

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**“Национальный исследовательский университет ИТМО”**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА**  
**ЭСКАЛАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Автор Ермилова Алина Владимировна \_\_\_\_\_  
(Фамилия, Имя, Отчество) (Подпись)

Направление подготовки (специальность) 27.04.05 \_\_\_\_\_  
(код, наименование)

Инноватика \_\_\_\_\_

Квалификация Магистр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, магистр, инженер)\*

Руководитель ВКР Будрина Е.В. д.э.н. профессор \_\_\_\_\_  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

Обучающийся Ермилова Алина Владимировна

(ФИО полностью)

Группа U42751 Факультет/институт/кластер Факультет технологического менеджмента и инноваций

Направленность (профиль), специализация Инновационные транспортные системы, Инновационные транспортные технологии

Консультант (ы):

а) \_\_\_\_\_  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

б) \_\_\_\_\_  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

ВКР принята “   ”     20     г.

Оригинальность ВКР     %

ВКР выполнена с оценкой    

Дата защиты “   ”     20     г.

Секретарь ГЭК \_\_\_\_\_  
(ФИО) (подпись)

Листов хранения    

Демонстрационных материалов/Чертежей хранения

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**"НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО"**

**УТВЕРЖДАЮ**

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_ (Фамилия, И.О.)

\_\_\_\_\_ (подпись)

« \_\_\_\_ » « \_\_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

**Обучающийся** Ермилова Алина Владимировна \_\_\_\_\_  
(ФИО полностью)

**Группа** U42751 \_\_\_\_\_ **Факультет/институт/кластер** Факультет технологического менеджмента и инноваций

**Квалификация** магистр \_\_\_\_\_  
(магистр, инженер, бакалавр)\*\*

**Направление подготовки** 27.04.05 Инноватика \_\_\_\_\_  
(код, название направления подготовки)

**Направленность (профиль) образовательной программы** Инновационные транспортные системы \_\_\_\_\_

**Специализация** Инновационные транспортные технологии \_\_\_\_\_

**Тема ВКР** «Проект системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования»

**Руководитель** Будрина Елена Викторовна, Университет ИТМО, д.э.н., профессор, ординарный профессор, Руководитель НР ОП магистратуры Инновационное предпринимательство, ФТМИ, Университета ИТМО  
(ФИО полностью, место работы, должность, ученая степень, ученое звание)

**2 Срок сдачи студентом законченной работы** до « 20 » « мая » 2020г.

**3 Техническое задание и исходные данные к работе**

Целью исследования является разработка проекта внедрения системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.

В соответствии с указанной целью исследования в данной работе поставлены следующие задачи:

1. Выявить и оценить проблемы в эксплуатации эскалаторного оборудования, причины отказов, методы и средства диагностики и мониторинга отказов и работоспособности;
2. Проанализировать и уточнить классификацию существующих тоннельных эскалаторов;
3. Изучить новые системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования;
4. Изучить системы упреждающего обслуживания эскалаторного оборудования, обеспечивающие безотказность его работы;

5. Разработать проект по внедрению системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.

#### **4 Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов)**

1. Исследование мирового опыта использования подъемно-транспортного оборудования в метрополитенах

2. Обзор условий и особенностей использования и эксплуатации эскалаторного оборудования в условиях метрополитена г. Санкт-Петербург

3. Изучение и анализ инновационных методов и инструментов контроля диагностики состояния эскалаторного оборудования

4. Анализ методов и методик производства ремонтных работ эскалаторного оборудования

5. Исследование и обоснование необходимости создания системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования

6. Техническое обследование структуры и состава системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования

7. План установки оборудования тестирования и результаты тестирования

8. Прогноз эффективности системы по техническим, технологическим и экономическим параметрам

9. Оценка технико-экономических эффектов от использования новой технологии диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования

#### **5 Перечень графического материала (с указанием обязательного материала)**

Таблицы, рисунки, диаграммы, схемы

#### **6 Исходные материалы и пособия**

Научно-исследовательские статьи, монографии, публикации и научные пособия в области эскалаторного оборудования.

**7 Дата выдачи задания « 28 » « декабря » 2019г.**

Руководитель ВКР Будрина Е.В. \_\_\_\_\_  
(подпись)

Задание принял к исполнению Ермилова А.В. \_\_\_\_\_ « 28 » « декабря » 2019г.  
(подпись)

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**"НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО"**

## АННОТАЦИЯ

### ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

**Обучающийся** Ермилова Алина Владимировна \_\_\_\_\_  
(ФИО)

**Наименование темы ВКР:** Проект системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования \_\_\_\_\_

**Наименование организации, где выполнена ВКР** Университет ИТМО \_\_\_\_\_

### ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1 Цель работы – Является обеспечение безопасности при массовых перевозках пассажиров метрополитенами и принятие оперативных упреждающих мер по раннему выявлению и предупреждению отказов, неисправностей путем проведения своевременных контрольно-диагностических работ в целях недопущения преждевременного физического износа эскалаторного оборудования, простоев и аварий.

Цель исследования является новый проект внедрения системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.

2 Задачи, решаемые в ВКР: Для выполнения поставленной задачи необходимо прежде всего знание системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования и реального технико-эксплуатационного состояния эскалаторов метрополитенов основных типов, которое дает возможность рационально управлять ресурсами, направляемыми на содержание, оценивать необходимые затраты для восстановительных мероприятий, уменьшать риски и простои.

В представленном исследовании предлагается частичное решение оптимизации расходов на поддержание в работоспособном состоянии эскалаторного оборудования в течении жизненного цикла при помощи внедрения системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования. В данной тематике технического развития метрополитенов стоит рассмотрение вопросов обеспечения эксплуатационной безопасности метрополитенов и оптимизация затрат.

3 Число источников, использованных при составлении обзора – 83. \_\_\_\_\_

4 Полное число источников, использованных в работе – 83. \_\_\_\_\_

5 В том числе источников по годам

Отечественных			Иностраннх		
Последние 5 лет	От 5 до 10 лет	Более 10 лет	Последние 5 лет	От 5 до 10 лет	Более 10 лет
34	21	10	18	0	0

6 Использование информационных ресурсов Internet. Да, 15 источника использовано в работе.  
(Да, нет, число ссылок в списке литературы)

7 Использование современных пакетов компьютерных программ и технологий (Указать, какие именно, и в каком разделе работы)

Пакеты компьютерных программ и технологий	Раздел работы
Microsoft Word	На протяжении всей работы

Microsoft Excel	2.1, 2.2, 2.3, 3.2, 3.3
-----------------	----------------------------

8 Краткая характеристика полученных результатов: Изучены и выявлены и оценить проблемы в эксплуатации эскалаторного оборудования, причины отказов, методы и средства диагностики и мониторинга отказов и работоспособности; проанализированы и уточнить классификацию существующих тоннельных эскалаторов, изучены новые системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования, изучены системы упреждающего обслуживания эскалаторного оборудования, обеспечивающие безотказность его работы, разработан проект по внедрению системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.

9 Полученные гранты, при выполнении работы \_\_\_\_\_ Нет \_\_\_\_\_  
(Название гранта)

10 Наличие публикаций и выступлений на конференциях по теме выпускной работы Да \_\_\_\_\_  
(Да, нет)

а) 1) Ермилова А.В. Умные эскалаторы метрополитена — история развития инноваций Smart development and technological innovation of metro tunnel escalators. Part 1 - The history of development Часть 1 – История развития // путевой навигатор -2020. - С. 32-43.;

2) Ермилова А.В. Умные эскалаторы метрополитена — история развития инноваций Smart development and technological innovation of metro tunnel escalators. Part 2 - Innovative Technologies Часть 2 — Инновационные технологии // Путевой навигатор -2020. - С. 43-51.;

3) Ермилова А.В., Будрина Е.В. Инновационный вектор эффективной стратегии эксплуатации тоннельных эскалаторов // Экономика. Право. Инновации -2020. - № 1. - С. 57-64;

4.) Ермилова А.В. Метрополитен – основа транспортной системы большого города // Сборник трудов VIII конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 15-19апреля 2019г.) -2019. - Т. 6. - С. 67-71

5) Ермилова А.В. Методы и средства определения технического состояния эскалаторов // Инновационное развитие транспорта: Материалы IV Всероссийской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов (СПб, 29апреля 2019г.) -2019. - С. 141-146

б) 1) VIII Конгресс молодых ученых (КМУ) с темой доклада «Метрополитен – основа транспортной инфраструктуры и мобильности большого города», Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, 2019 г.;

2) IV Всероссийская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Инновационное развитие транспорта» с темой доклада «Технологии беспилотных транспортных средств» Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, 2019 г.;

3) XLIX научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО 2020 с темой доклада «Повышение надежности подвижного состава и эскалаторов», г. Санкт-Петербург, 2020 г.

4) IX Конгресс молодых ученых с темой выступления «Вектор стратегии эксплуатации эскалаторов», Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, 2020 г.

Обучающийся Ермилова А.В. \_\_\_\_\_  
(ФИО) (подпись)

Руководитель ВКР Будрина Е.В. \_\_\_\_\_  
(ФИО) (подпись)

“ 20 ” мая 2020г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1 ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ ОСНАЩЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНОВ МИРА ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫМ ОБОРУДОВА- НИЕМ .....	10
1.1 Исследование мирового опыта использования подъемно-транспортного оборудования в метрополитенах .....	10
1.2 Обзор условий и особенностей использования и эксплуатации эскала- торного оборудования в условиях метрополитена г. Санкт-Петербург .....	20
1.3.Изучение и анализ инновационных методов и инструментов контроля диагностики состояния эскалаторного оборудования .....	47
Глава 2 ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СО- СТОЯНИЯ ЭСКАЛАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	56
2.1 Анализ методов и методик производства ремонтных работ эскалатор- ного оборудования .....	56
2.2 Исследование и обоснование необходимости создания системы диагно- стики и мониторинга эскалаторного оборудования .....	67
2.3 Техническое обследование структуры и состава системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.....	77
Глава 3 ПРОЕКТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТО- РИНГА ЭСКАЛАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	88
3.1 План установки оборудования тестирования и результаты тестирования	88
3.2 Прогноз эффективности системы по техническим, технологическим и экономическим параметрам	100
3.3 Оценка технико-экономических эффектов от использования новой тех- нологии диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.....	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	121
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	124
Приложение 1 Основные сведения о наиболее крупных зарубежных метрополи- тенах .....	133
Приложение 2 Примеры и обзор крупных аварий эскалаторов на станциях мет- рополитенов .....	154
Приложение 3 Примеры патентов по датчикам и упреждающей модели обслу- живания .....	157
Приложение 4 Типы эскалаторов и их основные характеристики .....	170

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В условиях развития современного города, наряду с архитектурно-планировочными решениями и инженерным обустройством территорий, необходимо также совершенствование и оптимизация показателей для эффективной транспортной маршрутной сети мегаполисов.

В настоящее время территориальный рост крупных городов во всем мире демонстрирует постоянную тенденцию к увеличению роста пассажиропотока, ввиду увеличения уровня занятости городского населения и увеличение дальности транспортных сообщений, при этом появляется необходимость к уменьшению затраты времени на трудовые передвижения, что требует одновременного повышения уровня комфорта массового транспортного пассажирского сообщения при их четкой организации движения, а также проведение технических мероприятий по обеспечению безопасности и надежности. В условиях постоянно расширяющегося городского пространства, метрополитен, как один из видов скоростного массового внеуличного транспорта, представляется как наиболее надежный, скоростной и комфортабельный вид передвижения для всех категории граждан, при этом беспробочный, безаварийный и экологически чистый вид транспорта, линии которого соединены между собой единой архитектурно-художественной концепцией с уникальным внутренним обликом станций. Таким образом, метрополитен является ключевым элементом транспортного комплекса и современной транспортной инфраструктуры постоянно развивающегося мегаполиса, одной из крупнейших транспортной артерией города и каждый житель столицы хотя бы однажды пользовался услугами эскалатора спускаясь на станцию метрополитена.

Метрополитен Санкт-Петербурга входит в число самых крупных метрополитенов мира, наиболее загруженных по общему пассажиропотоку (19-е место в мире и 4-е в Европе, после метрополитенов стрех столиц Москвы, Парижа и Лондона). По протяженности эксплуатируемых линий метрополитен Санкт-Петербурга занимает 33-е место в мире и 8-е в Европе (после метрополитенов Лондона, Москвы, Мадрида, Парижа, Берлина, Валенсии и Барселоны).



Транспортная инфраструктура метрополитена также занимает ведущие места по техническому состоянию, технической оснащенности, но обладает значительным износом, особенно эскалаторного оборудования. В связи с динамичным развитием городского пространства и открытием новых станций метрополитена постепенно увеличивается и количество новых современных эксплуатируемых тоннельных эскалаторов, но при этом износ эскалаторов составляет значительный процент, достигая 68%, а средний возраст эскалаторов при этом 25 лет. Основным фактором и показателем является то, что метрополитен укомплектован морально устаревшим и физически изношенным оборудованием, а, следовательно, необходимо внедрение нового оборудования или использование передовых технологий назначения ремонтных работ по техническому состоянию оборудования для снижения эксплуатационных затрат при обеспечении бесперебойной деятельности метрополитена и безопасности перевозочного процесса.

Перспективное направление исследования проблемы включает мониторинг и диагностику технического состояния эскалаторного оборудования с целью оптимального управления для минимизации расходов ущерба от отказов при обеспечении нормируемого показателя надежности.

Основная система показателей, включая положительный экономический эффект, будет достигнута благодаря применению передовых технологий упреждающего подхода с использованием непрерывного сбора данных при помощи системы мониторинга и диагностики для снижения стоимости жизненного цикла за счет сокращения периодичности и расходов на ремонтные мероприятия и диагностику, что повышает в целом безопасность перевозочного процесса и дает сокращение целевого показателя аварийности для эскалаторов метрополитена.

Тематике развития эскалаторного оборудования метрополитенов, вопросов обеспечения их эксплуатационной безопасности посвящены работы таких ученых как Гарбер В.А., Панфилов В.А., Капица В.С., Михайлов В.В., а также ученых из компании производителей эскалаторов *Schindler Donato Carparelli*, *John Gale*, профессора *L. Al-Sharif, The University of Jordan*, возглавляющего международные конференции и симпозиумы по лифтам и эскалаторам (*SYMPOSIUM*

*ON LIFT & ESCALATOR TECHNOLOGIES*) и бизнес-подразделение в Лондонском метро, профессор *Stefan Kaczmarczyk, The University of Northampton (Charity Trustee)*, группа японских ученых *Kimiaki Kono, Satoshi Fujita and Asami Ishii (Graduate School of Tokyo Denki University, Japan)*.

Целью исследования является разработка проекта внедрения системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.

В соответствии с указанной целью исследования в данной работе поставлены следующие задачи:

- выявить и оценить проблемы в эксплуатации эскалаторного оборудования, причины отказов, методы и средства диагностики и мониторинга отказов и работоспособности;
- проанализировать и уточнить классификацию существующих тоннельных эскалаторов;
- изучить новые системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования;
- изучить системы упреждающего обслуживания эскалаторного оборудования, обеспечивающие безотказность его работы;
- разработать проект по внедрению системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.
- Объектом исследования выступает метрополитен г. Санкт-Петербург.
- Предметом исследования приняты процессы диагностики и мониторинга состояния эскалаторного оборудования ГУП «Петербургский метрополитен».

К элементам научной новизны исследования стоит отнести:

- разработанную классификацию тоннельных эскалаторов;
- проект системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.

