документах [7,8].

Нормы вибрации вращающихся машин определяются стандартами или другими регламентирующими документами. По уровню вибрации стандартом ISO установлены 4 зоны – А, В, С, D (рисунок 3) [9]:

- зона А – новые машины, только что введенные в эксплуатацию;
- зона В – машины, пригодные для дальнейшей эксплуатации без ограничения сроков;
- зона С – машины, непригодные для длительной непрерывной эксплуатации; обычно данные машины могут функционировать ограниченный период времени, пока не появится подходящая возможность для проведения ремонтных работ;

- зона D – уровни вибрации в данной зоне обычно рассматривают как достаточно серьезные, для того чтобы вызвать повреждение машины.

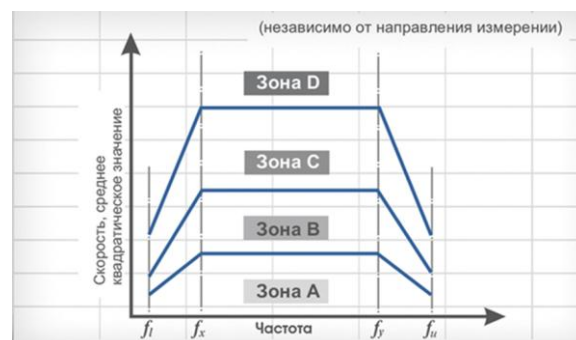


Рисунок 3. Примерные границы зон вибрации для машин разных классов

Оценка параметров вибрации приводов ленточных конвейеров была реализована в качестве наиболее эффективного метода неразрушающего контроля, позволяющего получить максимум информации о состоянии объектов диагностирования без проведения дополнительных дорогостоящих и затратных диагностических мероприятий, сопряженных с необходимостью вывода оборудования из эксплуатации и ростом непроизводительных простоев.

В качестве основного вибрационного параметра для оценки технического состояния следует использовать общее среднеквадратическое значение виброскорости, мм/с.

Измерения и регистрация контролируемых параметров вибрации должны проводиться на всех точках, определяемых в зависимости от конструкции привода: на корпусе подшипников редуктора; на корпусе подшипников барабанов.

В качестве аппаратуры виброконтроля можно использовать портативные виброметры с пьезоэлектрическим вибропреобразователем, виброанализаторы с программным обеспечением, который выполняет функции анализа параметров вибрации работающих роторных машин и механических конструкций. Периодическое измерение параметров имеет недостатки, так как в процессе эксплуатации ленточного транспортера в любой момент могут возникнуть аварийные ситуации, т.е. отказ какого-либо узла в период работы между диагностированием.

Для автоматического контроля диагностических параметров ленточных конвейеров, в данной работе предлагается использовать стационарную систему мониторинга технического состояния и автоматической диагностики по предотвращению аварий, позволяющих в режиме реального времени автоматически получать и практически использовать достоверную диагностическую информацию о состоянии оборудования.

Мониторинг диагностического параметра – это процесс наблюдения во времени за изменением параметра – вибрации, температуры, давления и т.д., отражающего изменение технического состояния диагностируемого оборудования. Для обеспечения мониторинга технического состояния ленточных транспортеров проводится его оснащение оборудованием и датчиками различных

физических величин, которые обеспечивают контроль за изменением выбранных диагностических параметров.

Система мониторинга позволяет получать данные о контролируемых параметрах ленточного конвейера с помощью измерительных каналов, к которым подключаются датчики вибрации, температуры и давления. Датчики устанавливаются непосредственно на контролируемый узел приводной станций конвейера в определенные места на корпусе. Датчики выполняют преобразование измеряемых параметров различных физических величин в электрический сигнал.

Электрический сигнал от преобразователей поступает в программируемые интерфейсные модули, где осуществляется усиление и передается в диагностическую станцию для окончательной его обработки. Далее, полученные результаты измерений визуализируются в реальном времени и обеспечивается хранение полученных данных автоматической диагностики и визуального отображения. Функциональная структурная схема системы мониторинга ленточного транспортера представлена на рисунке 4.

