

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Козлов М.Н., Ватулин Я.С., Ватаев А.С., Майоров В.С.

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: эскалатор, вибромониторинг, обработка сигналов, вейвлет-анализ, имитационное моделирование, детализирующие коэффициенты.

Аннотация. Разработаны имитационные модели лестничного полотна, позволяющие моделировать различные дефекты его элементов. Произведена их верификация на основе подобия диссипации энергии колебательных процессов элементов полотна. С помощью предложенных моделей выполнено имитационное моделирование процесса возникновения дефектов и сформированы диагностические образы характерных неисправностей в виде наборов детализирующих вейвлет-коэффициентов. Предложена схема расположения трехкомпонентных вибродатчиков, позволяющая отслеживать изменение состояния элементов лестничного полотна. Разработана бортовая система автоматизированного мониторинга технического состояния элементов лестничного полотна, которая в режиме реального времени производит обработку данных, полученных от вибродатчиков, отслеживает качественные изменения в элементах лестничного полотна, а так же изменение характера их взаимодействия и выполняет функции управления эскалаторным оборудованием с целью предотвращения аварийных случаев.

MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF TUNNEL ESCALATORS USING THE VIBROACOUSTIC METHOD

Kozlov M.N., Vatulin Ya.S., Vataev A.S., Majorov V.S.

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

Keywords: escalator, vibration monitoring, signal processing, wavelet analysis, simulation modeling, detailing coefficients.

Abstract. Simulation models of the staircase have been developed, which allow modeling various defects of its elements. Their verification was carried out based on the similarity of the energy dissipation of the vibrational processes of the canvas elements. Using the proposed models, simulation modeling of the defect occurrence process was performed and diagnostic images of characteristic faults were formed in the form of sets of detailed wavelet coefficients. The layout of three-component vibration sensors is proposed, which allows monitoring the change in the state of the elements of the staircase. An on-board automated monitoring system for the technical condition of the elements of the staircase has been developed, which processes data received from vibration sensors in real time, monitors qualitative changes in the elements of the staircase, as well as changes in the nature of their interaction and performs the functions of controlling escalator equipment in order to prevent accidents.

Введение

Современные внеуличные системы пассажирских перевозок – метрополитены чаще всего оборудуются тоннельными эскалаторами, как средствами высокопроизводительной и безопасной доставки пассажиров на уровни движения поездов.

Тоннельные эскалаторы являются важным инфраструктурным элементом метрополитена, определяющим надежность и ритмичность его работы. Нарушения функционирования данного компонента может привести к системному «обрушению» процесса перевозки пассажиров и коллапсу значительного сектора данного вида транспорта.

Принимая во внимание более чем сорокапятилетний период эксплуатации эскалаторного оборудования типа ЭМ, ЛТ и ЭТ, составляющего 67% существующего парка машин Петербургского метрополитена, становится актуальным вопрос обеспечения надежности их эксплуатации.

В настоящее время для обеспечения надежности используется система планово – предупредительных мероприятий, регламент которой предписывает проведение заранее

запланированных работ по замене деталей и узлов машины. При этом не учитывается действительный потенциал их работоспособности. Подобный подход существенно снижает показатели рентабельности эксплуатации оборудования.

Оптимальный режим планирования расходов на содержание и ремонт может обеспечить система непрерывного мониторинга технического состояния оборудования, которая позволяет осуществлять прогноз изменения параметров с оценкой условного риска аварийности.

Обобщение практики эксплуатации тоннельных эскалаторов Петербургского метрополитена показывает, что наиболее опасным случаем повреждения эскалаторного оборудования, является внезапный резкий останов лестничного полотна, в результате чего происходит падение пассажиров, с тяжелыми последствиями для здоровья. Подобную неисправность может спровоцировать попадание посторонних предметов в зазор гребенки и рифленной поверхности ступеньки, или столкновение корпуса ступеньки с посадочной площадкой, вследствие выхода за пределы проходного габарита корпуса ступеньки (рис. 1).



Рис. 1. Авария на эскалаторе в Римском метро, в результате которой 23 октября 2018 года пострадали около 30 человек (фото из открытых источников)

Основной риск аварийной остановки эскалаторного оборудования создает вытяжка тяговых цепей. Развитие износных процессов контактных поверхностей шарниров цепи изменяют условия кинематики взаимодействия звеньев со звездочкой главного вала, вследствие чего циклически меняется усилие натяжения [1]. Усложнение закона колебательного движения нарушает кинематику взаимодействия элементов лестничного полотна с направляющими устройствами. Например, вследствие неравномерного натяжения тяговых цепей на вогнутом участке направляющих зоны «А» образуется «скупенность» движущихся ступеней в режиме толкания, что приводит к нарушению габарита приближения ступеньки в зазоре с гребенкой посадочной площадки. Подобное явление также может спровоцировать гармоническое силовое воздействие на полотно, как, например, в случае массового движения пассажиров по эскалатору, работающего на спуск.