Методологическую базу исследования составили исследовательские

труды, научная, учебная и технологическая литература, статьи и публикации, отчеты по НИР и о деятельности метрополитенов в РФ и за рубежом. В качестве основных методов в работе применялись – анализ и синтез, сравнительный и экономический анализ, методы диагностики с использованием специального оборудования, анализ методов ремонтных работ эскалаторного оборудования, изучение и обобщение специальной литературы, касающейся внедрения системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования, а также нормативно-правовые документы Российской Федерации.

Эмпирическую базу исследования составляют данные по эксплуатации и технические характеристики эскалаторного оборудования ГУП «Петербургский метрополитен».

Практическая значимость работы обусловлена возможностью использования полученных результатов, выводов и рекомендаций при внедрении проекта системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования.

Основные положения исследования и результаты исследования докладывались на следующих конференциях и семинарах: круглый стол «Обеспечение качества эксплуатации объектов инфраструктуры пассажирского транспорта» доклад на тему: «Обеспечение доступности объектов транспортной инфраструктуры метрополитена для всех категорий маломобильных групп населения», 20.10.2018, Санкт-Петербург; участие в XI Петербургском Международном Инновационном Форуме, 28.11.2018, Санкт-Петербург; участие в 1 Международном форуме транспортной инфраструктуры 27.11.2018-30.11.2018, Санкт-Петербург; XLIII научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО, доклад на тему «Повышение надежности подвижного состава и эскалаторов», 29.01.2019-02.02.2019, Санкт-Петербург; VIII Конгресс молодых ученых (КМУ), доклад на тему: «Метрополитен – основа транспортной инфраструктуры и мобильности большого города», 15.04.2019, Санкт-Петербург; IV Всероссийская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Инновационное развитие транспорта», доклад на тему «Методы и средства определения технического состояния эскалаторов», 29.04.2019, Санкт-Петербург; Международный

инновационный форум пассажирского транспорта *SmartTRANSPORT*, доклад на тему «Охранные зоны объектов инфраструктуры метрополитена», круглый стол «Реализация ФЗ от 29.12.2017 № 442-ФЗ «О внеуличном транспорте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», 19-21.06.2019, Санкт-Петербург, IX Конгресс молодых ученых с темой выступления «Вектор стратегии эксплуатации эскалаторов», Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, 2020 г.

По результатам исследования были опубликованы 5 научных работ, в том числе две статьи в издании, рекомендованном ВАК.

1 Ермилова А.В. Умные эскалаторы метрополитена — история развития инноваций *Smart development and technological innovation of metro tunnel escalators. Part 1 - The history of development* Часть 1 – История развития // Путь-вой навигатор -2020 - С. 32-43 (ВАК);

2 Ермилова А.В. Умные эскалаторы метрополитена — история развития инноваций *Smart development and technological innovation of metro tunnel escalators. Part 2 - Innovative Technologies* Часть 2 — Инновационные технологии // Путь-вой навигатор -2020 - С. 43-51 (ВАК);

3 Ермилова А.В., Будрина Е.В. Инновационный вектор эффективной стратегии эксплуатации тоннельных эскалаторов // Экономика. Право. Инновации - 2020 - № 1 - С. 57-64 (РИНЦ);

4 Ермилова А.В. Метрополитен – основа транспортной системы большого города // Сборник трудов VIII конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 15-19 апреля 2019г.) -2019 - Т. 6. - С. 67-71(РИНЦ);

5 Ермилова А.В. Методы и средства определения технического состояния эскалаторов // Инновационное развитие транспорта: Материалы IV Всероссийской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов (СПб, 29 апреля 2019г.) -2019 - С. 141-146 (РИНЦ).

## **Глава 1 АНАЛИЗ ВИДОВ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ**

### **1.1 Исследование мирового опыта использования подъемно-транспортного оборудования в метрополитенах**

Функциональные (технико-эксплуатационные) свойства эскалаторов – обеспечение безопасного, бесперебойного и комфортного движения пассажиров с установленными скоростями в течение всего длительного срока эксплуатации. Для выполнения автором основной поставленной задачи необходимо прежде всего уточнить классификацию существующих линий метро, изучить детально предмет исследования и дать классификацию по основным типам и функциональным элементам существующих эскалаторов. Комплексный анализ существующих линий метро на базе мирового опыта необходимо представить с акцентом по инновационным решениям и выбором подъемно-транспортного оборудования, выявить существующую взаимосвязь схемы развития городских территорий, схемы метро и средней глубины залегания станций метро и представить данные факторы с областью применения подъемно-транспортного оборудования, в том числе для тоннельных эскалаторов большой длины (высоты), как основного конструктивного показателя эскалаторов для Санкт-Петербурга.

В условиях постоянно растущей интеграции города, метрополитен, являясь электрической железной дорогой для пассажирского движения, как подземный вид городской транспортной инфраструктуры, играет важнейшую роль в обеспечении населения в быстром, удобном и безопасном передвижении.

Динамичный рост численности городского населения и транспортных потоков ставит актуальные и сложные задачи создания конкурентоспособной, интермодальной транспортной системы, в том числе, способной привлечь пассажиров с личного автомобильного на общественный транспорт в качестве альтернативы с учетом создания сервисов цифровой мобильности (поиск оптимальных параметров маршрута, времени поездки, стоимости, уровня комфорта и экологического эффекта).

Системы метрополитена во всех странах, являются важными факторами, способствующими массовому передвижению людей в крупных городах мира, значительно разгружают сети наземного транспорта и позволяют организовать перспективную совместную систему мультимодальных перевозок по схеме варианта «*park and ride*» (перехватывающей парковки, которая означает сочетание частного и общественного транспорта). Первая в мире система железнодорожной линии глубокого заложения метрополитена была введена в эксплуатацию в Лондоне в 1863 г., а несколькими годами позже метрополитены были сооружены в Нью-Йорке, Париже, Берлине и в других городах. В настоящий момент система метрополитена уже действует в 56 странах мира (рост составил 55% за 40 лет) и перевозит около 168 млн пассажиров в день. Метрополитен, получивший распространение за рубежом и во всех крупных городах России, отличается прежде всего характерным ростом показателей общей пропускной способности, в том числе и строительством новых станций метро, так с 2000 года прирост составил 75 новых систем метро (увеличение на 70% за 10 лет).

Основные показатели работы мировых сетей метрополитена в городах мира по состоянию на 2019 г., входящих в ТОП-15 самых массовых и уникальных транспортных внутригородских систем представлены в табл. 1 (данные с официальных сайтов, статистических отчетов Международного Союза Общественного Транспорта (МСОТ), краткое описание и основные сведения о наиболее крупных зарубежных метрополитенах представлено в приложении 1).

Таблица 1 – Основные показатели работы Топ-15 метрополитенов за период с 1860 г. по 2019 г.

Название Метрополитен	Год постройки	Количество линий	Протяженность путей, км	Количество станций	Количество пассажиров, млн.
Лондонский	1863	13	402	270	1378
Чикагский	1892	8	165,4	145	230,2
Парижский	1900	16	214	383	1518,6
Берлинский	1902	10	151,7	173	563
Нью-Йоркский	1904	27	394	472	1727.3

Название Метрополитен	Год по- стройки	Количе- ство линий	Протяжен- ность путей, км	Количество станций	Количество пассажиров, млн.
Мадридский	1919	13	293	301	626,4
Токийский	1927	13	304,1	291	3713,6
Московский	1935	13	397,3	232	2560,4
Торонто	1954	4	76,9	80	304,1
Петербургский	1955	5	124,8	72	743,2
Сеульский	1974	9	341,5	315	2856,5
Пекинский	1969	21	628	391	3777,9
Шанхайский	1995	16	676	413	3537,6
Делийский	2002	9	343,4	250	926,1
Дубайский	2009	2	74,6	47	200,1

Прирост сетей метрополитенов происходит за счет строительства станций и линий в азиатских странах (рис. 1). В следующие пять лет ожидается эксплуатация около 200 линий метрополитена, в том числе за счет повышения уровня жизни населения и изменения статуса стран Африки в мировой экономической системе.

Некоторые страны, такие как например Израиль, только открывают для себя принципиально новый вид подземного транспорта – метро и проводят транспортные исследования и расчеты экономической эффективности (2015 – 2040 гг.), принимая модель по оценке эффективности с учетом европейских данных пассажиропотока городов Мадрида и Берлина, проводят сбор данных о движении транспортных средств, включая среднюю скорость передвижения в городах (рис. 2), при этом скорость движения в городе находится в интервале от 15 до 36 км/ч.

Ведущие страны мира внедряют концепцию «Умного города» для организации современных метрополитенов, включая удаленные сервера с использованием планшетных и облачно-ориентированных технологий для сбора и обработки данных полученных от умных датчиков для безопасности и надежности

перевозочного процесса.

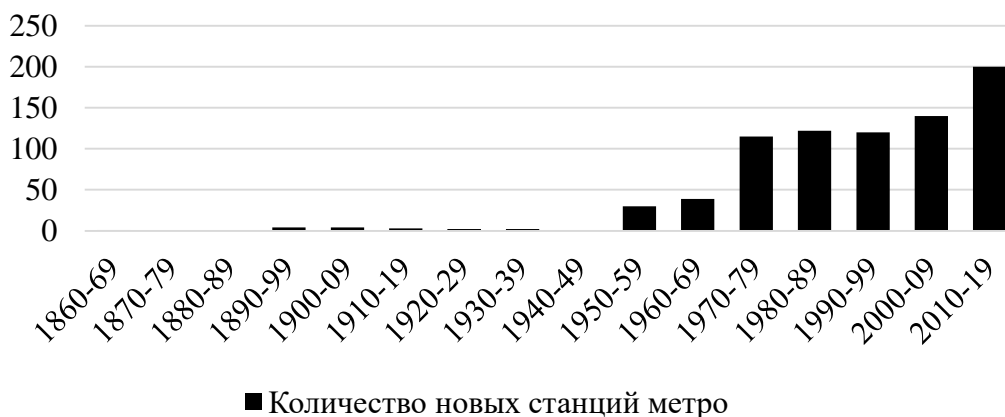
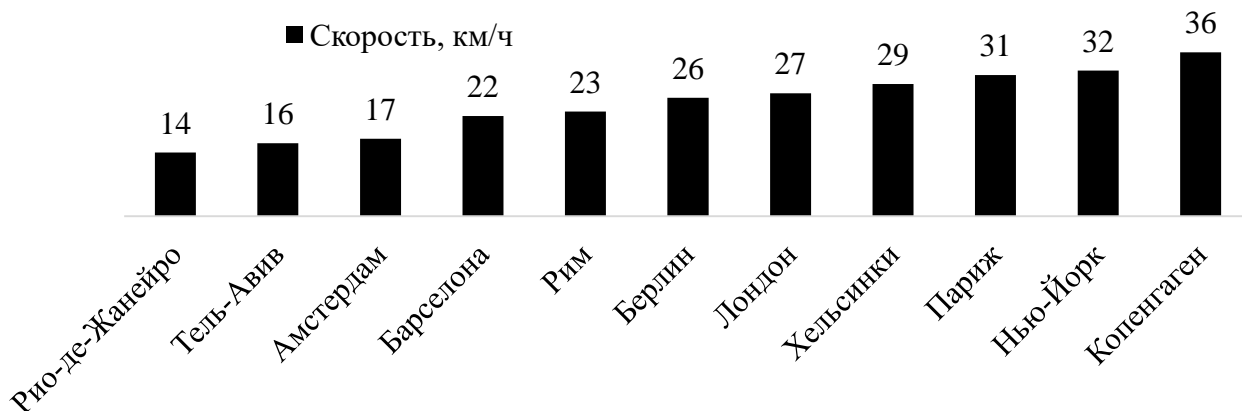


Рисунок 1 – Динамика развития транспортной системы метрополитенов за период с 1860 по 2019 г. Источник *Statistics Brief*

Системы беспилотного движения поездов, автоматизированные машины для уборки, «сотрудники» с искусственным интеллектом уже успели завоевать расположение пассажиров на станциях метрополитенов во всем мире.



Источник *Sharav, N*

Рисунок 2 – Диаграмма средних скоростей передвижения в различных городах мира

Изучение перспектив инвестиционного и инновационного развития транспортного комплекса крупных городов на основе создания или развития метро, как базового вида транспорта, в условиях в условиях глобальной экономической нестабильности, на фоне обострения ситуации с курсами валют и ценами во



время пандемии и как следствие, финансирование по схеме усеченного формата и сокращения бюджетов, является сложной задачей, требующей долгосрочных и крупных финансовых инвестиций в рамках проектов, которые в настоящее время реализуются в рамках государственно-частного партнерства (Далее – ГЧП). Залог эффективного функционирования городской транспортной системы — сбалансированное развитие общественного и автомобильного транспорта.

Сегодня транспортный каркас многих крупных городов образован сетью метрополитена, который отвечает за быстрое и безопасное перемещение. На долю метрополитена приходится основной объем городских пассажирских перевозок, суммарную превышающую долю всех остальных видов городского транспорта на 15-20%. Каждая новая открытая станция увеличивает количество работающих людей в районе ее расположения на 15%, а также повышает стоимость земли и, следовательно, ускоряет темпы развития территории.

Крупнейшие метрополитены в мире (см. данные в табл. 2): по количеству станций и маршрутов: нью-йоркский (472 станции, 36 маршрутов); по протяженности линий: шанхайский (660 км) и пекинский (608 км); по годовому пассажиропотоку: пекинский и токийский; по суточному пассажиропотоку: пекинский и московский.

На начало 2019 года в мире насчитывается 188 систем метрополитена в 56 странах. В 37 городах мира сегодня действуют 55 полностью автоматизированных линий метрополитена, общая протяженность 803 км (см. приложение 1). Быстрому развитию метро во многих странах мира способствует фактор постоянного и надежного финансирования, право самостоятельно принимать градостроительную политику на городском уровне, реформирование транспортной системы с целью улучшения экологической обстановки и снижению количества автомобилей на улицах города. Такие факторы, как проведение крупных спортивных мероприятий: Олимпийских игр, чемпионата мира по футболу, также играют значительную роль.

Объемно-пространственное развитие структуры метрополитена уникально

для каждого города и существенно отличаются, в первую очередь разной степенью развитости (количество станций, протяженностью линий, элементами транспортно-пересадочных узлов) и конфигурации структуры транспортной сети (линейная, радиальная, радиально-кольцевой, диагонально-решетчатый) в зависимости от планировочной структуры города, местного ландшафта, уличных сетей, а также с учетом охвата окраинных спальных районов с высокой плотностью населения с центром города, где наиболее высока плотность размещения предприятий, компаний и промышленно-деловых районов. В результате рассмотренных условий и ограничений, формируется совмещенная система метро со специфичной комбинацией для каждого города, например, диагонально-решетчатый тип сети метрополитенов совмещен с прямоугольно-диагональной сеткой с учетом специфики и уникальностью уличной сети городов Вашингтона, Нью-Йорка и Токио, а радиально-кольцевая схема метро характерна для городов, которые существуют свыше 500 лет и развивались как торговые центры, например для Москвы (классическая разветвлено-замкнутая), Лондона и Парижа (разветвлено-замкнутая в комбинации со сложно-разветвлёнными линиями).

Линии различаются по цветам и номерам, по конфигурации (прямая, ломанная, криволинейная), а также подразделяются на узкопрофильные и широкопрофильные в зависимости от размера используемых вагонов.