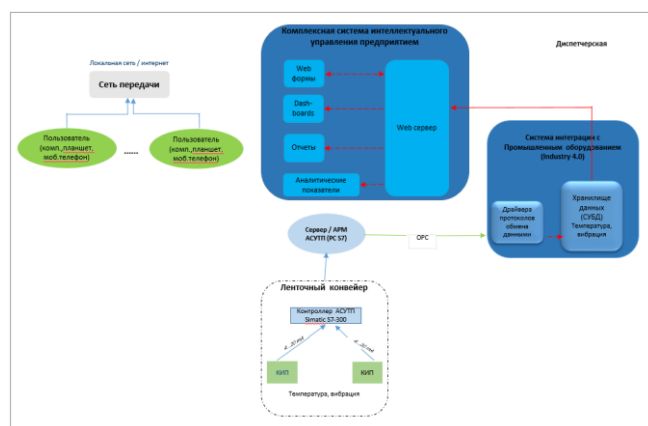


Рисунок 4. Функциональная структурная схема системы мониторинга технического состояния ленточных конвейеров

Полученные значения параметров накапливаются в базах данных системы. Система в автоматическом режиме обрабатывает полученные данные и выдает информацию о техническом состоянии ленточного транспортера в виде речевых сообщений, цветовых индикаторов и тестовых сообщений. Также в автоматическом режиме ведется журнал событий, в котором отслеживаются все события, происходящие с исследуемым оборудованием. Система мониторинга позволяет получать отчеты различного вида за любой промежуток времени с базы данных (тренды параметров) и журнала событий.

На мониторе устройства пользователя, представляются контролируемые параметры ленточного конвейера. Цвет прямоугольника соответствует, техническое состояние контролируемого параметра конвейера отмечается соответствующим цветом: зеленый – допустимо, желтый – требует принятия мер (предупреждение), красный – недопустимо (останов). При переходе технического состояния ленточного конвейера в состояние «Недопустимо» установка выдает предупреждение посредством звукового сигнала или речевого сообщения для принятия мер по обеспечению безаварийной эксплуатации оборудования.

4. Выводы

В результате анализа методов оценки технического состояния ленточных конвейеров можно сделать вывод, что единого универсального метода, однозначно определяющего все дефекты в ранний период износа, не существует. Наиболее информативными являются вибродиагностика, контроль смазочного масла и термографический метод подшипниковых узлов.

Повышение ресурса приводных станций ленточных конвейеров, включающего диагностические признаки вибрации и температуры, реализуется при комбинированном подходе. Комбинированный подход включает стационарные системы мониторинга технического состояния уровня вибрации и температуры. Дополнительно можно контролировать электрические параметры (ток и напряжение) и параметры смазочного масла узлов трения.

Внедрение системы мониторинга технического состояния и автоматической диагностики по предотвращению аварий ленточных конвейеров позволяет в режиме реального времени автоматически получать и практически использовать достоверную диагностическую информацию о состоянии оборудования. Оснащение системами мониторинга технического состояния и автоматической диагностики обеспечивает эксплуатацию оборудования по фактическому техническому состоянию.

Совершенствование технического обслуживания приводных станций ленточных конвейеров базируется на предиктивном обслуживании, учитывающем максимальное количество диагностических признаков и анализ темпов их изменения, а также историю проведенных сервисных работ.