Специфика нагружения лестничного полотна (расположение пассажиров на ступеньках эскалатора как правило справа по ходу движения), приводит к неравномерной нагрузке тяговых цепей эскалатора, при этом левая цепь подвергается силовым воздействиям в большей степени, чем правая, имеющая меньшую степень подвижности. В структуре выборки из 40 звеньев 47,8% составляют звенья с износом щек до 0,7 мм, 69,5% – имеют осевой люфт втулок 3...5 мм, с дефектами наружного торца внутреннего бегунка цепи – 7%, и 26% имеют признаки заклинивания или затрудненного проворота подшипников. Особую озабоченность эксплуатирующих организаций вызывает износ щек цепей с внутренней стороны в местах их контакта с тяговыми и огибающими звездочками в зонах А и Е (рис. 2) [2].

В настоящее время система контроля зазора приближения габарита ступеньки, натяжения цепей, схода полимерных бандажей бегунков решена применением устройства безопасности в виде концевого выключателя, кинематически связанного рычажной системой с контролируемым механизмом. Основной недостаток подобных механических устройств –

осуществление управляющих функций (отключение питания привода) постфактум, после наступления контрольного события, в связи с чем, возможно нарушение требований федеральных норм и правил об ограничении предельно допустимого ускорения $1,5...2 \text{ м/с}^2$ [3].



Рис. 2. Примеры характерного износа: а – зубьев звездочек; б – звеньев тяговых цепей эскалатора

Иницирующим источником вибрации взаимодействующих элементов машины служат импульсно модулирующие силы трения на участке взаимодействия зуба звездочки с тяговой цепью (соударения зубьев с роликами). Исследования процесса динамического взаимодействия приводных звездочек и тяговых цепей показывают характерные условия формирования сложного волнового процесса в виде распространения упругих волн деформации вдоль рабочей ветви, представляющего собой суперпозицию падающей, отраженной и преломленной волн. Наиболее энергетически значимой является падающая упругая волна деформаций, создаваемая силовым импульсом со стороны приводных звездочек распространяются в направлении от источника возмущения. При этом интерференция волновых процессов вынужденных и собственных колебаний взаимодействующих компонентов (резонанс) может вызывать высокие динамические усилия.

Деградация условий силового контакта нагруженных элементов неизбежно приведет к изменению модальных характеристик наблюдаемых узлов машины. В частности, ослабление натяжения цепи отразится на нестабильности амплитуд гармоник с частотой вращения главного вала, неравномерный износ посадочных мест осей шарниров, вытяжка тяговой цепи, износ зубьев звездочек вызывает низкочастотную импульсную модуляцию вибрации [4, 5]. Наличие дефектов в оборудовании усложняет структуру штатного вибрационного сигнала, вызывая появление высокочастотных гармоник и периодических ударных флуктуаций (подбойка шарниров цепи). Если в штатном режиме работы оборудования преобладают низкочастотные составляющие, то дефекты перестраивают схему диссипации энергии в узлах контактирования, вызывая смещение энергии в область более высоких частот.

Процессу перехода состояния машины в предельное состояние предшествует стадия изменения условий контактирования сопряженных структурных элементов машины между собой, что характерным образом сказывается на динамике процесса диссипации энергии, и может быть зафиксировано объективными средствами контроля.

Целью настоящей работы является разработка системы автоматизированного мониторинга технического состояния элементов лестничного полотна на основе изменения характера диссипации энергии колебательных процессов сопряженных элементов.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**: разработаны твердотельные модели элементов лестничного полотна; разработана и верифицирована имитационная модель штатной работы лестничного полотна; выполнен компьютерный эксперимент вибропортретирования работы лестничного полотна при наличии различных дефектов элементов тяговой цепи; определены диагностические образы характерных неисправностей оборудования; разработана элементная база и программное обеспечение системы автоматизированного сбора, обработки информации и прогнозирования технического состояния объекта.

Методы исследований

Внезапный характер проявления неисправностей лестничного полотна закономерно вызывает беспокойство специалистов, занимающихся эксплуатацией эскалаторного оборудования риском возможности заклинивания ступеней, обрыва тяговых цепей и повреждения редукторной группы [6]. Исследование подобных явлений крайне затруднено, поскольку они имеют случайный характер, а попытка их воспроизведения на реальном оборудовании может нанести фатальный ущерб техническому состоянию машины.

