

УДК 656.076.2

## ИННОВАЦИОННЫЙ ВЕКТОР ЭФФЕКТИВНОЙ СТРАТЕГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ

*А.В. Ермилова<sup>1,2</sup>, Е.В. Будрина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>ГУП «Петербургский метрополитен»

Адрес для переписки: Ermilova.A@metro.spb.ru

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 12.03.2020, принята к печати 28.03.2020

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Ермилова А.В., Будрина Е.В. Инновационный вектор развития эффективной стратегии эксплуатации тоннельных эскалаторов // Экономика. Право. Инновации. 2020. № 1. С. 57–64.

**Аннотация:** В настоящее время метрополитены действуют в 56 странах мира, перевоза в общей сложности 168 млн. пассажиров в день (среднесуточные перевозки). Сегодня метрополитены оснащены всеми современными средствами подземной магистрали, и их неотъемлемой частью стали тоннельные эскалаторы. Основные функциональные свойства тоннельных эскалаторов должны обеспечивать безопасное, бесперебойное и комфортное движение пассажиров с установленными скоростями на протяжении всего длительного срока эксплуатации.

Статья посвящена вопросам безопасной эксплуатации тоннельных эскалаторов в соответствии с ключевыми трендами цифровой трансформации в транспортной области: «индустриальный Интернет вещей» (IoT), автоматизация и «технология больших данных» (Big Data), создание цифрового двойника (Digital Twin) с системой «умных датчиков» (Smart Sensor). В настоящее время во многих странах происходит переход на эффективную модель упреждающего обслуживания с использованием цифровых двойников, которые проводят точный мониторинг состояния оборудования при помощи семейства умных датчиков и сенсоров, которые обрабатываются на облачных приложениях и задействуют ресурсы больших данных для анализа диагностической информации с целью повышения надежности эксплуатации и эффективности обслуживания и ремонта метрополитена, а также входящих в его состав эскалаторов.

В статье представлен анализ результатов вибродиагностики с применением метода огибающей (данные ГУП «Петербургский метрополитен») и предварительный анализ процесса оптимизации стоимости жизненного цикла по упреждающей методике диагностики эскалаторов. Основная система показателей, включая положительный экономический эффект, будет достигнута благодаря применению передовых технологий упреждающего подхода с использованием непрерывного сбора данных с датчиков и их анализа для достижения ежегодного долгосрочного социально-экономического эффекта, снижения удельной стоимости жизненного цикла за счет увеличения межремонтного периода и сокращения затрат и расходов на обслуживание, включая сокращение роста развития критических необратимых процессов, что повышает вероятность безотказной работы по отношению к простоям, отказам и дает сокращение целевого показателя аварийности для эскалаторов метрополитена.

**Ключевые слова:** метрополитен, тоннельный эскалатор, безопасность, аварийные ситуации, мониторинг, вибродиагностика

## INNOVATIVE VECTOR OF DEVELOPMENT OF EFFECTIVE STRATEGY FOR TUNNEL ESCALATOR OPERATING

*A. Yermilova<sup>1,2</sup>, E. Boudrina<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ITMO University

<sup>2</sup>St. Petersburg Metro SUE

Corresponding authors: Ermilova.A@metro.spb.ru

### Article info:

Received 12.03.2020, accepted 28.03.2020

Article in Russian

**For citation:** A. Yermilova, E. Boudrina. Innovative vector of development of effective strategy for tunnel escalator operating. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2020. No. 1. pp. 57–64.

**Abstract:** Nowadays the metro is operating in 56 countries of the world, carrying 168 million passengers per day in total (average daily transportation). Today, the metro is equipped with all modern underground highway facilities and the tunnel escalators have become an integral part of them. The main functional properties of tunnel escalators should ensure safe, uninterrupted and comfortable movement of passengers at the set speeds throughout the long service life.