References / Литература

- [1] Galkin, V.I. & Sheshko, E.E. (2017). Lentochnye konveyery na sovremennom etape razvitiya gornoy tekhniki. *Gorny Zhurnal*, (9)
- [2] Lagerev, A.V., Tolkachev, E.N. & Goncharov, K.A. (2017). Modelirovanie rabochikh protsessov i proektirovanie mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov. *Bryansk: RIO BGU*
- [3] Lagerev, A.V., Tolkachev, E.N. & Boslovayak, P.V. (2016). Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzounesushchey lentoy. *Bryansk: RIO BGU*
- [4] Reutov, A.A. (2000). Razrabotka metodov rascheta i proektirovaniya soedineniy lent konveyerov gornykh predpriyatiy. *Bryansk*
- [5] Parkhomenko, P.P., Karibsky, V.V., Sogomonyan, E.S. & Khalchev, V.F. (1981). *Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki* (2 vols.). *Moscow: Energiya*
- [6] Balitsky, F.Ya., Barkov, A.V., Barkova, N.A., et al. (2005). *Nerazrushayushchiy kontrol*. T. 7. Kn. 2: *Vibrodiagnostika*. *Moscow: Mashinostroenie*
- [7] Kostyukov, V.N. & Naumenko, A. P. (2014). *Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki i monitoringa mashin* (2nd ed., rev.). *Novosibirsk: Izd-vo SO RAN*
- [8] Barkova, N.A. & Borisov, A.A. (2009). *Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya*. *St. Petersburg: SPbGMTU*
- [9] Federal Agency on Technical Regulating and Metrology. (2007). *GOST ISO 10816-3-2002. Vibratsiya. Kontrol sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmereniy vibratsii na nevrashchayushchikhsya chastyakh*. *Moscow: Standartinform*

Таспалы конвейерлердің техникалық күйін бағалау әдістері

Б. Омарбекова, С. Бортөбаев*

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: s.bortebayev@satbayev.university

Аңдатпа. Мақалада әртүрлі шахталарда, байыту және басқа кәсіпорындарда қолданылатын таспалы конвейер тораптарының жұмысына талдау жасалды. Конвейер элементтерінің істен шығуына әкелетін негізгі факторлар келтірілген. Таспалы конвейерлердің техникалық күйін бағалау әдістеріне талдау жүргізіліп, таспалы конвейерлерді пайдалану кезінде қолданылатын бақылау және техникалық диагностика әдістерінің қысқаша сипаттамасы келтірілді. Жабдықты пайдалану процесінде таспалы конвейерлердің жетек станциясының техникалық жағдайын бағалау үшін діріл диагностикасын жүргізу әдістемесі сипатталған. Диагностика жүргізу үшін өлшеу аппаратурасы тізімделген. Талдау нәтижелері бойынша таспалы конвейердің жетек станциясының техникалық күйін бағалау үшін мониторинг жүйесі ұсынылады. Мониторинг жүйесінің функционалдық құрылымдық сұлбасы, ұсынылған жүйенің жұмыс сипаттамасы және ұсынылған мониторинг жүйесінің артықшылықтары келтірілген.

Негізгі сөздер: таспалы конвейер, жетек станциялары, беріліс қорабы, электр жетегі, техникалық жағдайын бағалау, бұзылмайтын бақылау әдісі, дірілді диагностикалау, діріл жылдамдығы, діріл түрлендіргіш, бақылау жүйесі.

Методы оценки технического состояния ленточных конвейеров

Б. Омарбекова, С. Бортөбаев*

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: s.bortebayev@satbayev.university

Аннотация. В статье проведен анализ работы узлов ленточных конвейеров, эксплуатируемых на различных шахтах, обогатительных и других предприятиях. Приведены основные факторы, приводящие к отказам элементов конвейера. Проведен анализ методов оценки технического состояния ленточных транспортеров, приведены краткие описания методов контроля и технической диагностики, применяемые при эксплуатации ленточных конвейеров. Описана методика проведения вибродиагностики для оценки технического состояния приводной станции ленточных конвейеров в процессе эксплуатации оборудования. Перечислена измерительная аппаратура для проведения диагностики. По результатам анализов предлагается система мониторинга для оценки технического состояния приводной станции ленточного конвейера. Приведены функциональная структурная схема системы мониторинга, описание работы предлагаемой системы и обосновано преимущество предлагаемой системы мониторинга.

Ключевые слова: ленточный конвейер, приводные станции, редуктор, электропривод, оценка технического состояния, метода неразрушающего контроля, вибродиагностика, виброскорость, вибропреобразователь, система мониторинга.

Received: 13 December 2024

Accepted: 15 June 2025

Available online: 30 June 2025