С целью определения и оценки уровня риска эксплуатации оборудования, идентификации сценариев анализа [7] разработана имитационная модель, отражающая физику механического взаимодействия твердотельных структурных элементов объекта в процессе функционирования.

Имитационная модель представляет формализованную конструкцию лестничного полотна как систему сосредоточенных масс, последовательно сопряженных посредством осцилляторов, отражающих упруго-вязкие свойства связей элементов (шарниров цепи). Прогнозирование характеристик конструкции (собственных частот и форм колебаний) осуществляется методом конечных элементов с применением математического алгоритма кратно-масштабного вейвлет-анализа (КМБА).

Структурное тестирование системы (функционирование моделируемого объекта) реализовано дискретным (пошаговым) изменением набора переменных состояний при переходе объекта из одного состояния в другое в пределах заданного горизонта моделирования [8].

Математическая модель лестничного полотна представляет пространственную систему сосредоточенных масс, связанных упруго-податливыми связями, совершающую линейное перемещение по наклонной направляющей (рис. 3).

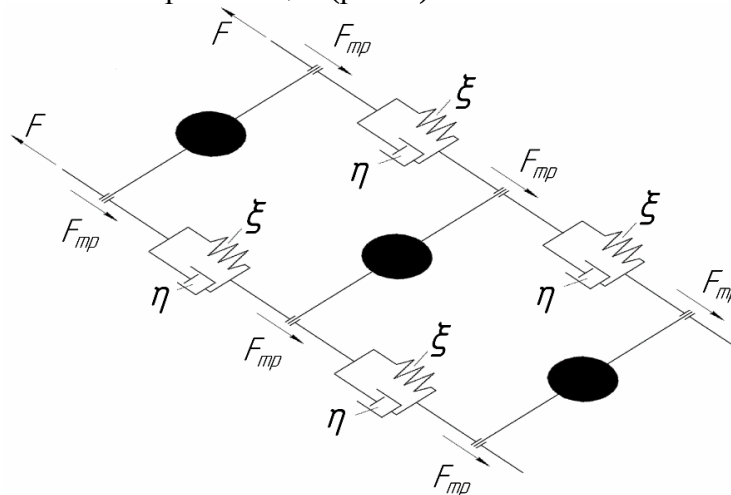


Рис. 3. Математическая модель лестничного полотна

Основную сложность имитационного моделирования системы представляет размерность задачи, зависящая от количества составляющих элементов, вариантов комбинаций их взаимовлияния между собой. По этой причине были разработаны две твердотельные 3D-модели лестничного полотна эскалатора, учитывающие инерционные свойства структурных элементов объекта наблюдения и упруго-податливые свойства их связей (рис. 4).

Первая модель является детализированной (рис. 4, а) и предназначена для детального изучения особенностей взаимодействия сопряженных элементов между собой.

С целью снижения размерности задачи, для изучения волновых эффектов возникающих в тяговых цепях, разработана упрощенная модель в виде пространственной конструкции, состоящей из двух параллельно установленных перфорированных пластин, с поперечным сечением, соответствующим жесткостным свойствам звеньев цепи. Периодические фрагментарные вырезы имитируют наличие шарниров и позволяют отразить их упруго – податливые свойства соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях (рис. 4, б).

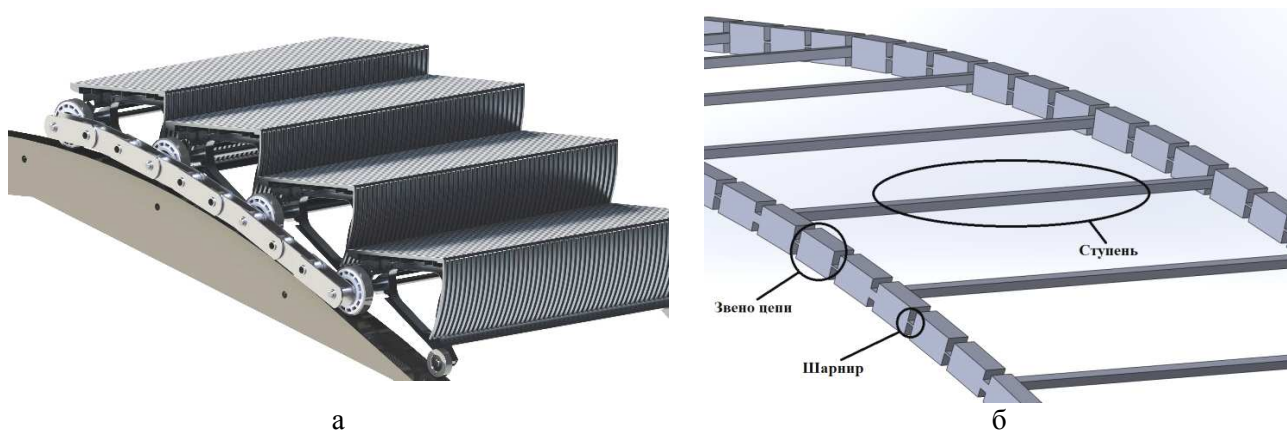


Рис. 4. Трехмерная модель лестничного полотна: а – детализированная, б – редуцированная