Современные линии метрополитена проектируются и строятся с учетом расположения исторического центра, объектов культурного наследия, спальных районов, заводов и предприятий, созданием транспортно-логистических комплексов на пересечении с другими видами городского, пригородного и междугородного транспорта. Линии метрополитена могут продублировать основные городские центральные улично-дорожные сети с большой интенсивностью движения, если нет осложнений условий строительства и неблагоприятных зон риска, обусловленные сложными геологическими и гидрогеологическими условиями. Характерный пример, схема метро г. Санкт-Петербурга (совмещения радиально-кольцевого типа метрополитена с радиальным планом города), где линии глубо-

кого заложения сооружаются, в основном, в районах с плотной исторической застройкой при неблагоприятных гидрогеологических условиях с рекордами как по протяженности, так и по заглублению. Глубокое метро проектируется и строится во многих городах, не только по причине сложных грунтовых условий и наличия несущего слоя на значительной глубине, но с целью и возможностью использовать подземные тоннели для военных целей и в качестве убежища гражданской обороны.

Наземные линии сооружаются в городах и странах, где нет осложнений по полосе отвода земельного участка для строительства, покупке по рыночной стоимости выкупа 1 м<sup>2</sup> земли (примерно 50% от стоимости строительства для Европейских стран), в новых жилых или периферийных и пригородных районах.

Классификацию существующих сетей метрополитена можно провести по формам и схемам пересечениям трассы: с независимым движением поездов по отдельным линиям (как в России), с переходом части поездов с одной линии на другую (Лондон, Нью-Йорк) и комбинированные. Расстояние между станциями может составлять 500—800 м для Европейских стран (60% эскалаторов) или 1—2 км как в России, с перепадом уровня высот до 80 м (100% эскалаторы).

В зависимости от инженерно-геологических и гидрологических условий, уровня расположения несущего слоя, напорных вод, а также от плотности застройки, наличия подземных коммуникаций, бывают тоннели метрополитенов мелкого (10—15 м) и глубокого (30—50 м) заложения. Протяженность линий, как показывает мировая практика строительства метрополитенов связаны со сложностью инженерно-геологических условий, поэтому станции глубокого заложения имеют и максимальные расстояния между станциями, тогда в ряде случаев проблема транспортной обеспеченности решают с использованием других видов рельсового транспорта (скоростной трамвай, электрички).

Производство эскалаторов и траволаторов — это довольно новая отрасль промышленности. В России первый эскалатор был установлен в 1935 году финской компанией *Kone* в посольстве Финляндии в Москве. Первый пассажирский

конвейер (траволатор) был произведен в Санкт-Петербурге для станции метрополитена в 2016 году.

В целом, как показывает проведенный анализ, на станциях линий метрополитенов всего мира модельный ряд эскалаторов представлен намного шире и получил большее распространение, чем траволаторы.

Общий вид эскалатора и траволатора приведен на рис. 3

Конструкция траволатора представляет собой более современный и функциональный аналог классических эскалаторов, но с уклоном до  $12^\circ$  с высотой подъема от 2,6 до 4 м и без ступеней, что позволяет сделать транспортирование более бесшумным и удобным, особенно для колясок, тележек и габаритного (длинного) груза багажа. Недостатки траволатора: небольшой угол наклона в отличие от эскалаторов, поэтому основная область применения - в выставочных комплексах и магазинах, торговых центрах, аэропортах.



Рисунок 3 – Общий вид эскалатора и траволатора

Эскалаторы метрополитенов имеют значительные отличия от эскалаторов торговых комплексов в виду большей высоты до 75 м, большей производительностью и значительным объемно-планировочным расположением машинного помещения. Преимущества эскалатора: большая пропускная способность; при отключении электропитания и поломках возможно использовать как обычную лестницу. Основной недостаток: высокая стоимость, особые требования к надежности и прочности конструкции и механизмов по причине большой протяженности.

Эскалатор с основными частями и механизмами приведен на рисунке 4

важнейшим элементом которого является привод.

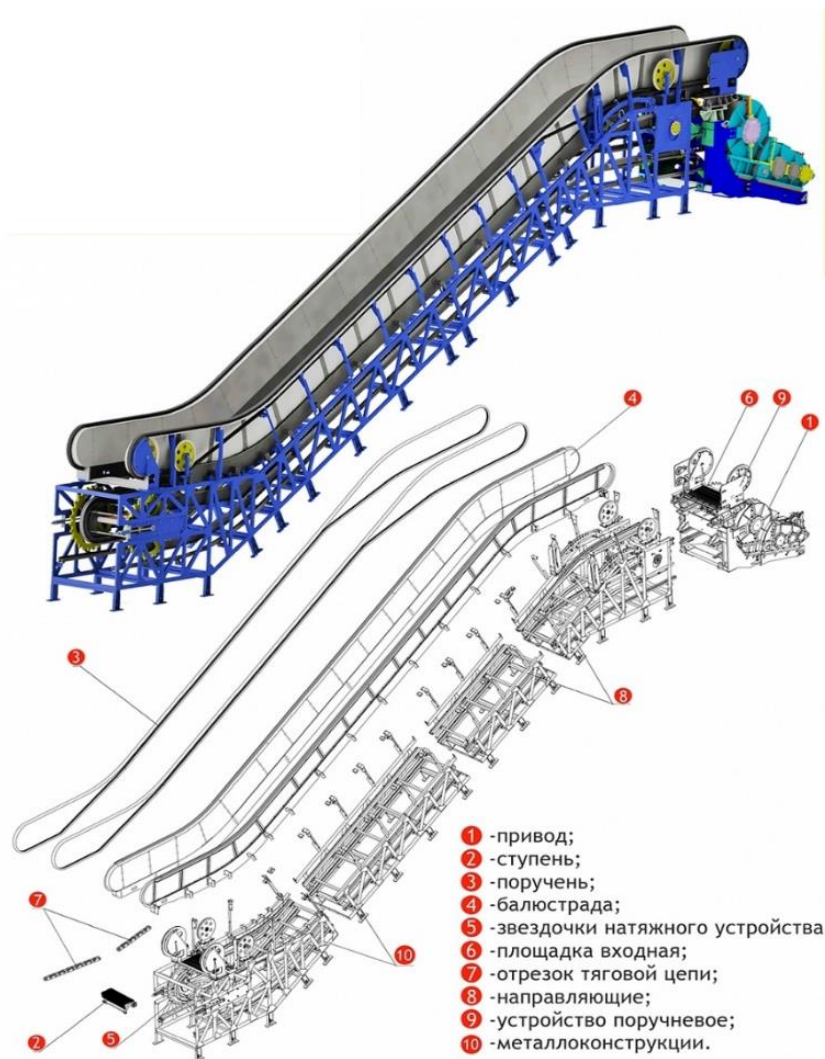


Рисунок 4 – Основные конструктивные элементы и устройства эскалатора высотой от 15 до 25 м

Анализ метрополитенов выявил общую мировую тенденцию: расположенные на глубине станции метро от 10 до 15 м оборудованы тоннельными эскалаторами для спуска и подъема пассажиров только в 25-30% (см. прил. 1).

На станциях, расположенных на незначительной глубине, как правило, имеется по одной лестнице для спуска пассажиров и по одному или по два эскалатора. Станции, расположенные на глубине от 10 до 15 м, имеют по три рядом расположенных эскалатора. В том числе, применяются обычные лестницы или лифты (по количеству станций), подъемники лифтового типа (станционных или

в виде поднимающих платформ) для людей с ограниченными физическими возможностями, а также для пассажиров с детскими колясками.

На станциях глубокого (30—50 м) заложения применяют тоннельные эскалаторы в 100% случаев, по два или три эскалатора в комбинации с лестницами и траволаторами (движущаяся бесступенчатая дорожка). Строительство лифтовых шахт предполагается при новом строительстве или реконструкции.

В рассмотренных многочисленных примерах, в мировом обзоре практики метрополитена на станциях глубокого залегания, как правило, используются эскалаторы и лифты для маломобильных групп населения, на наземных линиях используются траволаторы и лестницы (см. прил. 1 и основные схемы метро).

Сложность и стоимость линии метрополитена и эскалаторного оборудования, зависит от глубины заложения, что определяется на основе комплексной оценки градостроительных, транспортных, инженерно-геологических и технико-экономических факторов. Основное влияние на темпы устойчивого роста линий и станций метро в мире, в том числе и в России, оказывают финансовые ресурсы федеральных бюджетов или средств через механизмы ГЧП, форм различных концессий и инвестиций. По данным АО ЦНИИС Научно-исследовательский центр «Тоннели и метрополитены» наиболее высокая стоимость строительства 1 км линий метрополитена приходится на США – до \$4 млрд, Великобританию – до \$1 млрд (ГЧП) [64]. Россия на четвертой строчке экономического рейтинга по стоимости подземных сооружений – до \$0,18 млрд (бюджет) ссылки. Проект в форме ГЧП рассматривали для метро в Нижнем Новгороде, однако договора на основе концессии так и не заключили.

Состав по конструктивным типам семейства тоннельных эскалаторов крайне зависим от финансирования и планов по реконструкциям и нового строительства метрополитенов. Исходя из специфики применения эскалаторов в метрополитенах, с учётом высокого износа конструкций, во многих странах мира закупают эскалаторное оборудование компаний *ThyssenKrupp* и *KONE*, которые предлагают бесплатные приложения для цифровых двойников, являющегося

полной виртуальной (цифровой) копией физического объекта на всем жизненном цикле управления проектом от проектирования до вывода из эксплуатации.

В условиях постоянно расширяющегося городского пространства, метрополитен, как один из видов скоростного внеуличного транспорта, представляется как более надежный, скоростной и комфортабельный вид передвижения, при этом беспробочный, безаварийный и экологически чистый вид транспорта. В связи с открытием новых станций постепенно увеличивается и количество новых современных видов и типов подъемно-транспортного оборудования, находящихся в эксплуатации.

Исследование мирового опыта использования подъемно-транспортного оборудования в наиболее крупных зарубежных метрополитенах показывает, что присутствует тесная взаимосвязь схемы развития городских территорий, схемы метро, размером средней глубины залегания станций и особенностей в процентном соотношении применения подъемно-транспортного оборудования (эскалаторы, траволаторы, лестницы или лифты, подъемники лифтового типа станционных или в виде поднимающих платформ).

На сегодняшний день на станциях действующих подземных линий метрополитенов всего мира эскалаторы распространены в большей степени, чем траволаторы. Специфика России состоит в том, что эскалаторы устанавливаются во всех длинных наклонных тоннелях — выходах станций метро глубокого заложения, которые включены в перечень указанных норм по классификации 116-ФЗ [1], а соответственно относятся к опасным объектам, что влечёт особые требования, предъявляемые к безопасности эскалаторного оборудования.

## **1.2 Обзор использования и эксплуатации эскалаторного оборудования в условиях метрополитена г. Санкт-Петербург**

В данном разделе автором проанализированы основные ТЭП существующих линий метро в России, анализ особенностей для ГУП «Петербургский метрополитен». Представлены отличия и специфика метрополитенов России, дано

установление связей пассажиропотока, количества эскалаторов, стоимости проезда, финансирования. Выявлены факторы, связи, и возможности разработки проекта по концепции упреждающего обслуживания (мониторинга эскалаторов) для ГУП «Петербургский метрополитен». Оценка реального технико-эксплуатационного состояния эскалаторов метрополитена необходима для решения ключевой поставленной задачи – разработки проекта по внедрению системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования ГУП «Петербургский метрополитен».

За прошедшее столетие по мере развития технологий строительства подземных тоннелей и линий метро глубокого заложения, тоннельные эскалаторы стали неотъемлемой частью подземной инфраструктуры.

Генеральный план развития метрополитена в России для крупных городов разрабатывался для кардинального решения проблемы пассажирских перевозок, принимался с учетом сложности инженерно-геологических условий, оценкой финансовых и геологических рисков, с учетом отвода территорий для новых станций. В настоящее время все схемы и Планы во многом отстают и по графикам строительства метрополитена, количеству станций и по конфигурации, а перспективные карты и схемы, определяющая планы строительства на ближайшее время, периодически актуализируются и обновляются, происходит постоянное изменение условий финансирования строительства, что оказывает существенное влияние на развитие единой концепции по обеспечению безопасного и устойчивого развития метрополитена и входящего в его состав подъемно-транспортного оборудования.

Отечественное метростроение в качестве отрасли строительной индустрии появилось в 1931 г. Процесс сооружения метрополитенов в силу специфики подземного строительства и требований эксплуатации представляет собой одну из наиболее технически сложных и трудоемких областей строительства.

В России системы транспортного метрополитена действуют в семи городах: Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Самаре,



Екатеринбурге и Казани. Все эти перечисленные города, представленные в таблице 3, являются городами-миллионниками, в которых одной из главных повседневных проблем для жителей является пропускная способность транспортной сети, ввиду необходимости осуществления перевозок значительного количества пассажиров.

Таблица 2 – Производственно-экономические показатели работы метрополитенов в России за 1 полугодие 2019 г.

Показатели деятельности метрополитена, ед. изм.	Москва	С.-Петербург	Н.Новгород	Новосибирск	Самара	Екатеринбург	Казань
Объем перевозки, тыс. пасс	1244900	372529	15166	41291	6638	23227	14873
Эксплуатационная длина путей, км	394	119	22	16	12	13	17
Число станций	232	69	15	13	10	9	11
Число эскалаторов	909	281	11	32	15	25	14
Эксплуатационные расходы, млн. руб.	64067	18453	847	870	334	681	626
Средняя заработная плата, руб.	69208	62185	29841	39947	26086	33921	37525
Среднесписочная численность по метрополитену, чел	55704	17732	1818	1836	1059	1411	592
Тариф на разовый проезд, руб.	55	45	28	22	28	32	27

Общая протяженность линий метрополитенов в Российской Федерации составляет 591,47 км, включающие 359 станций по данным ГУП «Петербургский метрополитен». Ежегодно метрополитены перевозят свыше 3,4 млрд пассажиров, что почти в два раза превышает объем пассажироперевозок всех железных дорог России.

Правительство многих городов заинтересовано в развитии транспортной инфраструктуры. Решение поставленных задач, связанных с развитием транспортной инфраструктуры городов, направлено на определение векторов и целевых показателей развития скоростных видов пассажирского транспорта для удовлетворения потребностей населения города. В адресную инвестиционную программу (АИП) столичных городов ежегодно включаются новые титульные

списки объектов метрополитена в соответствии с финансированием. Ключевым приоритетом АИП для многих столиц является развитие транспортной инфраструктуры.

Лидирующее место среди метрополитенов в России принадлежит Московскому, который был открыт в 1935 г. Сегодня московское метро включает 232 станции общей протяженностью 394,1 км. Список объектов, которые планируется ввести в эксплуатацию в Москве за 2019–2022 гг., включает 67,7 км новых линий и 27 станций метрополитена. Свыше 23% бюджета направляется на реализацию государственной программы «Развитие транспортной системы», и поэтому в ближайшее время 95% населения столицы получают метрополитен в шаговой доступности.

Второе место в РФ по протяженности сети занимает ГУП «Петербургский метрополитен», который эксплуатируется с 1955 г. В Северной столице финансирование строительства новых линий и станций метрополитена в 6,9 раз меньше, в сравнении с Московским [27,28].

Отличительной особенностью всех существующих метрополитенов в РФ является 100% оснащение подъемно-транспортным оборудованием в виде тоннельных эскалаторов, которые устанавливаются в длинных наклонных тоннелях для рационального пути повышения пропускной способности станций метрополитенов и обеспечивающих необходимый уровень безопасности для перевозки пассажиров. Тоннельные эскалаторы – подъемно-транспортное оборудование, которое имеет обязательное официальное подтверждение качества и безопасности продукции, обладают всеми технико-экономическими показателями экономической эффективности их производственно-хозяйственной деятельности.

Тоннельные эскалаторы установленные в метрополитенах России проходят обязательную экспертизу промышленной безопасности на применение технических устройств на территории РФ, сертификацию в системе ГОСТ Р и имеют Разрешение на применение от Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. На рис. 5 представлены графики анализа производственно-экономических показателей работы метрополитенов в РФ.