The article is devoted to safe operation of tunnel escalators in accordance with the key trends of digital transformation in the transport field: Industrial Internet of Things, automation and Big Data technology, creation of Digital Twin with Smart Sensor system. Now in many countries there is a shift to an effective model of proactive maintenance using digital counterparts. They accurately monitor the condition of the equipment by means of a family of smart sensors equipped with a digital interface. They are processed on cloud applications using big data resources to analyze diagnostic information in order to improve the reliability and efficiency of metro maintenance and repair as well as its component escalators. The article presents the analysis of the results of vibration diagnostics using the envelope method by State Unitary Enterprise "St. Petersburg Metro", and preliminary analysis of the process of optimization of the life cycle cost by the proactive method of diagnostics of escalators – operation with maintenance according to vibration diagnostics.

The core set of indicators, including the positive economic impact, will be achieved through the adoption of advanced technologies of a proactive approach using continuous sensor data collection and analysis to achieve an annual long-term socio-economic impact, reducing the specific cost of the life cycle by increasing the inter-repair period and reducing maintenance costs and expenses, including reducing the growth of critical irreversible processes, which increases the likelihood of failure-free operation relative to downtime, failures and gives a reduction in the accident target for metro escalators.

**Keywords:** metro, tunnel escalator, safety, emergency situations, monitoring, vibration diagnostics

**Введение.** В условиях современного мегаполиса метрополитен как городская внеуличная железная дорога является одним из самых надежных, комфортабельных, беспрочных, безаварийных, скоростных, а также экологически чистых видов транспорта с высоким уровнем обслуживания и уникальным архитектурно-художественным обликом.

Транспортная инфраструктура метрополитена Санкт-Петербурга занимает ведущие места по общему пассажиропотоку, по длине эксплуатируемых линий, по глубине залегания станций, техническому состоянию, технической оснащенности. В связи с открытием новых станций постепенно увеличивается и количество новых тоннельных эскалаторов, находящихся в эксплуатации, при этом средний возраст эскалаторов составляет 25 лет.

Важным элементом в оптимизации планирования расходов на содержание и ремонт является мониторинг, контроль и прогноз изменения технического состояния оборудования в течение всего срока службы, для этого необходима адаптация решений Big Data при построении дата центров в службе метрополитенов с целью интеграции, синхронизации и анализа технической информации.

Для повышения объективности прогноза необходимо, чтобы мониторинг и диагностика осуществлялись цифровым путем с интеллектуальной обработкой многопараметрических характеристик и технико-эксплуатационных показателей.

**Состояние и проблемы развития метрополитена в общегородских пассажирских перевозках.** Системы метрополитена, являются важными факторами, способствующими массовому передвижению людей во многих крупных городах мира, значительно разгружают городские магистрали от транспорта. Первый метрополитен был введен в эксплуатацию в Лондоне в 1863 г. Позже метрополитены были сооружены в Нью-Йорке, Париже, Берлине.

К настоящему времени метрополитены действуют в 56 странах мира (+55% за 40 лет), перевоза в общей сложности 168 млн пассажиров в день (среднесуточные перевозки). Страны «миллиардники» выбирают приоритетный вид городского транспорта – метрополитен – с учетом экологических критериев урбанизированной территории, прирост с 2000 года составил 75 новых метро (+70% за 10 лет). Основной скачек в развитии транспортной системы метрополитенов происходит за счет нового строительства станций и линий в азиатских странах [1].

Ведущие страны мира внедряют концепцию «Умного города» и в транспортную систему метрополитена и эскалаторов, включая инновационные сервисы с камерами видеонаблюдения и системой мониторинга с «умными» датчиками для безопасности и надежности.

Изучение перспективы инвестиционного и инновационного развития транспортного

комплекса крупных городов в условиях нестабильности мировой экономики и сокращенного финансирования является сложной многокритериальной задачей, требующей долгосрочных и крупных финансовых инвестиций с оценкой рисков, доходности проекта, создаваемых, как правило, в настоящее время, в рамках проектов с государственно-частным партнерством (ГЧП) в форме концессии.