Валидация разработанных цифровых моделей тяговой цепи эскалатора выполнена на основе энергетического подобия натуральных и моделируемых колебательных процессов, возникающих в сборке участка цепи, при ее возмущении П-образным механическим импульсом, приложенным к торцу оси шарнира цепи (рис. 5).

Исследование фрагмента тяговой цепи эскалатора выполнялось на испытательном стенде – система для измерений параметров испытаний SATEC серии KN ("INSTRON", США) (рис. 5, а).

Импульсное возмущение конструкции осуществлялось с помощью механического ударника с силовым приводом в виде пружины с калиброванными свойствами жесткости и индентора конусного типа, реализующего условия центрального удара со стабилизированной скоростью внедрения, с пиковым значением ускорения бойка до 100 м/с^2 и длительностью импульса до 10 мс. Устройство формирует непрерывный спектр ударного импульса, с максимальной амплитудой при нуле герц и с последующим ее уменьшением с ростом частоты.

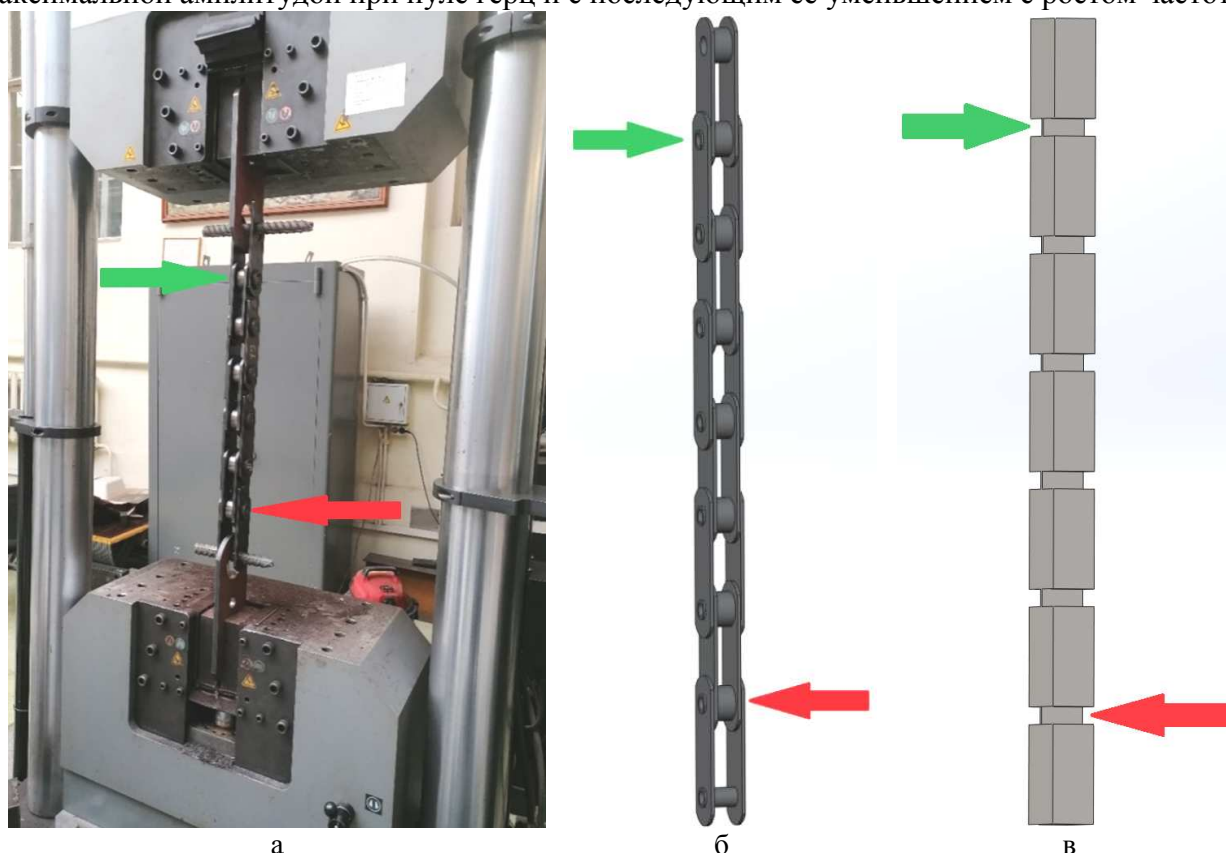


Рис. 5. Установка для проведения физического эксперимента (а); фрагмент детализированной модели (б); фрагмент редуцированной модели (в); стрелками указаны места введения П-образного импульса (снизу) и места установки вибродатчика (сверху)

С целью получения вибропортрета участков объекта использовалось специальное оборудование, представляющее собой виброизмерительный комплекс на основе векторного датчика [9].