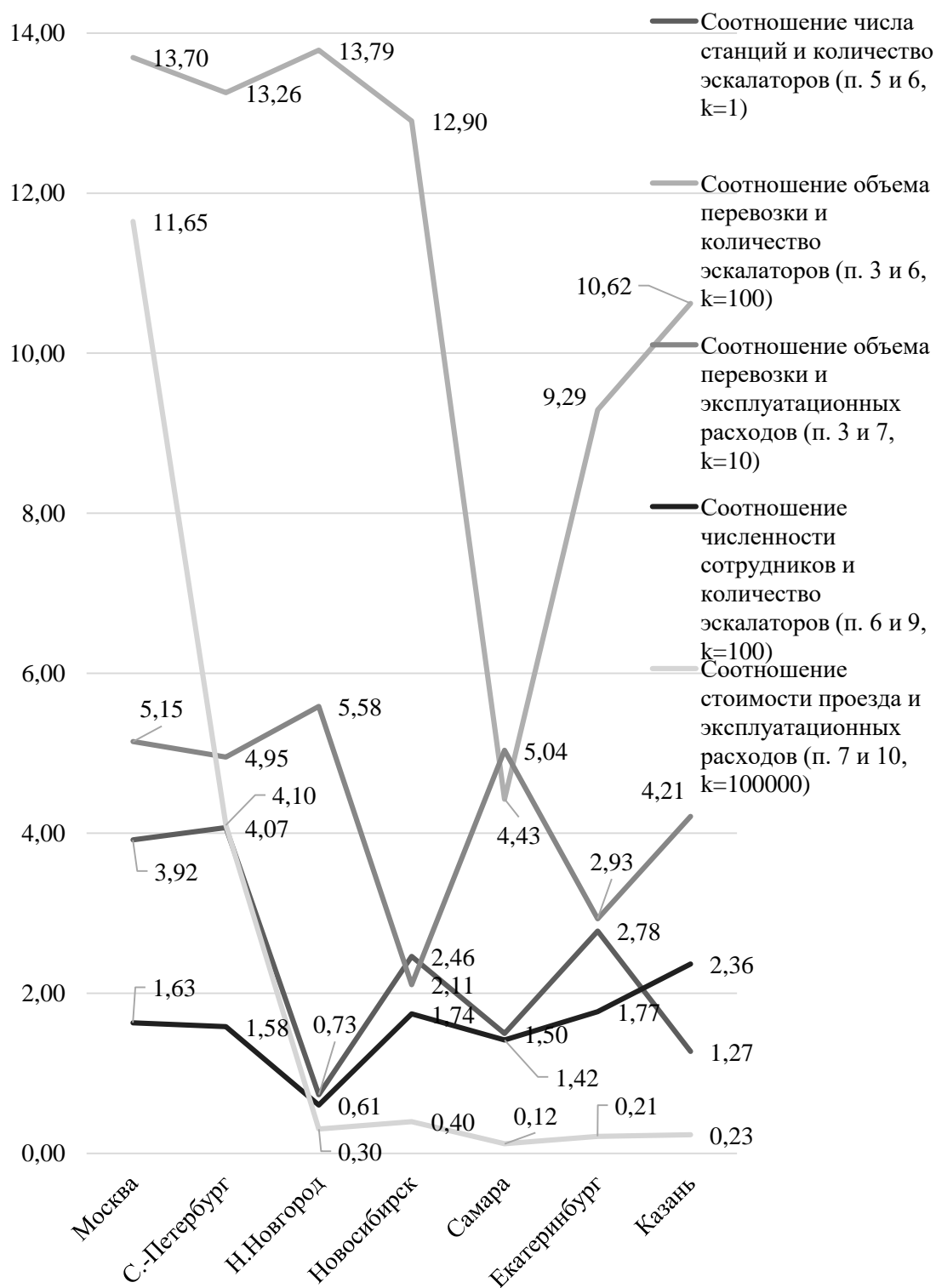


Рисунок 5 – Совмещенные кривые графиков по анализу работы метрополитенов в РФ за 1 полугодие 2019 г.

Основные данные для построения графиков, анализа соотношений и кривых по действующей системе метрополитенов России приведены в табл. 3

Таблица 3 – Основные данные по анализу работы метрополитенов и

использованию в них эскалаторов, как основного вида подъёмно-транспортного оборудования, в России за 1 полугодие 2019г.\*

ПОКАЗАТЕЛИ (по данным табл. 2 с коэф. перехода для совмещения кривых на рис. 3)	Москва	С.-Петербург	Н.Новгород	Новосибирск	Самара	Екатеринбург	Казань
Соотношение числа станций и количество эскалаторов (табл. 2 п. 5 и 6, k=1)	3,92	4,07	0,73	2,46	1,50	2,78	1,27
Соотношение объема перевозки и количество эскалаторов (табл. 2 п. 3 и 6, k=100)	13,70	13,26	13,79	12,90	4,43	9,29	10,62
Соотношение объема перевозки и эксплуатационных расходов (табл. 2 п. 3 и 7, k=10)	5,15	4,95	5,58	2,11	5,04	2,93	4,21
Соотношение численности сотрудников и количество эскалаторов (п. 6 и 9, k=100)	1,63	1,58	0,61	1,74	1,42	1,77	2,36
Соотношение стоимости проезда и эксплуатационных расходов (табл. 2 п. 7 и 10, k=100000)	11,65	4,10	0,30	0,40	0,12	0,21	0,23

Анализ кривых показывает, что эскалаторы как вид подъемно-транспортного оборудования метрополитенов РФ является опорным видом и обеспечивают максимальные показатели мобильности и объемов перевозки.

Однако выбор эскалаторов в качестве основного вида ПТО влияет на стоимость проезда в метрополитене. Так, например, соотношение эксплуатационных расходов (млн. руб.) к стоимости проезда (руб.) в Москве самое высокое и равно -  $64066600/55=1164847$  раз (или данное соотношение, превышение - 11,6 раз в табл. 3 п. 7 и 10, k=100000), в том числе по причине большой доли эксплуатационных расходов (тыс. руб.), в которых более половины приходится на содержание и ремонт эскалаторов. Разница эксплуатационных расходов двух столиц составляет показатель - 3,47 раза ( $64066600/18453270=3,47$ ), но это пропорционально соотношению по объемам перевозок двух столиц, которое в 3,34 раз ( $1244900/372528,6=3,34$ ) – расчет по данным ГУП «Петербургский метрополитен».

Эксплуатационные расходы на 1 км метрополитена самые высокие в Самаре. Линия, состоящая в 1987 году из 4 станций, увеличилась до 10 к 2019 году, эксплуатирует всего 15 эскалаторов, при минимальной длине путей, в двухпутном исчислении - 11,6 км, расходы составляют - 334402 тыс. руб, что выше столичных показателей в 5,6 раз по данным ГУП «Петербургский метрополитен».

Эксплуатационные расходы – это прежде всего обеспечение работоспособности основных конструкций метрополитена, в том числе, значительная доля приходится на эскалаторы. В целом ежегодные расходы на 1 км не высокие, необходимо увеличение финансирования для осуществление модернизации системы метрополитена путем внедрения новых технических решений.

Сегодня метрополитены оборудованы всеми современными техническими средствами подземной магистрали и важным звеном в осуществлении массового перевозочного процесса пассажиров к платформам станций метро стали эскалаторы. Необходимо особенно подчеркнуть, что в условиях массовых перевозок без эскалаторов станции и линии метрополитена не смогли бы обеспечить максимальный пассажиропоток в часы пик и формат оптимального наполнения подвижного состава.

Идея перемещений с использованием подъемных механизмов принадлежит римскому инженеру и архитектору Витрувию в I веке до н. э. Но в практике известны и другие подъемники, изобретенные гораздо раньше в Древнем Египте.

В середине прошлого века ведомство по патентам и товарным знакам США (*United States Patent and Trademark Office, USPTO*), отменило торговую марку *ESCALATOR*, в результате того, что *Otis* использовал обобщенный характер в описаниях для различных специализированных слов-терминов таких как «эскалатор» и «лифт», что явилось причиной того, что спустя 50 лет термин «эскалатор» стал нарицательным.

Проведем исторический обзор, дадим анализ основных направлений в проектировании и устройстве узлов и деталей эскалаторов на основе примеров зарубежной практики.

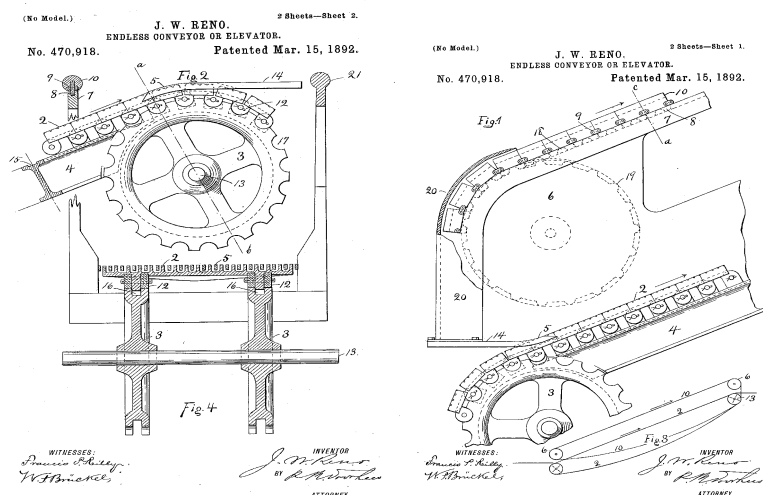


Рисунок 6 – Патент эскалатора, US470918A, 1892-05-15 г. Изобретатель(и):

*Reno Jesse W* [US]

Первый действующий эскалатор (от фр. *escalade* — штурмовая лестница) был запатентован US470918A (см. рис. 6), 1892-05-15, инженером Джесси Рено *Jesse Reno* в 1892 году, который в последствии запатентовал свыше 10 изобретений, которые и в настоящее время являются прототипами современных *изобретений* (см. рис. 7)

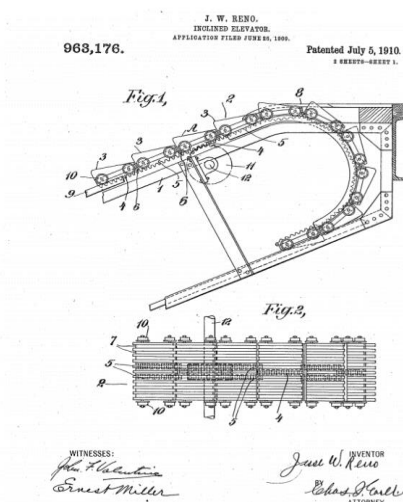


Рисунок 7 – Патент эскалатора, US963176 *Inclined elevator*. Изобретатель(и):

*Reno Jesse W* [US]

Например, патент US963176, 1910-07-05, в который включены ссылки на патент фирмы Отис, (см. рис. 8) Узлы конвейеров пассажирских WO03037774 (A1) 2003-05-08

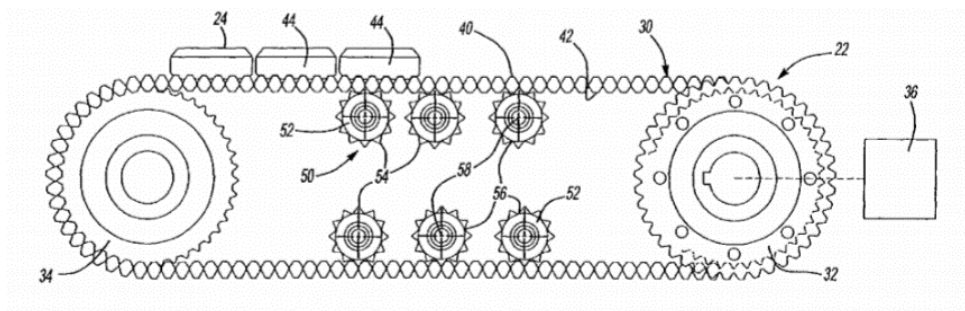


Рисунок 8 – Пассажирский конвейер, патент WO03037774, 2003-05-08.

Изобретатель(и): *Fargo Richard; Wesson John*. Заявитель(и): *OTIS ELEVATOR CO [US]*

Принцип работы эскалатора или «самодвижущейся лестницы» - бесконечная лента, прототип которой - транспортер - относится к транспортному оборудованию непрерывного действия.

В Париже на Всемирной ярмарке в 1900 году была представлена машина, изготовленная лифтовой компанией *Otis* по проекту Чарльза Д. Зеебергера, см. рис. 9 (*Charles D. Seeberger*), названная конструктором необычным красивым словом - эскалатор (от лат. *scala* - лестница, и *elevator* - поднимающий). В течение последующих десятилетий Чарльзом Чарльза Д. Зеебергера было опубликовано свыше 40 патентов, принятых в последствии за прототипы будущих эскалаторов.

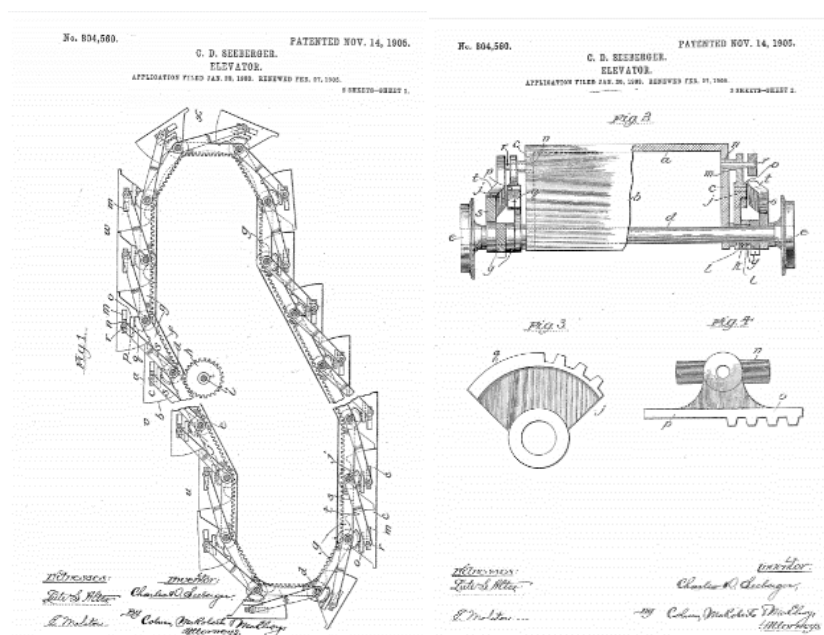


Рисунок 9 – Патент эскалатора, US804560, 1905-11-14. Изобретатель(и):

*Seeberger Charles [US]*

Сегодня компания ОТИС продолжает традицию в поиске новых и лучших способов передвижения. Только за 1 мес. 2019 г (декабрь) были опубликовано 26 патентов, заявитель(и): *OTIS ELEVATOR CO [US]*, в базе данных *Espacenet* (поиск патентной информации).

Лидерами на рынке эскалаторов в России в стоимостном выражении в 2018 г. стала тройка иностранных компаний: *OTIS, KONE, ThyssenKrupp* [61,62,63]. Основными производителями по объему производства эскалаторов в России являются ЗАО ЛАТРЭС и ЗАО ЭС-СЕРВИС. Продукция отечественных производителей составляет 60-70% эскалаторов в эксплуатации метрополитенов [60].