**Опыт использования эскалаторного оборудования в метрополитенах.** Сегодня метрополитены оснащены всеми современными средствами подземной магистрали, и неотъемлемой частью их стали эскалаторы. Эскалаторы в метрополитенах предназначены для осуществления перемещения пассажиров с одного уровня на другой. Необходимо понимать всю революционную идею эскалатора: как высотные здания без лифтов, так и метро без эскалаторов были бы непригодным к массовому использованию.

Основная конструктивная форма всех новейших эскалаторов ведущих иностранных производителей и их многочисленные изобретения и защищенные «инновационные патенты» почти не претерпела существенных изменений по сравнению с классическим дизайном, представленным свыше 100 лет назад в ранних патентах гениальных инженеров механиков.

В соответствии с ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», эскалаторы относятся к категории технических устройств, используемых на опасных производственных объектах.

По данным анализа Петербургского метрополитена за период 2012 г. (2018) г. эксплуатируется 251 (281) шт. эскалаторов 19 типов, включая основные типы с высотой подъема до 65 м: ЛТ-1, ЛТ-2 и ЛТ-3 при скорости движения ленты 0,9 м/с – 89 (86) шт. (35–31%); ЭТ-2, ЭТ-2М, ЭТ-3, ЭТ-5, ЭТ-5М при скорости движения ленты 0,94 м/с – 107 (107) шт. (43–38%); прочие – 55 (88) шт. (22–31%).

Эксплуатируемые типы эскалаторов Петербургского метрополитена различаются по заводам изготовителям, ранжируются высотой подъема, скоростью движения ленты, мощностью двигателя главного вала, конструкций основных механизмов и схемой электропривода.

В результате недофинансирования в течение многих лет работ по обновлению транспортной инфраструктуры в России общий износ основных фондов по состоянию на 2019 г. составил около 71%, данная проблема характерна для всего транспортного комплекса. В 2018 году согласно плану капитального ремонта было отремонтировано 23 эскалатора (8%). Одна из важнейших характеристик современного состояния эскалаторов – это их массовое старение: основные типы ЛТ и ЭТ, составляющие 78% от всех эксплуатационных типов эскалаторов, были установлены в среднем более, чем 45 лет назад, а тип ЭМ – свыше 65 лет.

Специфические технико-эксплуатационные показатели, связанные с высоким показателем износа оборудования свыше 80%, с эксплуатацией старых аналогов конструкций со средним возрастом эскалаторов свыше 25 лет (в том числе, с различными производителями, мощностями электродвигателя, типом передачи к главному валу), требуют индивидуального подхода к организации и технологии технического обслуживания.

**Системы мониторинга эскалаторного оборудования.** Анализ патентов и научных статей показывает, что предупреждение аварий и катастроф лифтового оборудования решается путем применения комплексной системы мониторинга с использованием следующих методов неразрушающего контроля: виброакустического мониторинга (СВАМ); оптической диагностики с фотоприемниками; магнитометрии, магнитной памяти металла (МПМ); тепловизионного контроля.

Основные системы мониторинга, описанные в отечественных и зарубежных патентах, предлагают следующие инновации:

- в области построения энергосберегающей облачной модели управления средой метрополитена на основе Интернета вещей и big data (патент CN110263407);

- метод магнитной памяти металла, который был использован для диагностирования эскалаторов ЭТХ-3/75 (патент RU155669);

- устройство контроля вибрации редуктора методом спектрального анализа (патенты RU167483, RU174229, RU169944);

- система автоматического управления эскалаторами с обеспечением безопасности с

применением лазерных измерительных систем (патент CN204897066);

– бесконтактное устройство синхронного управления скоростью между подвижными элементами эскалатора с применением оптических датчиков (патент CN107986125);

– система бесконтактных датчиков приближения в основе мониторинга за ступенями эскалатора (для обнаружения отсутствующей ступени, патент RU2011140753).