Анализ распределения мощности сигнала по полосам частот показал достаточный уровень подобию результатов физического и численного эксперимента с применением разработанных моделей (рис. 6).

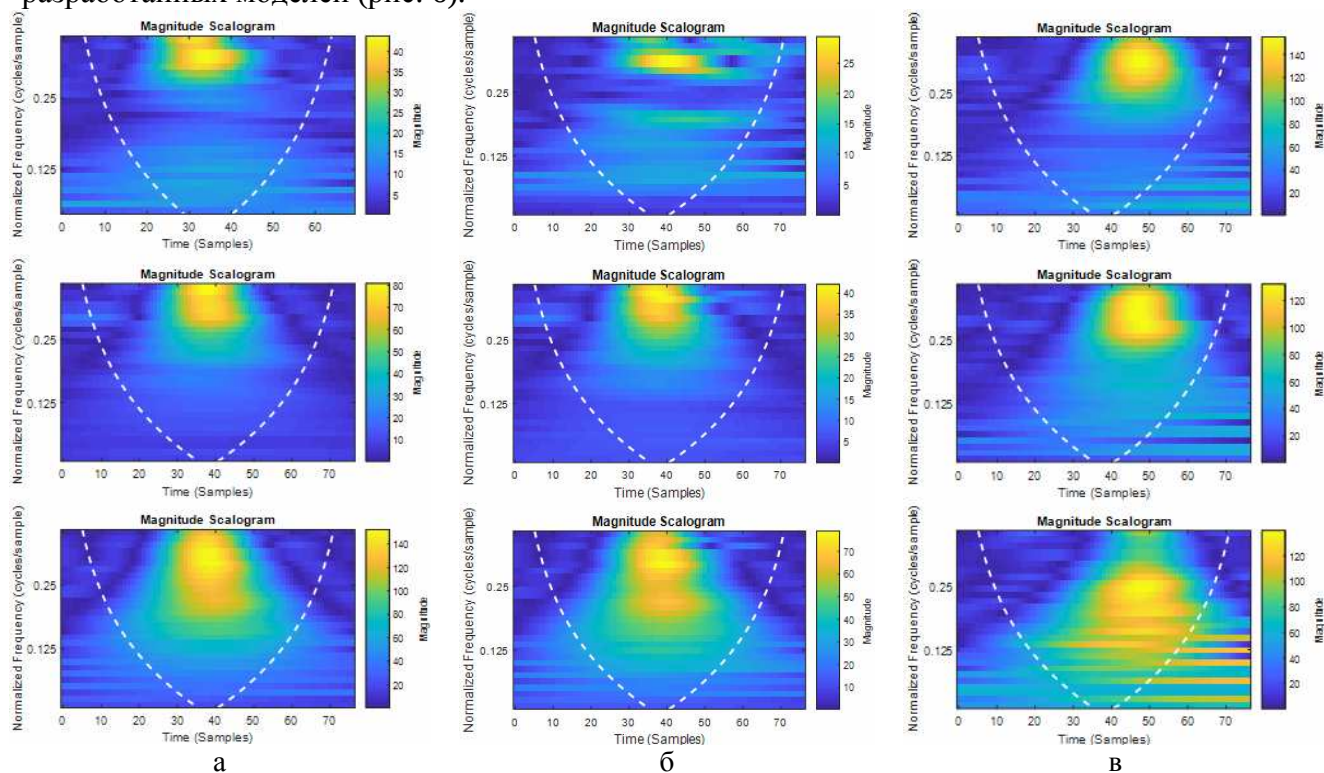


Рис.6. Сравнительный анализ колебательных процессов, полученных в результате численного и физического эксперимента: а – физический эксперимент; б – детализированная модель; в – редуцированная модель