В советское время монополистом в области эскалаторостроения для метрополитена был завод имени Котлякова (ЗАО «Эс-сервис» (*JSC Es-service*)). В последние годы немецкий производитель сталелитейной империи *Thyssenkrupp Elevator*, гарантируя своевременные поставки, высокую надежность и безопасность с длительным сроком службы, все чаще выигрывает государственные тендеры на производство эскалаторов для Москвы, Санкт-Петербурга, Казани и Баку, что формирует новый опыт применения эскалаторов иностранного производства в нашей стране для строящихся или ремонтируемых станций метро.

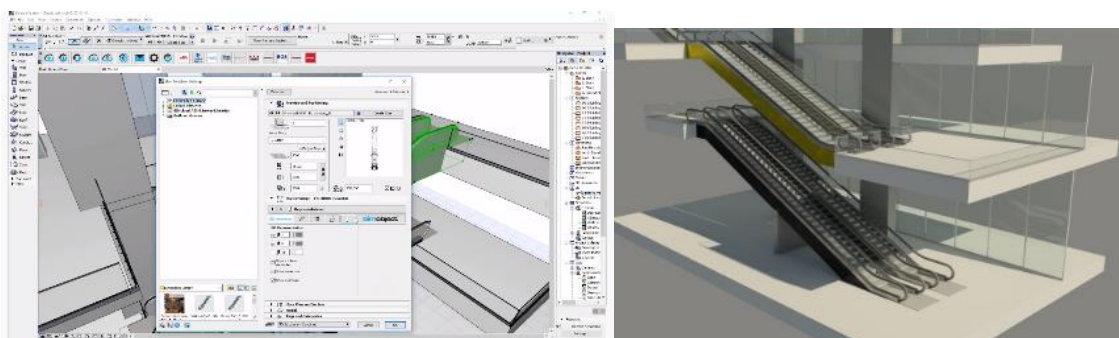


Рисунок 10 – Библиотека 3D и BIM моделей тоннельного эскалатора *Victoria* от производителя *Thyssenkrupp* для *ArchiCAD* или *Revit*

Конструкторская разработка эскалатора *Victoria* отвечает концепции безопасности и энергосбережения, включает *e-escalator* для онлайн мониторинга че-



рез Интернет. Уникальная запатентованная система управления техническим состоянием эскалаторов, значительное количество международных патентов свидетельствует об инновациях в технологиях, обеспечении безопасности и современном дизайне эскалаторостроения, обзор инноваций представлен в статье автора данной работы [56].

Модульная конструкция немецкого производителя тоннельного эскалатора *Victoria* предназначена для массовой перевозки пассажиров, позволяет модульно подойти к 3D проектированию *BIM* модели (см. рис.10), последующему расчету, монтажу и эксплуатации в условиях глубокого погружения метрополитена, с учетом перепада высоты до 75 м. Эскалаторами *Victoria* оснащены метрополитены многих городов Европы и Азии (см. рис.11).

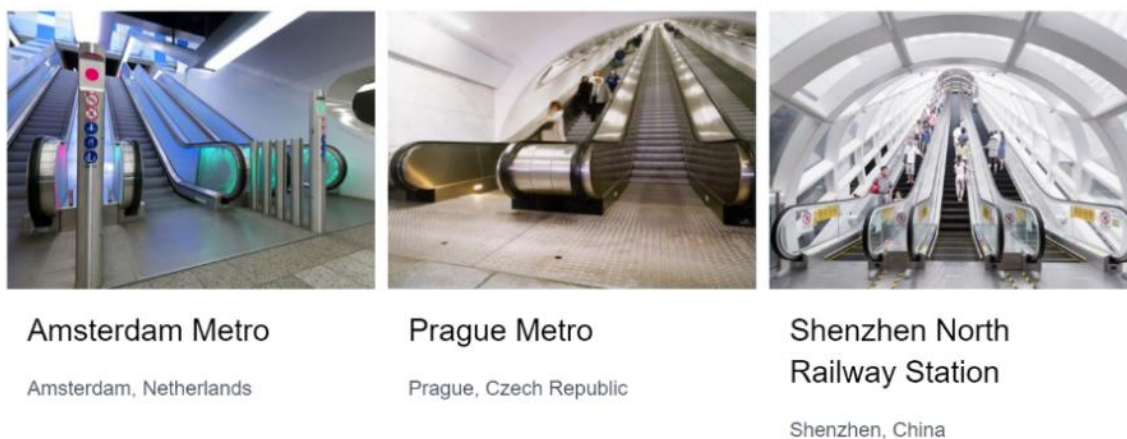


Рисунок 11 – Примеры применения тоннельного эскалатора *Victoria*

Основная конструктивная форма всех новейших эскалаторов ведущих иностранных производителей и их многочисленные изобретения и *web* технологиями (рис.12) по строению, механизмам и общей структуре не претерпели существенных изменений и схожи с традиционным дизайном, представленным в ранних патентах инженеров: эскалатор, привод, лестничное ходовое полотно, включающее в себя ступеньки, имеющие основные и вспомогательные бегунки (со скругленной боковой поверхностью), опирающиеся на беговые дорожки направ-

ляющих металлоконструкций. Постоянные рекорды по высоте и длине конструкции достигались за счет увеличения массогабаритных показателей и характеристик, а не за счет новых форм и конструктивных материалов.

В России Приказом Ростехнадзора от 13.01.2014 N 9 «Правила безопасности эскалаторов в метрополитенах» были введены требования проектированию и устройству эскалаторов в метрополитенах, но до вступления в силу Решения Коллегии Евразийской экономической Комиссии от 19.05.2015 № 55 [4].

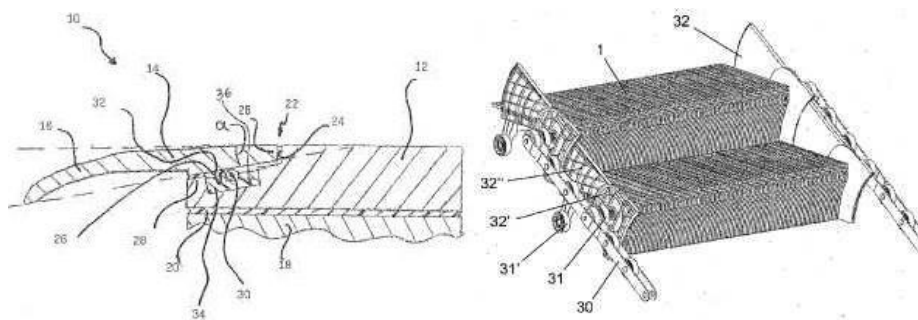


Рисунок 12 – Изобретения *Thyssenkrupp Elevator* в области эскалаторостроения.

Патенты эскалатора с защитным устройством и устойчивые ступени эскалатора, НК1211911, 2016-06-03, CN103043520, 2013-04-17. Заявитель(и):  
*Thyssenkrupp* [DE]

Решением № 55 в Перечень стандартов к ТР ТС 10/2011 «О безопасности машин и оборудования» включены ГОСТ Р 55640-2013 «Эскалаторы и пассажирские конвейеры. Правила и методы исследований (испытаний) и измерений. Правила отбора образцов», ГОСТ Р 54765-2011 (ЕН 115-1:2010) «Лифты, эскалаторы и пассажирские конвейеры. Методология анализа и снижения риска». Таким образом, возникло двойное регулирование требований к эскалаторам в метрополитенах. Ведущие организации по эскалаторам и пассажирским конвейерам технического комитета ТК209 «Лифты, эскалаторы, пассажирские конвейеры и подъемные платформы для инвалидов» высказывают свои предложения [60].

В настоящее время основную классификацию эскалаторов можно провести по классу использования. В отличие от грузоподъемных кранов - машин цикли-

ческого действия, эскалатор представляет собой машину непрерывного действия. Принципиально, количество циклов работы эскалатора можно связать с количеством оборотов лестничного полотна. Однако, тяговые цепи и ступени, испытывающие циклическое воздействие являются сменными элементами. Другие элементы конструкции (металлоконструкция, направляющие, привод) подвержены воздействию других циклических нагрузок в зависимости от места их расположения и назначения. При этом, число циклов нагружения каждого механизма и узла эскалатора пропорционально сроку его службы.

Поэтому классы использования эскалаторов и их механизмов могут быть объединены в единую классификацию, определяемую общим временем работы эскалатора за срок службы по формуле 1:

$$T = 365 t_{\text{сут}} N_{\Gamma} \quad (1)$$

где 365 – количество дней в году;

$t_{\text{сут}}$  - среднесуточное время работы эскалатора, ч;

$N_{\Gamma}$  - срок службы эскалатора, лет.

Тоннельные эскалаторы в метрополитенах работают по 20 часов в сутки в течение 50 лет ( $T = 365000$  ч) и движутся со скоростью шага - 0,75 м/с (эксплуатационная скорость - важный параметр, см. ГОСТ 33966.1-2016 (EN 115-1:2008), п. 5.2.1.1 - номинальная скорость движения несущего полотна должна быть не более 0,75 м/с, при соблюдении условия п. 5.2.1.2 скорость движения поручня не должна отличаться от скорости движения несущего полотна более чем на 2%) [16].

Самые длинные эскалаторы индивидуальной проектировки эксплуатируются на станциях Петербургского метрополитена.

Тоннельные эскалаторы устанавливаются в длинных наклонных тоннелях — выходах станций метро глубокого заложения, а поэтажные для станций метро мелкого заложения.

Пассажирские подъемно-транспортные машины (например, лифты, эскалаторы, канатные дороги) разделяют на машины циклического и непрерывного

действия (эскалаторы). В зависимости от назначения и места использования эскалаторы можно разделить на два основных класса - поэтажные и тоннельные, при этом на метрополитене возможно применение только тоннельных эскалаторов.

Хотя эскалатор движется под углом, т.е. вертикальному перемещению сопутствует значительное горизонтальное, он относится к вертикальным подъемникам, так как горизонтальное смещение является вынужденным.

На отечественных метрополитенах эксплуатируются эскалаторы разных конструкций, серий и модификаций. Цифровая индексация отечественных эскалаторов условна и иногда прямо не связана с высотой подъема, но высота оказывает основное влияние на конструкцию эскалаторов различных типов. Износ и долговечность сборочных единиц и деталей эскалаторов также во многом зависят от высоты. Чем больше высота, тем меньше удельных замен, т.е. замен, которые приходятся на 1 м высоты. Вот почему более целесообразно устанавливать один протяженный эскалатор высотой  $H$ , чем два высотой  $0,5 H$  последовательно друг за другом. В последнем случае возрастают также расходы на изготовление, монтаж и обслуживание, увеличиваются металлоемкость и энергоемкость, усложняется ремонт. Каждый тип эскалатора имеет определяющие конструктивные признаки, которые отличают его от других типов. В то же время отдельные типоразмеры определенного типа эскалатора могут иметь очень значительные отличия, поэтому эскалаторов, различающихся конструктивно, гораздо больше — около 60. Разнообразием отличается и электрооборудование эскалаторов; существует около 100 разных схем управления ими. В отечественных эскалаторах в качестве передаточных механизмов применяют редукторы различной конструкции с зубчатыми или червячными передачами, а также открытые зубчатые передачи (траверсы) и цепные передачи (цепные редукторы). По способу передачи вращения главному валу привод может быть одно- или двусторонним, иметь центральную передачу. По числу главных электродвигателей привод может быть с одним двигателем, с двумя, вращающими главный вал с двух сторон.

Классификация тормозов по типу применяемого растормаживающего устройства — с магнитом или гидротолкателем; способу создания тормозного момента — пружинные, пружинно-грузовые; наличию дополнительных устройств — с дополнительным грузом или без него, с демпфером или без него, с разъемной или цельной вертикальной тягой. Современные эскалаторы оснащены бесшумным приводом, электронным управлением, системой энергосбережения и интеллектуальным приложениям ПО для круглосуточного онлайн наблюдения с целью безопасной эксплуатации.

Основную классификацию эскалаторов удобно кратко представить по основным конструктивным показателям в виде иерархии на рис.13.

По техническим характеристикам тяговых цепей для основных типов эскалаторов (в числителе стоят значения для эскалаторов ЭТ-2, а в знаменателе ЛТ-1).

- Разрушающая нагрузка отрезка цепи, не менее, кН 1100/1300;
- Длина, не более, мм 1800/1770;
- Ширина, не более, мм 105/154;
- Высота, не более, мм 135/130;
- Масса одного отрезка цепи, не более, кг 58/105;
- Масса одного п.м. цепи, не более, кг 36/65,6

В связи с отставанием темпов строительства метрополитена от потребностей города, высокой стоимостью сооружения наклонных входов станций с глубоким заложением и недостаточностью финансирования большая часть станций в Северной столице строилась с одним наклонным эскалаторным тоннелем на 3 ленты эскалаторов. Все отечественные эскалаторы выполнены по традиционной конструкции, характерной для 30-х гг. прошлого века: с приводом на верхнем поворотном участке трассы движения лестничного полотна. Ступень эскалатора, представляющая тележку на 4 колесах (бегунках) шириной 1м была рассчитана на перевозку 2 пассажиров. Эскалатор – «движущееся ступени» для подъема или спуска, как наклонная непрерывно движущаяся лестница с механическим приво-

дом, для пассажиров и обслуживающего персонала считается зоной риска. Возможные опасности становятся реальностью в процессе перемещения для многих пассажиров подземки.

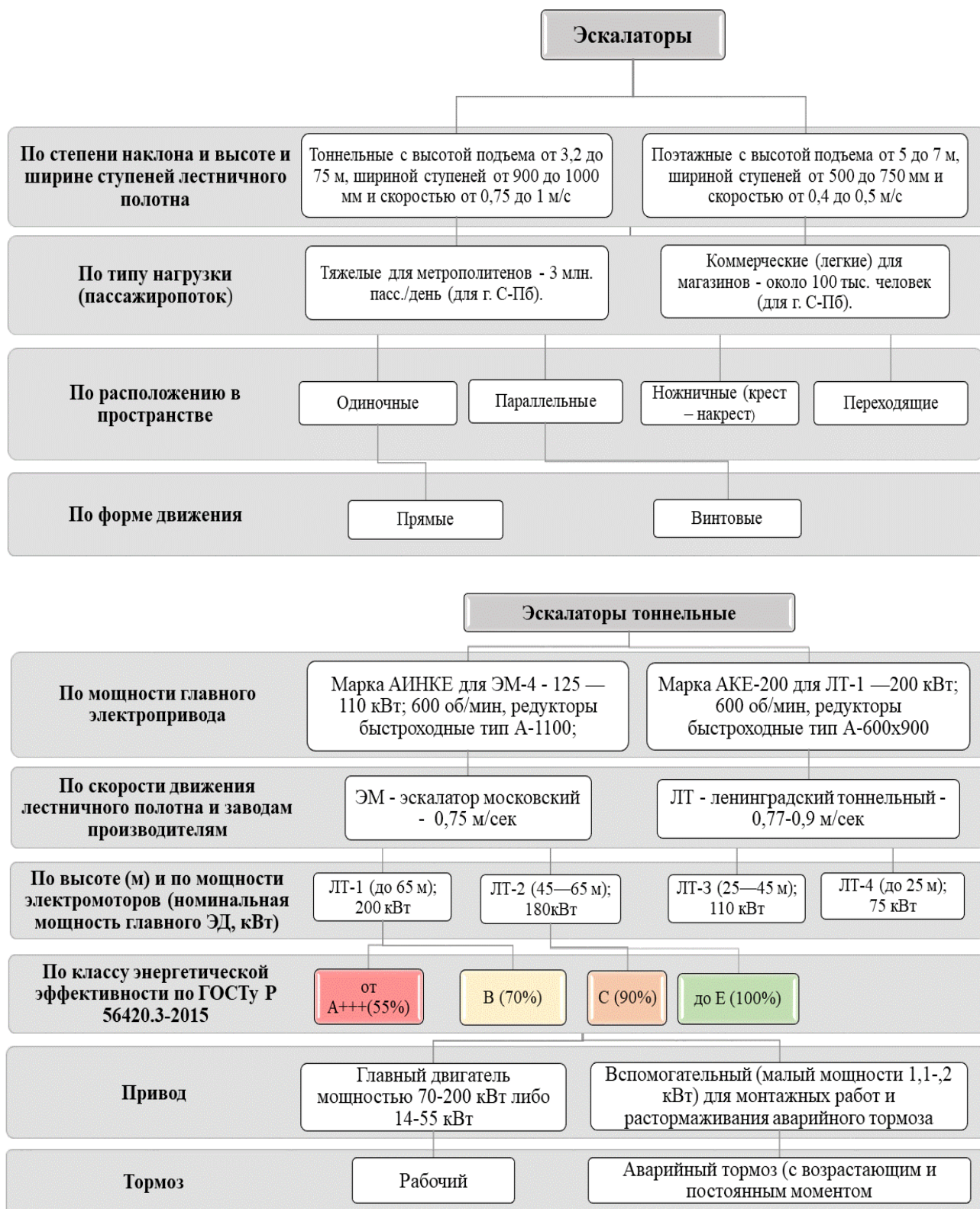


Рисунок 13 – Классификация эскалаторов

Техническое состояние, условия эксплуатации, действующая система содержания и надзора, включающая своевременные ремонтные мероприятия, позволяют поддерживать эскалаторы в безопасной категории работоспособного состояния. Для этих целей должна проводиться регулярная и точная диагностика и выявляться отклонения технических параметров, возможные обстоятельства и изначальные причины отказов и аварий.