К числу основных инновационных технологий, предлагаемых к использованию при реализации уникальных проектов транспортной инфраструктуры в рамках концепции «умного города» на базе перспективных информационных технологий, относят: всеобъемлющий интернет, связь 5G, «индустрия 4.0», «индустриальный Интернет вещей» (IoT), автоматизация и «технология больших данных» (Big Data) и др. Данные технологии позволяют применять искусственный интеллект на метрополитене, в том числе и в области лифтового и эскалаторного оборудования [2, 3].

Многие страны считают развитие инноваций и искусственного интеллекта национальным приоритетом. Искусственный интеллект (ИИ) в последнее время стал главным трендом в американских и китайских деловых кругах среди технических специалистов. Распределение по основным областям (по опубликованным статьям по теме ИИ на дату обращения к документу в сети Интернет, 14.01.2019 в БД «Scopus»): компьютерная область – 42,9%, математика – 17,8%, инженерное проектирование – 16,7%, медицина – 3%. На Китай и США приходится уже 70 % научных статей в сфере искусственного интеллекта, в том числе это распределение является неизменным и для области метрополитена. Алгоритмическая система искусственного интеллекта уже применена оператором железнодорожной системы (MTR) в условиях метрополитена Гонконга для определения приоритетности и детализации технического обслуживания, распределения экономических, материальных и людских ресурсов.

Рассмотрим немногочисленные примеры применения интегрированных вариантов системы мониторинга с механизмами самодиагностики для эскалаторов. Новая интеллектуальная система управления энергией

SEAM4US для станций метрополитена в Испании. Система реализует решения искусственного интеллекта для автономного управления. Наибольший эффект энергосбережения был достигнут в вентиляционной системе ( $30,6\% \pm 2,0\%$ ), системе освещения ( $24,1\% \pm 1,9\%$ ) и для эскалаторов ( $8,5\% \pm 1,9\%$ ) [4].

В Финляндии предложили вести анализ энергоэффективности для эскалаторов, основанный на датчиках подсчета числа пешеходов, который в дальнейшем стал полезным инструментом для контроля состояния эскалаторов и корректировки их энергосберегающих настроек [5].

Метрополитен относится к особо опасным и технически сложным объектам. Основная проблема состоит в том, что он укомплектован устаревшим эскалаторным оборудованием, а, следовательно, необходимо внедрение инновационных технологий для реализации индивидуальной стратегии, основанной на объективных данных о техническом состоянии узлов и деталей, таких как результаты вибродиагностики и тепловой контроль электрооборудования, для снижения эксплуатационных затрат и повышения безопасности.

**Анализ методов и методик производства ремонтных работ эскалаторного оборудования.** Основной функцией технического диагностирования, связанной с определением технического состояния, является не только обеспечение безопасности, но и длительная работоспособность с наименьшими затратами в течение всего жизненного цикла (уменьшение расходов на содержание, снижение затрат на замену оборудования, получивших необратимое техническое состояние в результате внезапных отказов оборудования, ЧП, аварий).

Основой диагностического обеспечения технического состояния являются системы централизованного контроля для оценки состояния технической сложной системы, принятия решений в условиях ограниченной информации о параметрах возможных дефектов, (геометрические и физические особенности дефекта: вид, формы, размеры и местоположение), степени повреждения и их развития.

Основными нормативными документами в сфере деятельности эскалаторов для

обеспечения технического обслуживания эскалаторов ГУП «Петербургский метрополитен» являются: СТО ПГУПС-10-112-ЭС-2014 «Методические рекомендации по обследованию технического состояния и расчету остаточного ресурса с целью определения возможности продления срока безопасной эксплуатации эскалаторов Петербургского метрополитена», «Руководства по ремонту эскалаторов РР-ЭС 002-17», введенный в действие приказом начальника метрополитена от 13.11.2017 № 1759; профессиональный стандарт "Электромеханик по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту эскалаторов и пассажирских конвейеров", утвержденный приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1160н и инструкции по техническому обслуживанию различных серий эскалаторов.