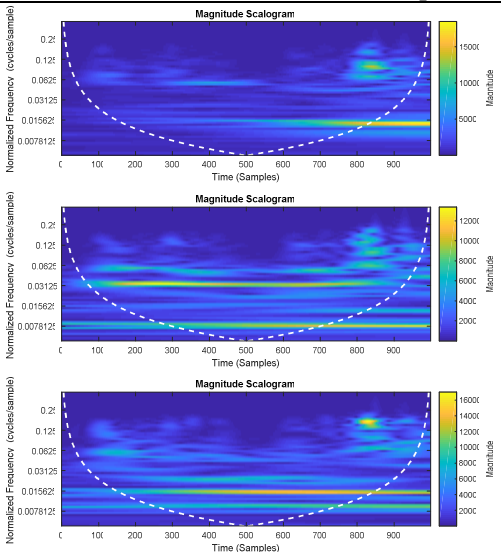
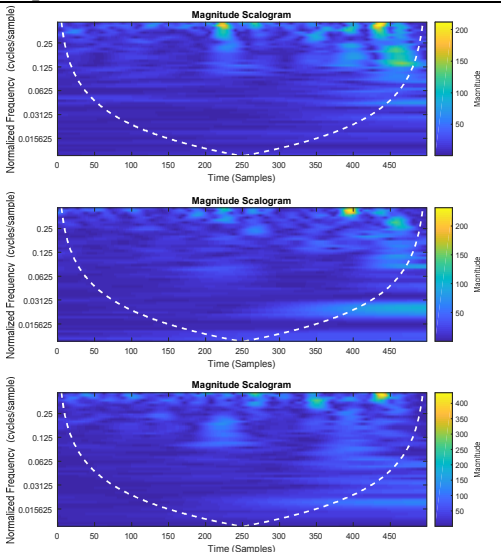
Таким образом, можно считать адекватным применение детализированной и редуцированной моделей для исследования колебательных процессов возникающих элементах лестничного полотна.

Результаты. С целью формирования поисковых образов мониторинговой системы были проведены компьютерные симуляции возникновения различных дефектов в элементах лестничного полотна. Для каждого варианта повреждения получены характерные картины изменения диссипации энергии вибрационных процессов в сравнении со штатным режимом работы оборудования. В качестве примера в таблице 1 приведены результаты обработки данных, полученных при моделировании процесса распрессовки звена одной из тяговых цепей эскалатора.

Картина спектральной плотности цепи слева подтверждает гипотезу нарушения симметрии нагружения поврежденного звена, колебательный процесс по отведению X (вдоль цепи) сопровождается высокочастотными осцилляциями практически по всему измеряемому диапазону частот, мощность относительно высокая. Справа цепь разгружена, поэтому наблюдаются колебания звеньев, сопровождаемые флуктуациями случайного характера.

Нарушение штатной кинематики зацепления оси ролика с зубом звездочки главного вала отражена на скалограммах КМВА: перегруженная цепь (справа) находится в натянутом состоянии, осцилляции минимальны, энергетические возмущения в виде коротких размытых конусов влияния в области низких частот (кратковременный глухой удар). Слева наблюдается безударное взаимодействие ролика цепи с зубом приводной звездочки, сопровождаемое высокочастотными осцилляциями (трение).

Табл. 1. Результаты математической обработки данных

Цепь слева (дефектная)	Цепь справа (исправная)
Скалограммы вейвлет-преобразования	
	
Детализирующие коэффициенты	
$E_x = 29,9238; 6,2955; 6,9139; 3,0651; 1,9160; 3,7336;$ $6,1414; 5,4669; 2,77694,8491; 4,5943; 2,6591; 2,4035;$ $5,3591; 6,8607; 7,0411.$ $E_y = 77,8169; 2,5257; 1,7365; 1,1246; 1,1285; 0,6768;$ $1,4871; 0,8930; 1,8495; 1,1367; 1,5905; 1,4037; 1,7344;$ $1,1645; 2,2645; 1,4672.$ $E_z = 96,5948; 0,2248; 0,2321; 0,2561; 0,1340; 0,1930;$ $0,1569; 0,1813; 0,2166; 0,4796; 0,3002; 0,2836; 0,0783;$ $0,1016; 0,3435; 0,2236.$	$E_x = 68,0342; 11,3449; 4,7146; 10,5035; 0,0280; 0,2770;$ $3,6394; 1,2204; 0,0209; 0,0094; 0,0158; 0,0051; 0,0419;$ $0,0338; 0,0451; 0,0661$ $E_y = 59,5901; 27,1281; 4,1200; 6,7943; 0,0217; 0,1951;$ $1,3943; 0,5741; 0,0038; 0,0027; 0,0131; 0,0045; 0,0195;$ $0,0689; 0,0322; 0,0377$ $E_z = 75,2598; 9,5569; 2,5977; 6,2713; 0,0272; 0,2807;$ $4,4458; 1,2437; 0,0056; 0,0034; 0,0447; 0,0079; 0,0116;$ $0,0080; 0,0389; 0,1967$

Характерное распределение образуют детализирующие коэффициенты КМВА. На поврежденном звене по отведению X наблюдается аномалия в виде значительного смещения энергии из полосы низких частот в область высоких, что является признаком наличия высокочастотных осцилляций. Этот признак однозначно определяет ослабление прессовой посадки валика и пластины или деформации геометрии звена.

