

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ

Козлов М.Н.

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

Ключевые слова: эскалатор, мониторинг, вибрационный контроль, имитационное моделирование, вейвлет-преобразование, колебания.

Аннотация. Предложена методика оценки состояния металлоконструкции и высоконагруженных узлов и элементов тоннельного эскалатора на основе анализа спектра их колебаний методами вейвлет-преобразования. Проведен анализ частотных спектров исправного и дефектного состояний несущей металлоконструкции, аварийного тормоза и лестничного полотна тоннельного эскалатора серии ЭС-04 методами физического эксперимента и имитационного моделирования. Представлена методика построения цифрового двойника узлов и элементов эскалатора.

APPLICATION OF SIMULATION MODELING FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF TUNNEL ESCALATORS

Kozlov M.N.

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

Keywords: escalator, monitoring, vibration control, simulation modeling, wavelet transform, oscillations.

Abstract. The article proposes a method for assessing the state of the metal structure and highly loaded units and elements of a tunnel escalator based on the vibration spectrum analysis using wavelet transform methods. The frequency spectra of normal and defective states of the supporting metal structure, emergency brake and stairway of the ES-04 series tunnel escalator are analyzed using physical experiment and simulation methods. The article presents a method for constructing escalator units and elements digital twins.

Традиционным способом оценки исправности состояния элементов эскалаторов является проведение периодических испытаний, по результатам которых можно определить соответствие функциональных свойств оборудования его паспортным характеристикам. Однако, проведение полноценных испытаний данного типа машин требует значительных материальных затрат и сложно в плане организации. Кроме того, предельное нагружение оборудования значительно снижает его ресурс.

В качестве альтернативы этому подходу может быть использована система мониторинга, непрерывно отслеживающая изменение диагностических параметров и приближение их к критическим значениям.

Осуществление натурных исследований эскалаторов с целью получения этих величин сопряжено с рядом ограничений по организации доступа, установки средств контроля физических процессов и реализации критических режимов эксплуатации.

С этой целью наиболее целесообразно применение имитационного моделирования исследуемого объекта, выполняемого в два этапа: статическое описание структуры (геометрическое моделирование) и динамическое описание - задание условий сопряжения структурных элементов и динамики их взаимодействия.

В качестве примера для реализации данного подхода был выбран эскалатор ЭС-04. Средствами программных комплексов SolidWorks и Comsol Multiphysics были созданы модели его металлоконструкции, аварийного тормоза, лестничного полотна (рис.1) и проведены симуляции их штатной работы и работы при возникновении различных дефектов с целью определения пороговых значений диагностических параметров [1,2].