Подробный анализ чрезвычайных ситуаций (ЧС) и примеры и статистика аварий на эскалаторах проведен в приложении 2

Большая длина для эскалаторов-рекордсменов в условиях Санкт-Петербурга определяет особые требования к безаварийности, прочности конструкции и надёжности.

Анализ чрезвычайных происшествий в условиях Санкт-Петербурга по данным ГУП «Петербургский метрополитен», связанных с эксплуатацией эскалаторов, позволяет утверждать, что подавляющее большинство количества отказов оборудования происходит в результате несанкционированного вмешательства людей, в том числе, падение пассажиров (табл.4).

Таблица 4 – Количество и причины отказов эскалаторов в г. Санкт-Петербург за период 2015-2017 гг.

Год	Причина отказа				
	Человеческий фактор (неправильные действия персонала)	Техническая причина (неисправность механического и электрического оборудования)	Причина не выявлена	Некачественная продукция предприятия	Несанкционированное вмешательство (Попадание посторонних предметов, падение пассажиров, остановки ключом без необходимости и т.д.)
2015	22	130	40	5	9534
2016	26	109	20	15	10654
2017	12	101	24	13	9342

По данным отечественной статистики риск возникновения опасности с получением травмы пассажиром на эскалаторе составляет всего 5 %, в основном

падения пассажиров происходит без травм (рис. 14). За 2015-2018 гг. 532 пассажира, по данным эскалаторной службы Петербургского метрополитена, на разных станциях метрополитена получили различные травмы на подъеме или спуске по эскалатору, в год это около 177 человек, пострадавших по собственной неосторожности по данным ГУП «Петербургский метрополитен». Анализ тенденций и динамики травматизма, связанного с эскалатором по данным ГУП «Петербургский метрополитен», за период 2015-2017 годы показывает устойчивую тенденцию к безаварийной работе, а падение пассажиров без травм к снижению на 17%, что свидетельствует о высокой надежности и поддержании оборудования эскалаторов в надлежащем техническом состоянии, своевременной диагностике и выявлении возможных отказов и прогнозировании аварий, а следовательно, предотвращении таких ситуаций.

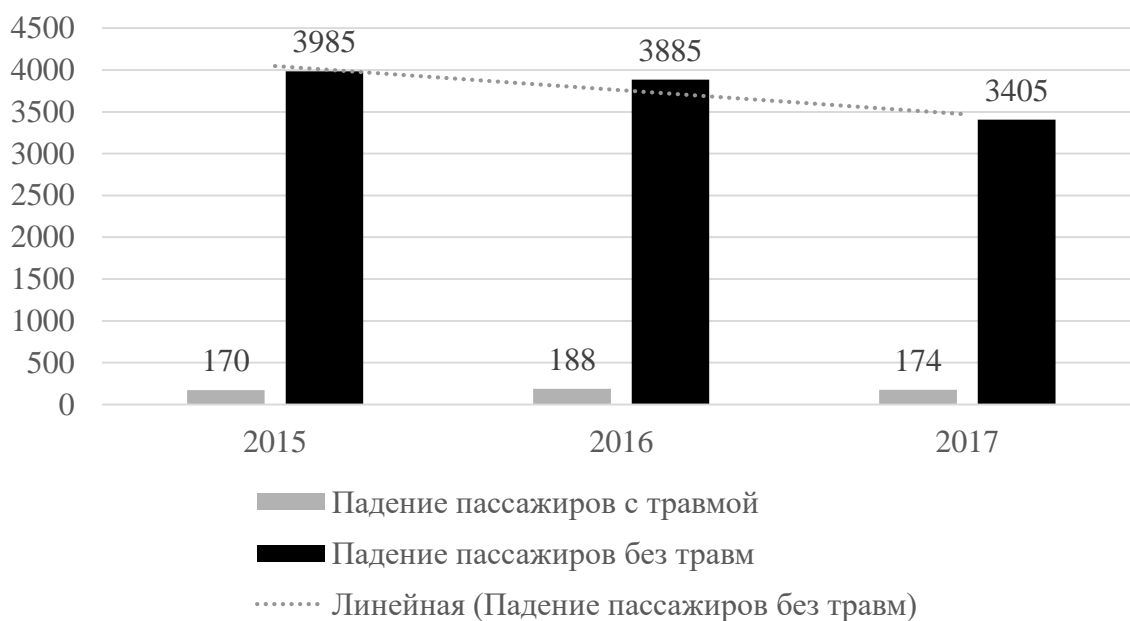


Рисунок 14 – Анализ тенденций и динамики травматизма, связанного с работой эскалаторов Петербургского метрополитена, 2015-2017 годы (по данным ГУП «Петербургский метрополитен»)

Петербургский метрополитен, обслуживает город с населением 5 млн. человек и площадью городской территории около 650 кв. км. В настоящий момент действует 5 линий петербургского метро, эксплуатационная длина в двухпутном исчислении составляет 118,6 км, объем перевозки за 2018 год - 743,2 миллиона



пассажирам, что на 2,3 % выше, чем в 2017 году. Количество станций — 69 (среди них 7 пересадочных узлов — 6 двухстанционных и один трёхстанционный). Ежедневно метро перевозит до 3 млн. пассажиров. Петербургский метрополитен является самым сложным и глубоким в мире: по средней глубине залегания станций и высоте подъёма эскалаторов, которая составляет 47,66 м, а максимальная – 68,60 м – по расчету данных полученных от ГУП «Петербургский метрополитен». Именно этот фактор определяет особенные требования к эскалаторам, как единственному виду подъемно-транспортного оборудования, возможного к использованию в таких условиях эксплуатации.

Как и любая машина, эскалатор в процессе реализации рабочей функции расходует свой ресурс, вследствие чего он нуждается в периодических технических обслуживаниях и ремонтах. Однако, как объект технического обслуживания и ремонта эскалатор метрополитена обладает большой спецификой, заключающейся в следующем.

- вместе с вагоном образует единый процесс по массовому перемещению пассажиров. С учетом того, что вагон можно мобильно заменить исправным, а эскалатор нельзя, так как он нуждается в ремонте на месте, можно отдать приоритет эскалатору.
- исключительно сложная и дорогостоящая машина, смонтированная и работающая в наклонном ходе, в которой проведение ремонтных работ сложно и связано с риском.
- является машиной, к которой предъявляются требования абсолютной безопасности (промбезопасность, тесты Ростехнадзора), так как несоблюдение этих требований может принести большой социальный ущерб.
- метрополитена работает в изменяющихся условиях внешней среды (колебание температуры, влажности, динамические нагрузки и др.), что влечет за собой сокращение по времени наработки на отказ, межремонтного периода.

Строительство преимущественно станций глубокого заложения (89,6%) определяется несколькими факторами, определяющими выбор типа, вида, марки и модели эскалатора:

- Грунтовыми условиями. На глубине от 30-40 до 60-70 м залегают плотные глины, в основном однородные, сухие, хорошо разрабатываемые и отбойными молотками, и механизированными щитами.

- Центральная часть города с плотной застройкой и большим количеством архитектурных памятников и зданий, охраняемых государством, диктовала надежные методы строительства глубокого заложения с минимальным влиянием на застройку в сухих устойчивых грунтах, т.е. в плотных сухих глинах.

- Большое количество рукавов Невы, других рек и каналов, преодолевать которые наиболее безопасно можно именно в плотных глинах, а они под Невой, ее нынешним руслом и многочисленными древними руслами, залегают на глубине 90-120 м.

Строительство первой линии метрополитена было начато в 1941г., когда на «вооружении» у метростроителей еще не было щадящих способов строительства и механизмов, которые появились спустя 40-60 лет.

На сегодняшний день в Петербургском метрополитене эксплуатируется 77 вестибюлей, 281 эскалатор (19 различных типов), 18 траволаторов и 856 турникетов по данным ГУП «Петербургский метрополитен». Ремонт эскалаторов в метрополитене Петербурга носит запланированный характер. Сотрудники службы по ремонту подъемного механизма регулярно проводят техническое обслуживание всех машин. Это делается для того, чтобы устранить все возможные неполадки до их возникновения и предотвратить сбой в работе механизма.

По данным ежегодного анализа (по данным ГУП «Петербургский метрополитен», за период 2012/2018 гг.) на линиях Петербургского метрополитена эксплуатируется 251/281 эскалатора 19 типов, включая основные типы с высотой подъёма 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%), см. рис.15

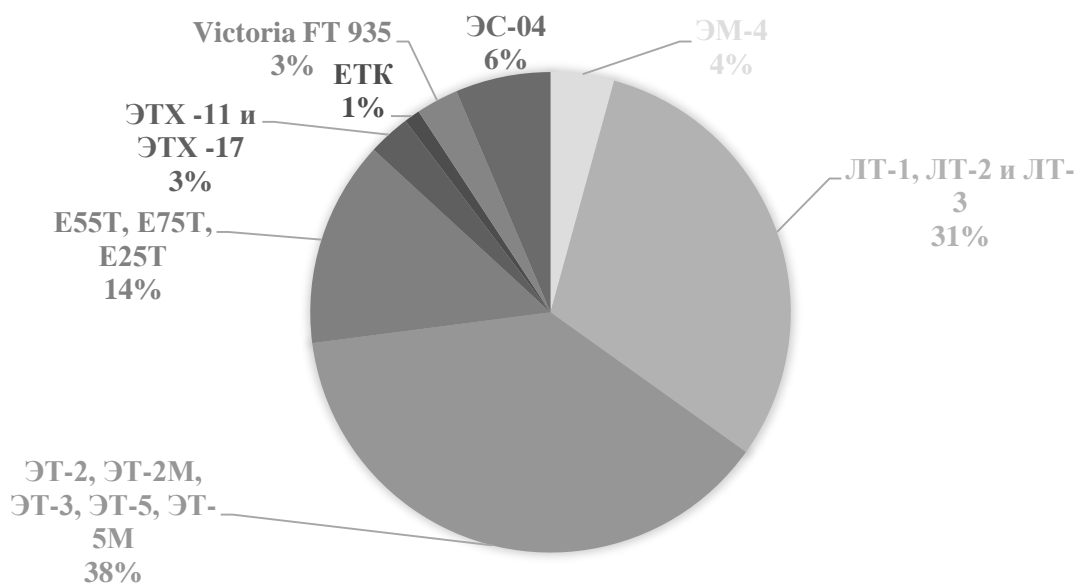


Рисунок 15 – Диаграмма распределения эскалаторов по классификации основных типов (серий) по данным ГУП «Петербургский метрополитен». на 28.01.2019 г.

Эксплуатируемые типы эскалаторов Петербургского метрополитена представлены в табл. 5, конструкции различаются по заводам изготовителям, ранжируются высотой подъёма (см. рис. 16), скоростью движения ленты, мощностью двигателя главного вала, конструкцией основных узлов привода, направляющих, ходового полотна, поручневого устройства, натяжной станции и схемой электропривода.

Унифицированные отечественные тоннельные эскалаторы имеют: высоту подъёма 10-65 м, ширину ступеней 900-1000 м и скорость 0,75-1 м/с. Рекордным исключением стал эскалатор тип Е75Т (цифры обозначают высоту подъёма) для станции метро «Адмиралтейская», с большим наклоном и высотой подъёма до Н=68,7 м.

По состоянию на январь 2019 года были запущены в эксплуатацию 3 эскалатора типа ЕТК-265 (высотой Н=[45,1;65] м) производства Крюковского вагоностроительного завода, 8 эскалаторов типа *Victoria FT 935* (высотой Н= 39,2 м) оборудование немецкого концерна *Thyssenkrupp Elevator AG* и 18 эскалаторов типа ЭС-04 (высотой Н=[3;12] м) производителя ЗАО «Эс-сервис» (ЗАО «ЭС-КОМСТРОЙМОНТАЖ-СЕРВИС»), суммарно эта «новая» группа составляет

рост на 10% в сравнении с 2012 г.

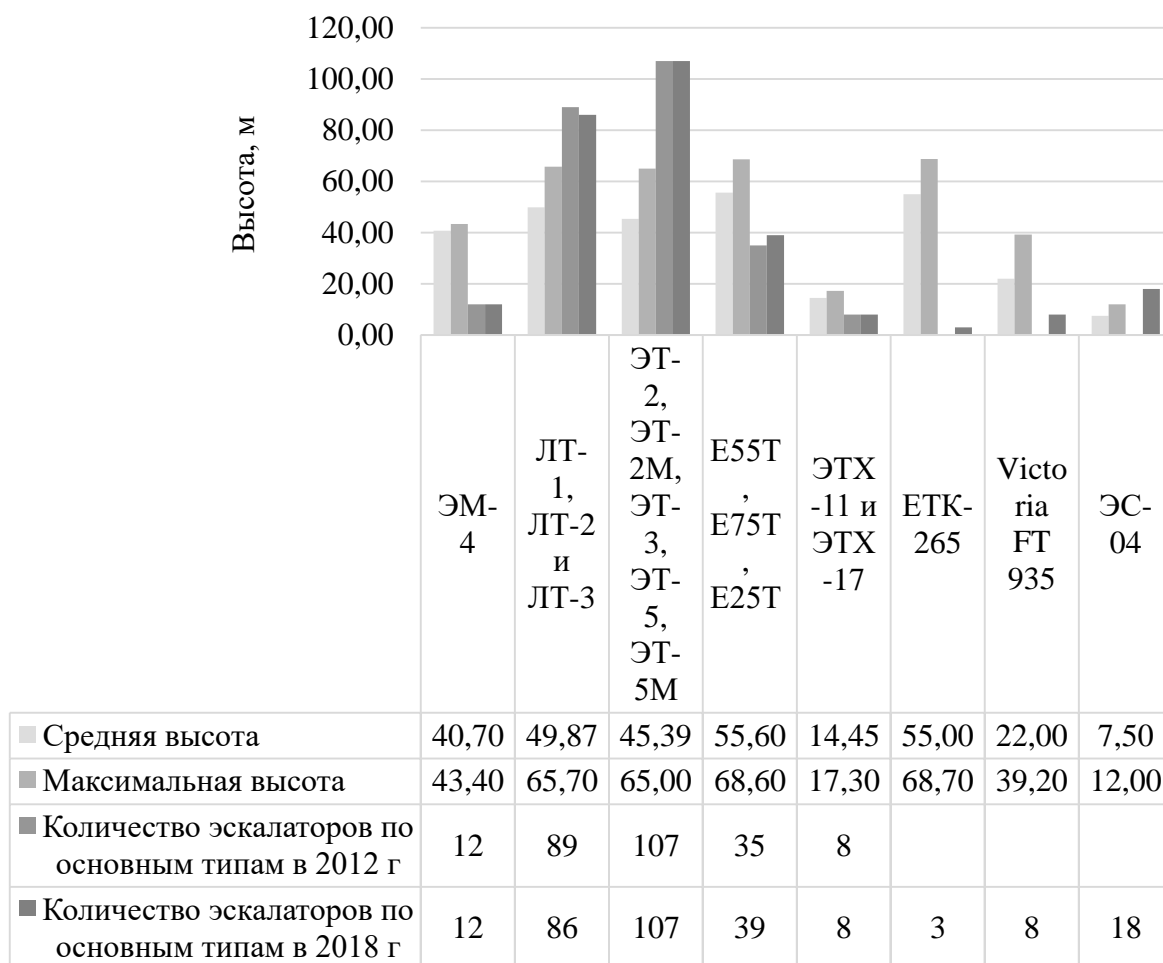


Рисунок 16 – Диаграмма распределения эскалаторов по длине по данным Петербургского метрополитена за период 2012-2018 г.