Таким образом, на основе результатов компьютерного моделирования были определены диагностические образы характерных неисправностей оборудования (табл. 2).

Бортовая система контроля состояния может быть представлена программным кодом, реализующим имитационную модель функционирования оборудования, и связанной с ним мониторинговой информацией, получаемой с помощью трехкомпонентных пьезоэлектрических вибродатчиков, установленных в ключевых точках оборудования (рис. 7, а).

Табл. 2. Пример диагностических образов характерных неисправностей цепей

Исправное; состояние
$E_y = 94,9541; 2,3970; 0,4930; 0,7514; 0,0839; 0,1493; 0,1942; 0,4947; 0,0743; 0,0543; 0,0506; 0,0635;$ $0,0718; 0,0412; 0,0273; 0,0995$
Разрушение; боковой; пластины; звена; цепи
Зона; М
$E_y = 67,0965; 5,2265; 1,0542; 1,9155; 0,0374; 1,0284; 1,5127; 0,9930; 0,7045; 0,6458; 6,2528; 2,2076;$ $0,5949; 2,1210; 6,6026; 2,0065$
Зона; В
$E_y = 62,9677; 5,1522; 2,6247; 4,2809; 0,4134; 2,3839; 0,6593; 1,5775; 0,1932; 0,5253; 9,0798; 5,4744;$ $0,1052; 0,2318; 3,5939; 0,7368$
Зона; А
$E_y = 61,9758; 6,1573; 4,2317; 3,0219; 0,4085; 2,6086; 0,6062; 1,3958; 0,1637; 0,5146; 12,0438; 3,3717;$ $0,0259; 0,1235; 2,7232; 0,6279$

По результатам реализации сценариев генерируемых имитационной моделью, основываясь на изменении текущей картины процесса диссипации энергии, автоматизированная система (рис. 7, б) определяет горизонт прогноза заданного уровня надежности контролируемых элементов, и при необходимости выполняет функции упреждающего обслуживания – аварийное отключение оборудования в случае обнаружения тенденции формирования нештатной ситуации.

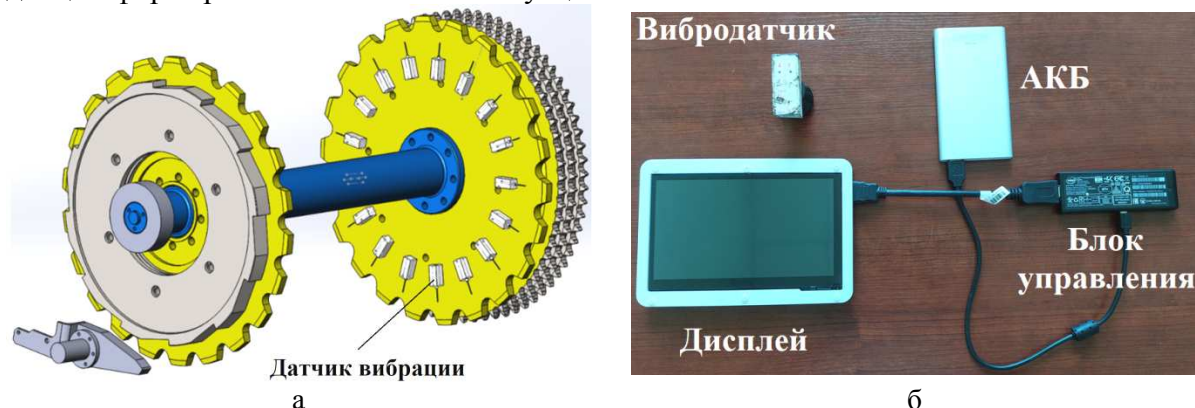


Рис. 7. Система мониторинга технического состояния лестничного полотна эскалатора:
а – расположение датчиков; б – оборудование для обработки данных

Практическая реализация предлагаемого метода сводится к следующему алгоритму: 1) снятие показаний отклика (виброускорение) в измерительных точках системы; 2) оценка стабильности вибрационных процессов по критерию Херста [10]; 3) вычисление детализирующих коэффициентов вейвлет – преобразования вибрации рассматриваемого узла; 4) принятие управленческого решения на основе сравнения текущего состояния оборудования с диагностическими образами исправного состояния и характерных дефектов.