Существующие методы контроля приводной группы тоннельных эскалаторов, учитывая почти круглосуточный режим работы (до 20 часов), значительно устарели. В течение последних десятилетий в связи с развитием компьютерных технологий разработаны эффективные инновационные алгоритмы и программы автоматического безразборного диагностирования при эксплуатации эскалатора, которые теоретически снижают трудоёмкость и повышают достоверность диагностирования в 1,5-2 раза.

Развитие прогрессивных методов возможно только при условии развития наукоёмких технологий, в результате проведения большого объема статистических исследований. Параметрическое обеспечение косвенных методов оценки возможно по двум ключевым показателям (температуры и вибрации) и, соответственно, двум универсальным методам контроля технического состояния (тепловой и виброакустический).

Метод контроля состояния вращающихся машин по различным зонам вибрационных состояний изложен в ГОСТ Р ИСО 10816-1. Основным недостатком состоит в том, что данный стандарт не учитывает конструктивные особенности основных типов эскалаторов и данные эксплуатирующих организаций и заводов изготовителей.

Существует тесная взаимосвязь и регрессионные зависимости от степени износа, дефектов, наработки эскалатора, класса машин,

технического состояния (зоны), степени аварийности и необходимых ремонтных мероприятий. А также существуют нормы заводов-изготовителей, длительная статистика наблюдений за дефектами по основным группам машин, которая вносит свою обоснованную корректировку. Значения границ зон вибрационных состояний для основных типов дано в работах Филина А.Н. [6, 7].

**Исследование и обоснование необходимости создания диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.** Проект RFID (радиочастотная идентификация) был развернут компании *CoreRFID Ltd.* в Лондонском метрополитене в 2008-2010 г. Способом автоматической идентификации объектов с применением RFID-меток можно было отслеживать местоположение ступеней во время движения, контролировать скорости движения. Экономия рабочего времени после идентификации ступеней эскалатора в Лондоне составила почти 7 раз [8].

Яркий пример внедренной инновационной технологии – лондонская подземка, где с 2020 года началось внедрение технологии на основе Интернета вещей на 270 станциях метрополитена, что позволило на 30 % повысить эффективность метрополитена.

Для размещения интеллектуальных приложений была подключена компания CGI (Британская компания по установке и обслуживанию систем радиосвязи, телекоммуникаций и Интернета), которая на базе гибкой платформе облачных вычислений Microsoft (Windows) Azure осуществила переход к упреждающей модели обслуживания, включающей дистанционный мониторинг на основе датчиков, и обеспечила надежное хранение аналитических данных о функционировании и закономерностях работы системы эскалаторов.

Метрополитен Лос-Анджелеса привлек SoftwareONE с платформой PyraCloud по мониторингу и управлению бюджетными расходами, портфелем ПО и облачными сервисами с целью получить прозрачную модель и оптимизацию всех поставщиков и структурных подразделений.

В Индии компания Maha Metro внедрила систему управления цифровыми проектами при помощи единой среды данных OpenRail (CDE) от Bentley, с записью данных онлайн

на протяжении всего жизненного цикла. Размещенные теги активов (метки) используются для связи приложений Bentley с другим программным обеспечением. Данная интероперабельность позволяет создать и связать новую реальность с 3D-моделями. Инновационное управление объектами в метрополитене увеличивает срок службы, повышает производительность, экономит энергию и обеспечивает безопасность пассажиров. Предварительные экономические расчеты эффективности разработки и реализации данной стратегии составляют 222 млн. долларов США в течении 25 лет.