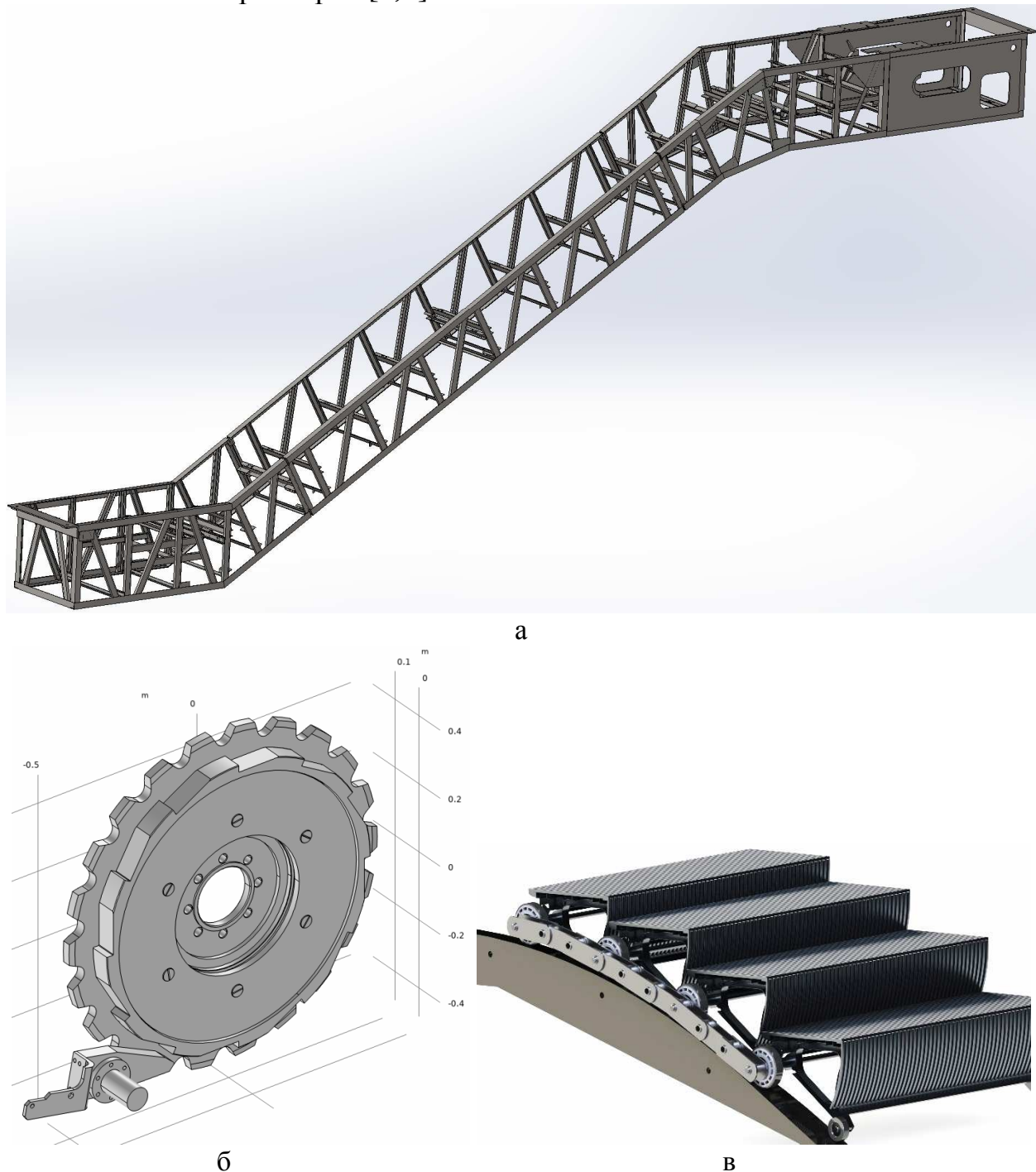


Рис. 1. Модели высоконагруженных узлов эскалатора: а – металлоконструкция, б – аварийный тормоз, в – лестничное полотно

Изменение технического состояния объекта (появление внутренних дефектов, ослабление разъемных соединений, юзовые процессы при движении полотна и т.д.) приводит к изменению характера вибрации элементов конструкции. Отслеживание этих изменений в измерительных точках наблюдаемых объектов по трем направлениям позволяет определять анизотропно-прочностные свойства объектов с высокой степенью достоверности [3, 4].

Обработка полученных данных осуществлялась с применением методов вейвлет-преобразований с целью выделения доминантной информационной составляющей из значительно зашумленного сигнала. Формализацию результатов математической обработки можно осуществить на основе структуры дерева диссипации энергии колебательного процесса, представляемой рядом детализирующих вейвлет-коэффициентов, характеризующих распределение энергии по полосам частот. Например, при анализе колебаний исправной металлоконструкции было установлено, что энергетически значимой является полоса низких частот (табл. 1). Изменение моды колебаний элемента, вызванное наличием дефекта, приводит к смещению колебательной энергии в область высокочастотных составляющих.

Табл. 1. Набор детализирующих вейвлет-коэффициентов

Ось	Вейвлет-коэффициенты
X	$E_e = 99.9834; 0.0007; 0.0018; 0.0022; 0.0009; 0.0012; 0.0011; 0.0011; 0.0008; 0.0017; 0.0007; 0.0011; 0.0007; 0.0009; 0.0009; 0.0006$
Y	$E_n = 67.9495; 1.3885; 2.6850; 2.4725; 1.4303; 1.9672; 1.8857; 1.6439; 1.7079; 7.3493; 1.7145; 2.4542; 1.5054; 1.3584; 1.2238; 1.2638$
Z	$E_v = 43.8479; 3.4854; 5.2171; 3.9711; 4.2814; 4.7464; 3.6431; 3.6135; 3.5035; 4.8119; 3.5899; 3.5080; 2.9342; 2.6683; 2.8304; 3.3479$

Применение средств автоматизированного проектирования позволяет произвести симуляции возникновения любых дефектов, а также аварийных сценариев и получить соответствующие наборы детализирующих коэффициентов для различных видов неисправностей оборудования.

Кроме того адекватно настроенная модель позволяет интерполировать промежуточные и экстраполировать вероятные состояния исследуемого объекта. Подобный подход позволяет отказаться от проведения полномасштабных натурных испытаний с нагружением конструкции до предельного состояния и тем самым сохранить ресурс по несущей способности конструкции в целом [4].

Таким образом, предложенный метод на основе использования цифрового двойника существующего эскалаторного оборудования, оснащенного средствами трансляции мониторинговых данных с реального объекта, позволяет реализовать переход на обслуживание эскалаторного оборудования по фактическому состоянию, свести к минимуму случаи внеплановых простоев эскалаторов и повысить уровень безопасности метрополитена в целом.

Список литературы

1. Ватулин Я.С., Ватаев А.С., Великанов В.М. Анализ технического состояния закладных металлических конструкций сооружений метрополитена средствами конечно-элементного моделирования // Материаловедение. Энергетика. – 2022. – Т. 28, № 2. – С. 29-42.

2. COMSOL Multiphysics v 6.0 Reference manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://doc.comsol.com/6.0/doc/com.comsol.help.comsol/COMSOL_ReferenceManual.pdf.
3. Сигов А.С., Сперанский А.А., Штыков А.Н., Бельский А.Б., Шалимов Л.Н., Манько Н.Г., Шестаков Г.В., Галушкин Ю.А., Сидорова М.И. Прецизионные гиперчувствительные квантово-волновые оптические методы широкополосного наблюдения механических и акустических колебаний геоинформационных и антропогенных систем // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление. – 2016. – Т. 12, № 1(30). – С. 54-70.
4. 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.

Сведения об авторе:

Козлов Максим Николаевич – старший преподаватель.