В эксплуатации также находятся 18 пассажирских конвейеров моделей производителей: 6 пассажирских конвейеров типа *Orinoco* FS 985; 4 пассажирских конвейеров типа КП-12-6,9; 4 пассажирских конвейеров типа КП-12-7,2; 4 пассажирских конвейера типа КП-12-7,3; 2 платформы подъёмных для инвалидов типа *Cibes* A500; 1 платформа типа *Vimes* V65 8 платформ типа *HIRO* 320 (БК 320); 5 платформ типа БК исполнение 320.

Основная тенденция современного состояния эскалаторов – это их массовое старение: основные конструктивные 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.

Таблица 5 – Основные типы эскалаторов Петербургского метрополитена и их характеристики

Основные группы, серии	Средняя высота	Максимальная высота	Количество	Год выпуска	Примечание: Годы выпуска, Завод-изготовитель, Высота подъёма, Мощность, Скорость
ЭМ-4	40,70	43,40	12	1955	1952—1966 гг, Перовский машиностроительный завод, до 43 м, 125—160 кВт, 0,75 м/с
ЛТ-1, ЛТ-2 и ЛТ-3	49,87	65,70	86	1955-1975	1954—1959, «Красный металлист» (Ленинград), 45,2—65 м, 200 кВт, 0,9 м/с
ЭТ-2, ЭТ-2М, ЭТ-3, ЭТ-5, ЭТ-5М; ЭТ-4БС; ЭТ-12П; ЭТ-12	45,39	65,00	107	1978-1997	1978—1997, Завод имени И. Е. Котлякова (Ленинград), 45,2—65 м, 200 кВт, 0,94 м/с
Е25Т, Е55Т, Е75Т	55,60	68,60	39	2005	2003, ЗАО «ЭЛЭС» (Санкт-Петербург), 55—75 м, 160; 200 кВт
ЭТХ -11 и ЭТХ -17	14,45	17,30	8	2009	ООО «Конструктор» совместно с ОАО «Кировский завод» (Санкт-Петербург)
ЕТК-265	55	68,7	3	2014	2015, Завод имени И. Е. Котлякова (Ленинград), 45,1—69 м, 160 кВт, 0,75 м/с
Victoria FT 935	22	39,2	8	2014	2015, ThyssenKrupp, 4-39,2 м, 160 кВт, 0,75 м/с, энергосберегающий режим

Средний возраст эскалаторов по данным ГУП «Петербургский метрополитен» составляет 25 лет, примерно такой же был и в *Metrorail* (США). Но, после капитального ремонта средний возраст сократился до 9,9 лет, было закуплено 145 новых эскалаторов и 153 отремонтированы в течении 8 лет (2011-2019 гг), всего было потрачено \$176 млн. Основным производителем эскалаторов для ГУП «Петербургский метрополитен» был ЗАО «ЭЛЭС», но для станции «Спасская» был выбран производитель ЗАО «Универсалмаш» (дочернее подразделение ОАО «Кировский завод»). В результате неудачного опыта эксплуатации с большим количества отказов, в ряде городов, в том числе и Н. Новгороде и Северной столице, эскалаторы были призваны неработоспособными и были заменены на конструкции немецкого концерна *ThyssenKrupp Elevators*.

Наиболее используемые типы эскалаторов, используемые в ГУП «Петербургский метрополитен» и нарушения работы эскалаторов в соответствии с классификатором за период с 2014 года по 2018 год приведены в таблице 1 и 2 приложения 4 Диаграмма по данным табл. 2 представлена на рис. 17 На основании

представленной гистограммы можно делать вывод, что основные нарушения (два максимальных уровня пиков) происходят из-за высокой степени износа двигателей большинства типов эскалаторов и как следствие, высокий показатель неисправности механического и электрического оборудования (см. по обозначениям и данным указанные выше в табл., код 3.1 - Неисправность механического оборудования и код 3.2 - Неисправность электрического оборудования).

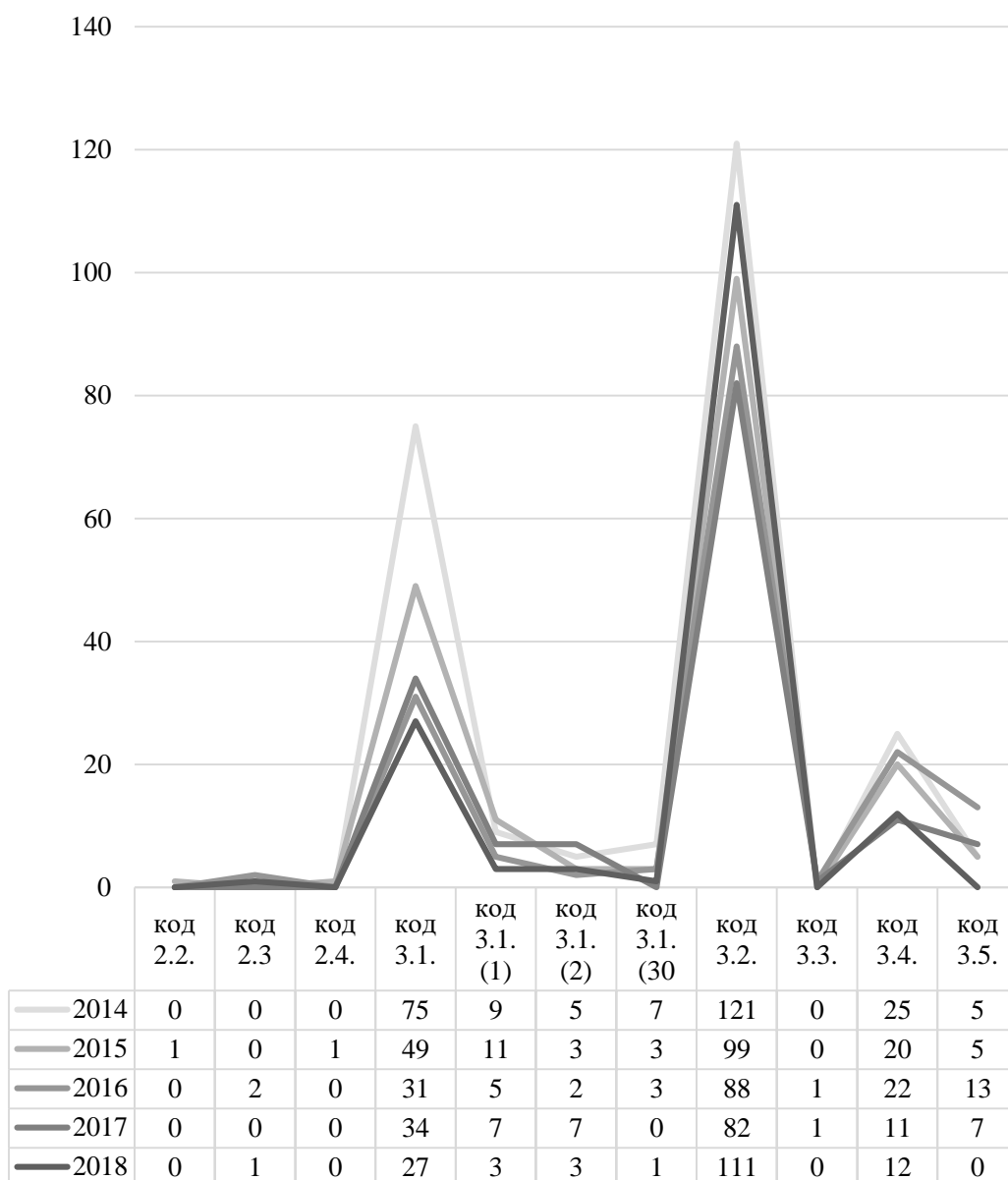


Рисунок 17 – Нарушения работы эскалаторов по всем типам эскалаторов по данным ГУП «Петербургский метрополитен»

Рассмотрим отказы и неисправности на некоторых типах эскалаторов, наиболее используемых в ГУП «Петербургский метрополитен». Отказы и нару-

шения по основным типам (ЛТ-1; ЛТ-2; ЭТ-2; ЭТ-2М; ЭТ-5М) используемых эскалаторов представлены в табл. 3 прил. 4, по результатам которой построена диаграмма 18.

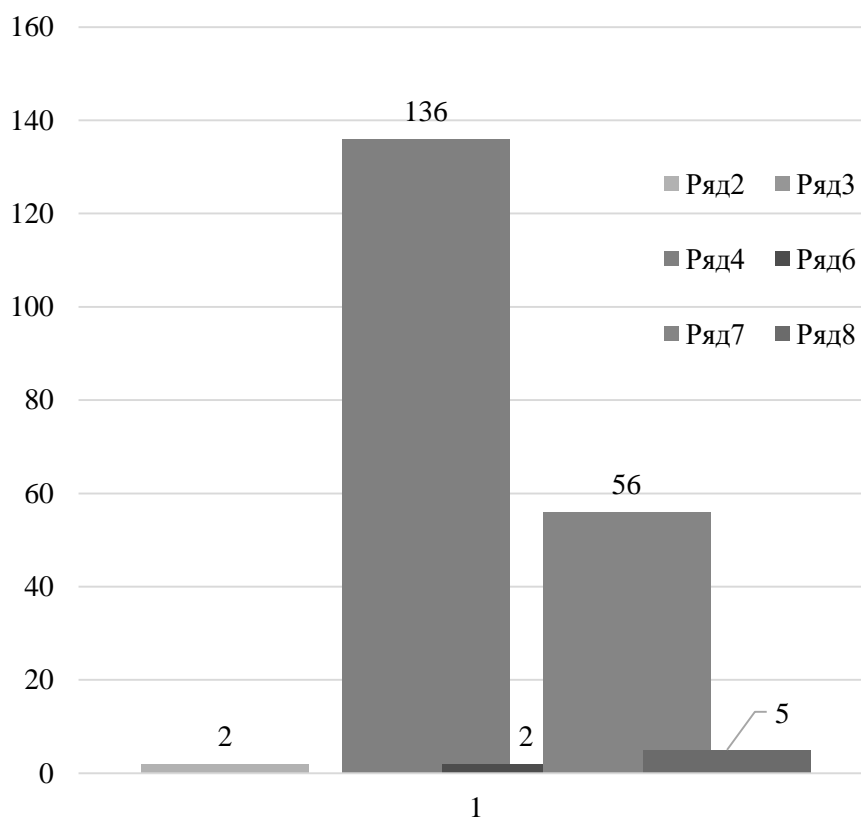


Рисунок 18– Диаграмма отказов и нарушений по основным типам эскалаторов

*Условные обозначения к рис. 39: ряд 2 - Запуск эскалатора в обратном направлении под пассажирской нагрузкой; ряд 3 - Опасный отказ в работе эскалаторов; ряд 4 - Неисправность механического оборудования; ряд 5 - Неисправность электрического оборудования; ряд 6 - Некачественное выполнение кап. ремонта; ряд 7 - Неправильные действия персонала; ряд 8 - Некачественное изготовление сборочных единиц.*

Из представленной диаграммы видно, что основными причинами отказов является неисправность электрического оборудования, это может быть неисправность контакторов, пускателей, реле. Выход из строя хотя бы одного контактора или приставки к нему (блок-контакты, контактные приставки) способно привести к остановке эскалатора и как следствие нарушению графика перевозочного процесса. Такие неисправности необходимо устранять в кратчайшие сроки.

Одной из основных причин нарушения нормальной работы электрического оборудования, как правило в большинстве случаев является плохой соеди-

нительный контакт. Поэтому, для предотвращения отказов в работе оборудования требуется проводить соответствующие регламентные работы (планово-предупредительные ремонтные ППР и ревизионные работы РРР).

Второй причиной отказов контактора пускателя, реле являются неисправность катушки. Также причиной неисправного контактора является залипание катушки. Может являться следствием механического повреждения контактора, или повреждением немагнитной прокладки между якорем и катушкой.

Методы устранения таких неисправностей в условиях эскалаторной станции достаточно просты и в большинстве случаев заключаются в замене вышедшего из строя аппарата. В отдельных случаях неисправные аппараты передаются в ЭСЧ-Р (ремонтное подразделение) для проверки и выдачи заключения о целесообразности их дальнейшего использования.

Из вышеперечисленных данных по статистике нарушений и неисправностей, можно сделать вывод о необходимости и актуальности своевременной диагностики и мониторинге оборудования.

Начиная с кризисного 2008 года во всем мире, в том числе и в России наблюдается системный дефицит инвестиций, направленных на обновление инфраструктуры. Данная опасная тенденция ведет к сохранению в эксплуатации значительного количества эскалаторов, устройств электроснабжения, автоматики и централизации, полностью выработавших нормативные сроки службы и не соответствующих современным техническим требованиям, а как следствие, рост числа отказов и аварийных ситуаций.

Динамика изменения технического состояния эскалаторов за последние годы позволяет сделать вывод о том, что с каждым годом существенно увеличивается физический износ конструкций, при этом эксплуатационный износ оборудования составляет 83,3%, за прошлый год данный показатель уменьшился до 68,8 %, с учётом пуска в октябре 2019 года станций «Проспект Славы», «Дунайская».

Безопасность перевозки пассажиров на эскалаторах обеспечивается за счет системы комплексного подхода, включающего следующие мероприятия:



- замена эскалаторов устаревших конструкций на новые, более совершенные и надежные в эксплуатации;
- качественное содержание всех элементов и узлов машин путем выполнения планово-предупредительных ремонтных и ревизионных работ в соответствии с инструкциями по техническому обслуживанию эскалаторов;
- подготовка квалифицированных кадров, обслуживающих эскалаторы и осуществляющих их управление;
- внедрение современных систем.

В соответствии с Федеральным законом № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», принятым Государственной думой 20 июня 1997 г., эскалаторы относятся к категории технических устройств, используемых на опасных производственных объектах, и подлежат экспертизе промышленной безопасности по истечении их нормативного срока службы.

Названные и другие специфические условия эксплуатации, связанные с интенсивным износом оборудования, с эксплуатацией конструкций и их модификаций со средним возрастом эскалаторов свыше 25 лет, требуют пересмотра правил по назначению ремонтных работ для эскалаторов в ГУП «Петербургский метрополитен».