В результате проведенного патентного поиска на дату 21.01.2020 года были выявлены аналоги по созданию упреждающих методов управления для обеспечения безопасной эксплуатации эскалаторов. Запатентованное ведущим университетом КНР устройство (патент CN107651550) приборного контроля технического состояния и предупреждения о неисправностях эскалатора имеет по описанию простую структуру, низкую стоимость, простоту монтажа и высокую универсальность; выявляет неисправности и скрытые дефекты, отслеживает и анализирует динамику состояния технологического оборудования в реальном масштабе времени.

В настоящее время во многих странах происходит переход на эффективную модель упреждающего обслуживания с использованием цифровых двойников, которые проводят точный мониторинг состояния оборудования при помощи семейства умных датчиков и сенсоров, которые обрабатываются на облачных приложениях, задействуя ресурсы больших данных для анализа диагностической информации с целью повышения надежности эксплуатации и эффективности обслуживания и ремонта метрополитена, а также входящие в его состав эскалаторы. Совершенствование технического обслуживания включает принятие мер упреждающего характера в целях недопущения раннего преждевременного физического износа эскалаторного оборудования, ЧС, простоев и аварий.

По данным 20-летнего опыта работы

специалистов метрополитена СПб, около 50% поломок машин связаны с расцентровкой валов. Согласно статистике, для электродвигателей и насосного оборудования доля несоосности в причинах отказа достигает 60%.

Приведем примеры диагностической интерпретации результатов контроля вибросостояния с применением метода огибающей для диагностики привода эскалатора ЭТ-2 №1 станции «Ладожская» СПб в августе 2018 г. По результатам измерений были выявлены слабые дефекты зацепления шестерен и зубчатых колес первой ступени редуктора. На Рисунке 1 представлен спектр огибающей сигнала ES10000 400/0,15625 дБ (м/с<sup>2</sup>), где обнаружены диагностические признаки развития дефекта внутреннего кольца подшипника главного вала редуктора. На Рисунке 2 показаны гармонические составляющие, которые характеризуют работу электромагнитной системы электродвигателя и являются признаком исправного технического состояния электромагнитной системы. При этом отмечается модуляция зубцовой частоты двойной частотой питания, что говорит о статическом эксцентриситете воздушного зазора (смещении ротора относительно статора). Учитывая величину гармоник, можно сделать вывод о слабом уровне развития дефекта, следовательно, не требующего принятия срочных мер по его устранению.

Записанные данные мониторинга и диагностики в базе данных компьютера позволяют не только проследить динамику изменения параметров, но создать единый архив эксплуатационно-технической информации по основным типам эскалаторного оборудования.

Основные экономические показатели нового проекта по системе мониторинга и диагностики технического состояния электродвигателя и редуктора эскалаторов могут быть рассмотрены с оценкой условного риска аварийности. Тогда, согласно опыту наблюдения, надзора и эксплуатации аварийных случаев и тяжести ущерба, стоимость работ при отказе главного вала составляет около 1 млн. рублей.