Выводы и заключение

Разработанная автоматизированная система мониторинга, основанная на контроле изменения вибрационных процессов контактирующих элементов, позволяет повысить надежность работы эскалаторов метрополитена за счет заблаговременного выявления возникающих дефектов. Это позволит отказаться от проведения планового обслуживания и перейти на обслуживание по техническому состоянию.

Список литературы

1. Кожушко Г.Г. Эскалаторы. Пассажирские конвейеры: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2016. – 140 с.
2. Попов В.А., Коровин С.К., Уралов В.Л., Филин А.Н. Опыт экспертизы промышленной безопасности эскалаторов в Санкт-Петербурге // Вестник МАНЭБ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 36-46.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности эскалаторов в метрополитенах», утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 декабря 2020 г. № 488.
4. Филин А.Н. Спектральный анализ вибросигнала для определения технического состояния эскалаторных редукторов // Механизация строительства. – 2016. – Т. 77, № 1. – С. 21-24.
5. Филин А.Н. Определение уровней вибрации главных приводов тоннельных эскалаторов // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 35.
6. Ватулин Я.С., Попов В.А., Козлов М.Н. Оценка рисков при эксплуатации тоннельных эскалаторов, оборудованных аварийным тормозом с постоянным моментом // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 2. – С. 201-210.
7. ГОСТ Р 53387-2009. Лифты, эскалаторы и пассажирские конвейеры. Методология анализа и снижения риска. – М.: Стандартинформ, 2010. – 30 с.
8. Вахидов У.Ш., Согин А.В., Шапкин В.А., Шапкина Ю.В. Численные исследования колебаний узлов автомобилей // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 3. – С. 145-153.
9. Подклетнов С.Г. Применение методов преобразования Фурье и вейвлет-преобразования для вибродиагностики технического состояния тоннельных эскалаторов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2023. – Т. 16, № 5. – С. 24-32.

10. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2024613803 РФ. Программа обработки телеметрической информации технического состояния эскалаторов / М.Н. Козлов, В.Н. Дятлов, С.А. Метлякова, Я.С. Ватулин, А.А. Воробьев. – Заявка №2024612400 от 07.02.2024; зарег. 15.02.2024.

References

1. Kozhushko G.G. Escalators. Passenger conveyors: a tutorial. –Yekaterinburg: AMB Publ. house, 2016. – 140 p.
2. Popov V.A., Korovina S.K., Uralov V.L., Filin A.N. Experience of industrial safety examination of escalators in Saint-Petersburg // Bulletin of IAELPS. 2020, vol. 25, no. 1, pp. 36-46.
3. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules for escalators in metros", approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated December 3, 2020 No. 488.
4. Filin A.N. Spectral analysis of vibration signal to determine the technical condition of escalator gearboxes // Mechanization of construction. 2016, vol. 77, no. 1, pp. 21-24.
5. Filin A.N. Determination of vibration levels of main drives of tunnel escalators // Online Journal of Science Studies. 2017, vol. 9, no. 1, p. 35.
6. Vatulin Ya.S., Popov V.A., Kozlov M.N. Risk assessment during operation of tunnel escalators equipped with an emergency brake with a constant torque // Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University. 2020, no. 2, pp. 201-210.
7. GOST R 53387-2009. Elevators, escalators and passenger conveyors. Methodology of risk analysis and reduction. – М.: Standartinform, 2010. – 30 p.
8. Vakhidov U.Sh., Sogin A.V., Shapkin V.A., Shapkina Yu.V. Numerical studies of vibrations of car components // Proceedings of NSTU n.a. R.E. Alekseev. 2014, no. 3, pp. 145-153.
9. Podkletnov S. G. Application of Fourier transform and wavelet transform methods for vibration diagnostics of the technical condition of tunnel escalators // Bulletin of SpbSETU "LETI". 2023, vol. 16, no. 5, pp. 24-32.
10. Certificate of registration of computer program No. 2024613803 RU. Program for processing telemetric information on the technical condition of escalators / M.N. Kozlov, V.N. Dyatlov, S.A. Metlyakova, Ya.S. Vatulin, A.A. Vorobyov. – Appl. No. 2024612400 from 07.02.2024; reg. 15.02.2024.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Козлов Максим Николаевич – старший преподаватель кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»	Kozlov Maksim Nikolaevich – senior lecturer of the Department “Ground transportation and technological complexes”
Ватулин Ян Семенович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»	Vatulin Yan Semenovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department “Ground transportation and technological complexes”
Ватаев Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»	Vataev Andrej Sergeevich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department “Ground transportation and technological complexes”
Майоров Владимир Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»	Majorov Vladimir Sergeevich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department “Ground transportation and technological complexes”
kozlov_m.n@mail.ru	

Получена 06.12.2024