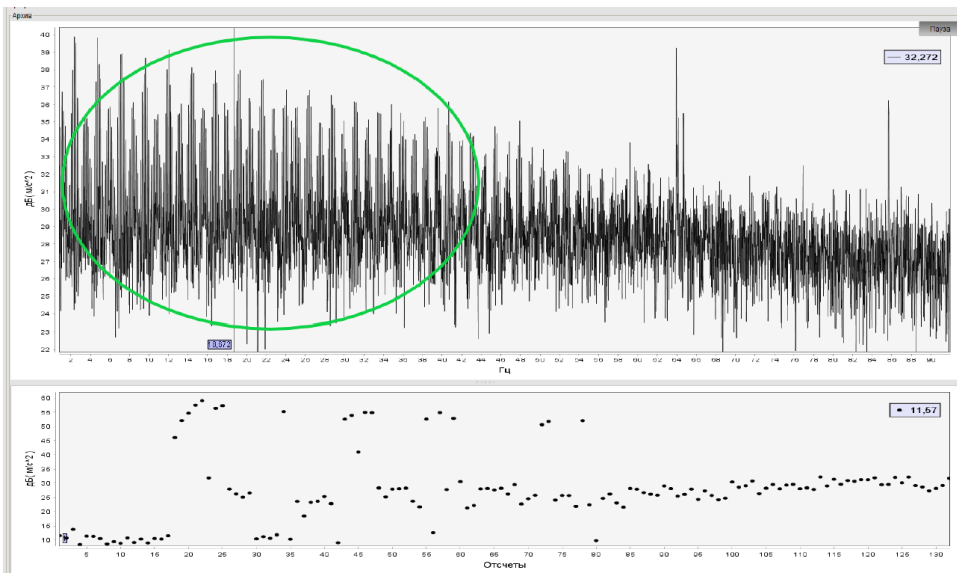


Рисунок 1. Спектр огибающей сигнала фиксирует диагностический признак дефекта подшипника

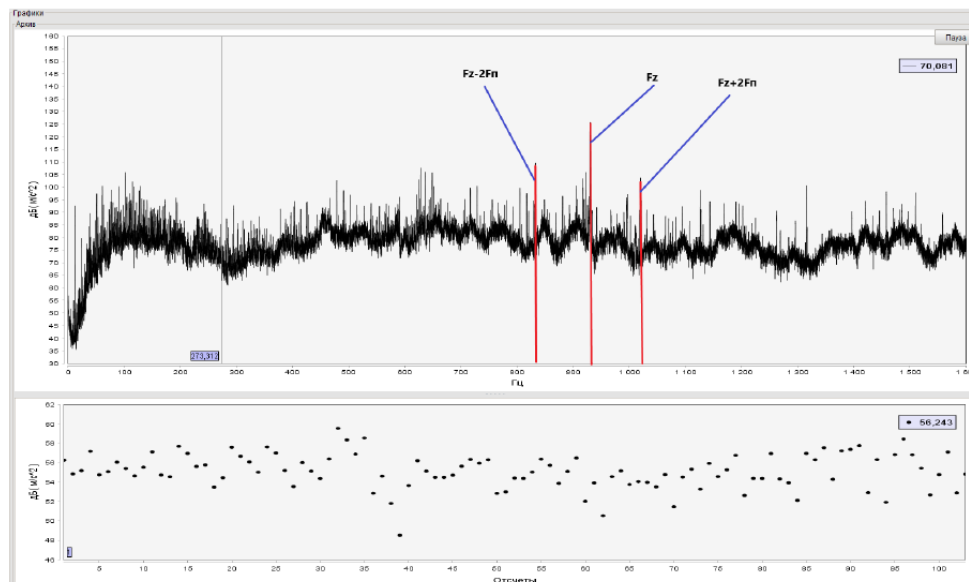


Рисунок 2. Спектр огибающей с гармоничной работой электромагнитной системы электродвигателя

**Основные выводы.** Предварительные показатели системы мониторинга и диагностики тоннельных эскалаторов: рентабельность инвестиций в инновацию – 5-10%; достижение ежегодного долговременного социально-экономического эффекта – 5-10%; снижение удельной стоимости жизненного цикла за счет увеличения межремонтного периода и сокращение затрат и расходов на обслуживание, включая энергосбережение – 30%; сокращение роста развития критических необратимых процессов, что повышает вероятность безотказной работы по отношению к

простоям, отказам и дает сокращение аварийности – 60%.

Совокупный эффект от реализации проекта для ГУП «Петербургский метрополитен» будет состоять в снижении эксплуатационных расходов, увеличении долговечности сложной системы конструктивных элементов машин и механизмов эскалаторов при обеспечении гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса пассажиров, осуществляемого подземным городским пассажирским общественным транспортом.

**Список литературы:**

1. Statistics Brief with world metro figures, Union Internationale des Transports Publics (UITP). Available at: [https://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/Statistics%20Brief%20-%20World%20metro%20figures%202018V4\\_WEB.pdf](https://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/Statistics%20Brief%20-%20World%20metro%20figures%202018V4_WEB.pdf) (in Eng)
2. J. Beebe. Integration of lift systems into the internet of things and the need for an open standard information model. *Symposium on Lift and Escalator Technologies*. 2016. No. 6, article 5. (in Eng)
3. The internet of things, big data, machine learning, and the lift and escalator industry. *Symposium on Lift and Escalator Technologies*. 2015. No. 1. pp. 203–208. (in Eng)
4. M. Casals, M. Gangolells, N. Forcada, M. Macarulla, A. Giretti, M. Vaccarini. SEAM4US: An intelligent energy management system for underground stations. *Applied Energy*, 2016. No. 166, pp. 150–164. DOI:10.1016/j.apenergy.2016.01.029 (in Eng)
5. J. Kuutti, R. Sepponen, P. Saarikko. Escalator power consumption compared to pedestrian counting data. International Conference on Applied Electronics (AE), Pilsen, Czech Republic, September 10–12, 2013. ed. / Jiri Pinker. Pilsen, Czech Republic: University of West Bohemia, 2013. p. 169–172. (in Eng)
6. Бардышев О. А., Филин А. Н. Определение зон вибрационных состояний главных электродвигателей приводов тоннельных эскалаторов // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы. Сборник трудов № LXXVI. 2016. С. 295–303.
7. Филин А. Н. Определение уровней вибрации главных приводов тоннельных эскалаторов // Наукоеведение. 2017. № 1. С. 1–6.
8. Rhea Wessel. At the London Underground, RFID Keeps Escalators Moving to expedite maintenance, each step on every escalator is getting an EPC Gen 2 passive tag. Available at: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4853> (in Eng)

**References:**

1. Statistics Brief with world metro figures, Union Internationale des Transports Publics (UITP). Available at: [https://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/Statistics%20Brief%20-%20World%20metro%20figures%202018V4\\_WEB.pdf](https://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/Statistics%20Brief%20-%20World%20metro%20figures%202018V4_WEB.pdf) (in Eng)
2. J. Beebe. Integration of lift systems into the internet of things and the need for an open standard information model. *Symposium on Lift and Escalator Technologies*. 2016. No. 6, article 5.
3. The internet of things, big data, machine learning, and the lift and escalator industry. *Symposium on Lift and Escalator Technologies*. 2015. No. 1. pp. 203–208.
4. M. Casals, M. Gangolells, N. Forcada, M. Macarulla, A. Giretti, M. Vaccarini. SEAM4US: An intelligent energy management system for underground stations. *Applied Energy*, 2016. No. 166, pp. 150–164. DOI:10.1016/j.apenergy.2016.01.029
5. J. Kuutti, R. Sepponen, P. Saarikko. Escalator power consumption compared to pedestrian counting data. International Conference on Applied Electronics (AE), Pilsen, Czech Republic, September 10–12, 2013. ed. / Jiri Pinker. Pilsen, Czech Republic: University of West Bohemia, 2013. p. 169–172.
6. O. Bardyshev, A. Filin. Determination of zones of vibration states of main electric motors drives of tunnel escalators. *Transport: problemy, idei, perspektivy. Sbornik trudov № LXXVI*. 2016. pp. 295–303. (in Rus)
7. A. Filin. Determination of vibration levels of the main drives of tunnel escalators. *Naukovedeniye*. 2017. No. 1. С. 1–6. (in Rus)
8. Rhea Wessel. At the London Underground, RFID Keeps Escalators Moving to expedite maintenance, each step on every escalator is getting an EPC Gen 2 passive tag. Available at: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4853> (in Eng)