Перспективным направлением является вибродиагностика и мониторинг для постоянного контроля за техническим состоянием эскалаторов, что позволяет проводить работы не по плану, а по состоянию с учетом дефектности, степени износа деталей и остаточного ресурса.

Сегодня внедрение мониторинга эскалаторного оборудования – это переход от системы ремонтов по плану к системе назначения ремонтных работ и их очередность по техническому состоянию при помощи диагностики оборудования, что признается наиболее эффективным для обеспечения надежности, безопасности и безотказности эскалаторного оборудования.

В настоящее время подходы к эффективному и научному управлению транспортными объектами на стадии жизненного цикла претерпели кардинальные

изменения и должны соответствовать ключевым трендам цифровой трансформации в транспортной области: «Интернет вещей» (*IoT*), «технология больших данных» (*Big Data*), цифровой двойник (*Digital Twin*), система «умных датчиков» (*Smart Sensor*).

На современном этапе развития для управления эскалаторным оборудованием актуально применение инновационной автоматической системы диагностики. Перспективное направление исследования включает мониторинг и диагностику технического состояния эскалаторного оборудования ГУП «Петербургский метрополитен» со средним возрастом – 25 лет и общим износом – 68,8 %. Основная система показателей, включая отложенный положительный экономический эффект, будет достигнута в результате применения инновационных технологий упреждающего подхода с использованием непрерывного сбора данных при помощи автоматической системы мониторинга и диагностики.

### **1.3 Изучение и анализ инновационных методов и методик контроля диагностики состояния эскалаторного оборудования**

В данном разделе автором проведен анализ традиционной системы обслуживания и представлены результаты по поиску лучшей стратегии по управлению в течении всего жизненного цикла. Выполнен анализ новых систем диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования, в том числе и цифровых датчиков), внедряемых с целью ускорения поиска причины отказа, своевременному ее устранению и формированию комплекса ремонтных работ по восстановлению и предотвращению появления отказов.

Традиционная система обслуживания состоит в круглосуточном дежурстве персонала по скользящему графику в несколько смен. В каждой смене работают 2 (иногда 3) чел.: машинист эскалаторов и помощник машиниста. Они выполняют как оперативное управление эскалаторами, так и техническое обслуживание, включая планово-предупредительные ремонты.

К оперативным обязанностям персонала относятся надзор за работающими эскалаторами, выполнение их переключения, пуск после внезапной остановки, устранение мелких неисправностей в процессе работы, обеспечение бесперебойной и безопасной работы и т.п.

Наибольшее число замен приходится на ступень (до 84 %) - это составляет 25 % всех трудозатрат на замены и ремонт и на поручень (около 60 % всех внеплановых трудозатрат при обслуживании). Следовательно, повышая надежность только двух узлов эскалатора — ступени и поручня, можно сократить трудозатраты на обслуживание эскалаторов на 85 % и приблизительно на 80 % уменьшить отказы в работе.

Основной недостаток традиционной системы обслуживания — невысокая производительность труда для различных модификаций эскалаторов, особенно, возраст которых подходит к концу срока эксплуатации (50 лет).

Постоянный недостаток финансирования ремонтных работ, капитального ремонта и реконструкции, высокая степень износа основных фондов, отсутствия профессиональных компетенций, знаний новых технологий управления приводят к замедлению роста показателя производительности и безопасности.

Отказы устройств и механизмов эскалатора могут не только приводить к задержкам в движении пассажиров, но и становиться причиной аварий, т. е. серьезных нарушений безопасности перевозочного процесса метрополитена, а, следовательно, в целом - основной городской транспортной системы. Именно поэтому следует поддерживать высокий уровень надежности в процессе их эксплуатации. Необходимо внедрять автоматизации трудоемких процессов, применению новых конструкций, новой технологии обслуживания и ремонта, внедрению средств технической диагностики и др.

Современные технологии управления сложным оборудованием строятся на основе разнообразной информации, получаемой в режиме онлайн от постоянно расширяющейся системы средств измерения параметров рабочих и вторичных процессов. Совместный анализ мгновенных значений этих параметров позволяет своевременно обнаружить опасное состояние оборудования и перевести

объект контроля в безопасный режим работы, либо остановить его.

Такие задачи решаются объединенными системами мониторинга состояния и управления, которые контролируют наиболее общие параметры рабочих и вторичных процессов, доступные для быстрого измерения и первичной оценки состояния объекта без их глубокого анализа. Так, для контроля текущего состояния машин и оборудования по вибрации, как правило, измеряются ее уровни в стандартных полосах частот, реагирующие на появление многих из опасных дефектов лишь в аварийной ситуации, перед самым отказом оборудования. Но подобные решения уже нельзя считать прогрессивными, необходимо на раннем этапе обнаруживать опасные дефекты и давать прогноз остаточного ресурса для оптимизации работ по выводу объекта из эксплуатации и проведению работ по обслуживанию (ремонту).

Все это возможно при параллельном измерении и анализе всех контролируемых процессов, содержащих максимальный объем диагностической информации, и во всех точках их измерения на объекте контроля. А если все необходимые виды анализа выполнять в кратчайшее время в режиме онлайн, можно, во-первых, обоснованно задержать вывод аварийно-опасного объекта из эксплуатации до принятия мер по устранению опасных последствий, а, во-вторых, быстро восстановить его работоспособное состояние по полученным данным онлайн диагностики.

Для повышения надежности эскалаторов необходимо изменения по сроку (периодичности) ремонта в зависимости от величины пробега в следующем диапазоне: при пробеге 7,5; 15; 45 тыс. км — разные виды ремонтов. Виды ремонта (7,5 и 15 тыс. км) осуществляются собственными силами службами эксплуатации, а вид ремонта при 45 тыс. км производится на заводе-изготовителе. Проведенные технические и организационные мероприятия позволили увеличить на некоторых метрополитенах межремонтные сроки работы.

Максимальный объем информации о состоянии агрегатов с узлами вращения содержится в сигналах их вибрации, контролируемой в нескольких точках агрегата, и тока, контролируемого в силовых обмотках электрической машины.

Их совместный синхронный анализ резко увеличивает качество диагностики за счет использования не только методов спектральной диагностики и диагностики по форме процессов импульсного (ударного) происхождения, но и дополнения их методами пространственной (по точкам контроля) диагностики, а также диагностикой по переходным процессам. А диагностика агрегатов в режиме онлайн дает дополнительные возможности по контролю технологических процессов, выполняемых агрегатами, и эффективному управлению этими процессами по фактическому состоянию технологического оборудования.

В настоящее время ведущие производители представляют типовые элементы информационных моделей конструкций тоннельных эскалаторов для *BIM* моделирования, а самые передовые продвигают новый этап развития *BIM* - технологии для цифровых двойников, которые представляют основу для мониторинга состояния крупных электромеханических систем и обладают значительными данными и средствами для прогнозирования критических сценариев чрезвычайных ситуаций. Использование цифровых двойников с уникальной возможностью виртуальной симуляции позволит по прогнозам экономить от 5 до 20% капитальных затрат с высокой степенью обеспечения безопасности – 98.

Одна из самых инновационных стратегических технологий для виртуального представления реальных физических и динамических характеристик объектов – цифровой двойник (*digital twin*), который подключен к глобальной облачной инфраструктуре, включает автоматизированную систему оперативной диагностики и анализа потоков данных с различных устройств (камеры, сенсоры, датчики, чипы и т.д.) для своевременной замены оборудования, снижения эксплуатационных расходов, повышения безопасности и предотвращения аварийных ситуаций.

Немецкая компания *ThyssenKrupp* является первой в мире компанией, которая разработала систему диагностики для эскалаторов с помощью технологических инноваций, включающей разработки программного обеспечения для удаленного мониторинга с помощью Интернета в начале 2000-х гг.

Для повышения эффективности, прогнозирования неисправностей такие

крупные компании, как *KONE* с 2017 года используют технологии Интернета вещей платформу *IBM Watson IoT Platform* для предоставления круглосуточных интеллектуальных услуг для лифтов и эскалаторов для портативных устройств на смартфонах и планшетных ПК. Модель круглосуточного дистанционного обслуживания финской компании *KONE CARE™* включает поддержку 24/7 в формате «одного окна». Инновационная система включает интеллектуальную платформу, которая может контролировать, анализировать и отображать в режиме реального времени бесчисленное количество данных от датчиков (диагностического оборудования), повышая производительность оборудования, надежность и безопасность.

Рассмотрим новые решения и инновационные технологии, найденные при поиске в сети Интернет на сайтах-производителях, описанные автором в статье [56]. Инжиниринговые компании предлагают необходимое оборудование и методики для комплексной реализации мониторинга и обеспечения исправного технического состояния и безотказной работы всех эскалаторов, имеющих на балансе с применением следующих умных датчиков и ПО:

- система автоматического управления эскалаторами с обеспечением безопасности с применением лазерных измерительных систем (двухмерный лазерный сканер, например, датчик *2-D LiDAR*, производства Германии);
- бесконтактное устройство синхронного управления скоростью между подвижными элементами эскалатора с применением оптических (фотоэлектрических) датчиков (например, датчики R10x и R20x, *Pepperl+Fuchs GmbH* производства Германии).
- высокоточный интерактивный с дисплеем двухмерный датчик *2-D LiDAR* серии R2000 (с высотой 116,5 мм) с обзором видимости на 360°, позволяет сканировать контуры объектов и объединять данные в трёхмерное точечное облако *NeoNeon* для построения «цифрового двойника».
- видео инструкции, настройки для датчиков при помощи программного обеспечения *PACTware 5.0*, чертежи в *2D*, *3D* и анимации размещены в от-

крытом доступе на сайте <https://www.pepperl-fuchs.com/>, а практическое видеоруководство на *YouTube* канале по настройке контрольных полей (параметризация зоны) лазерного сканера.

- оптические датчики, использующие оптический принцип (например, семейство датчиков R10x до R20x, составляют основную массу датчиков для современного автоматизированного производства и служат для бесконтактного измерения положения и перемещения.

- инновационные датчики оснащаются функциями непрерывно контроля параметров и коммуникации до уровня облачных технологий с автоматизации с системой *IO-Link*, что позволяет создать умный эскалатор. Новые возможности сочетают в себе функции измерения традиционных решений с доказавшим свою эффективность принципом триангуляции, существующий способ создания геодезических сетей.

- датчики нового уровня разработанные на основе стандарта *Smart Sensor Profile*, которые включают базовые функциональные возможности: доступ к настройкам, параметры, обработка данных и диагностика.

- система мониторинга на основе датчиков с целью проведения профилактического обслуживания, что в конечном итоге предотвращает непредвиденные остановки. При использовании *IO-Link* выполняется мониторинг и коррекция устройств эскалатора для предотвращения ненадлежащей работы и остановки.

- единая программная среда для конфигурирования, программирования, моделирования и мониторинга для всех участников в программном продукте *Sysmac Studio* для полного контроля с бесшовной интеграции и совместимости всей продукции.

В результате проведенного патентного поиска на 15.01.2020 года по выявлению аналогов из современного уровня, оригинальные технические методы и системы по мониторингу эксплуатационного состояния эскалаторов представлены в табл. 6.

Таблица 6 – Основные патенты на изобретения в области технологии

мониторинга эскалаторов из БД *Espacenet*

Название патента	Номер публикации	Изобретатель(и), Заявитель(и)	Дата публикации заявки
Устройство контроля вибрации редуктора	RU167483 (U1)	Филин А. Н.	2016.01.18
Устройство контроля вибрации редуктора	RU174229 (U1)	Филин А. Н., Коровина М.С.,	2017.08.03
Устройство контроля вибрации редуктора	RU169944 (U1)	Филин А. Н.	2016.11.23
Устройство и способ контроля пожарной безопасности для пересадочного узла между подъемной станцией метро и подземной станцией	CN10612828 6 (A)	Zhong Maohua Liu Chang	2016.09.05
Система проверки шумовой вибрации и скорости движения лифта	KR10191538 4 (B1); KR20180095 146 (A)	Kim Yun Kyum,	2017.02.16
Устройство и способ проверки защиты от отклонения скорости для ручной накладки эскалатора	CN10618558 9 (A)	Ruan Yihui	2016.08.29
Автоматическая система контроля безопасности эскалатора на основе двухразмерного лазерного датчика	CN20489706 6 (U)	Yu Hao Jiang Qing, Csei	2015.05.29
Бесконтактный эскалатор/трехмаршевое устройство и способ синхронного обнаружения скорости	CN10798612 5 (A)	Zhang Fengbiao Wang, Asei	2017.10.24
Современные методы энергосберегающего управления метро для облачных моделей на основе Интернета вещей и больших данных	CN11026340 7 (A)	Zhang jing, Univ nanjing posts & telecommunications	2019.06.13
Устройство и способ для обнаружения отсутствующей ступени транспортера	RU20111407 53 (A); RU2491226 (C2)	Брааш Буркхард, Отис, СПб	2009.04.20
Устройство для магнитометрии	RU155669 (U1)	Ватулин Я.С., Сахаров Р.А., ПГУПС	2015.07.01

По представленному обзору можно резюмировать, что предупреждение аварий и катастроф эскалаторного оборудования решается путем применения комплексной системы мониторинга с использованием следующих методов неразрушающего контроля: виброакустики; оптической диагностики с фотоприем-



никами; магнитометрии, магнитной памяти металла и тепловизионного контроля.

В табличном обзоре и Приложении 3 (полнотекстовая подборка) представлены отечественные и зарубежные патенты: в области построения энергосберегающей облачной модели управления умной средой метрополитена (патент CN110263407); метод магнитной памяти металла (патент RU155669); метод спектрального анализа виброакустического сигнала (патенты RU167483, RU174229, RU169944); система автоматического управления эскалаторами 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 (RU2011140753) и остальные системы для контроля шума, вибрации и скорости движения лифтовых элементов и пожароопасности.

Рассмотрим примеры применения интегрированных вариантов системы мониторинга с механизмами самодиагностики для эскалаторов в различных странах.

Новая интеллектуальная система управления энергией *SEAM4US*, внедренная для станций метрополитена в Испании показала эффективность по энергосбережению для эскалаторов ( $8,5\% \pm 1,9\%$ ) [82].

В Финляндии предлагают вести анализ энергоэффективности для эскалаторов, основанный на датчиках подсчет числа пешеходов в дальнейшем становится полезным инструментом для контроля состояния эскалаторов и корректировки их энергосберегающих настроек [83].

Недостатки и ограничения классического подхода в цифровой век: отсутствуют данные о реальном техническом состоянии, нет синхронизированного обновления данных онлайн с смс-информированием, анализом прогноза изменения технико-экономических параметров для выбора оптимальной стратегии необходимых ремонтных работ, отсутствует электронный массив информации по

динамической библиотеке отказов проблем работоспособности по текущим эксплуатационным показателям эскалаторного оборудования.

Создание и развертывание перспективных решений и технологий, основанных на оптимальной цифровой стратегии, позволяет достичь наилучшие экономические результаты, извлечь максимальную прибыль, учитывая долговременный процесс эксплуатации, включающих ремонтные мероприятия эскалаторного оборудования на протяжении всего срока эксплуатации - 50 лет.

В настоящее время новый технологический прорыв в системе управления жизненным циклом происходит с использованием цифровых двойников, семейства умных датчиков и сенсоров с целью повышения надежности эксплуатации и сокращения периодичности ремонтных работ.

Интегрирование искусственного интеллекта необходимо для моделирования, анализа и оптимизации определения приоритетности выполняемых работ «цифрового двойника» тоннельного эскалатора. В будущем, по мере совершенствования инновационных платформ, сенсорных и планшетных технологий для использования цифровых эскалаторных двойников с системой умных датчиков, ожидается положительный экономический эффект в размере 20% от удельных капитальных вложений и обеспечения безопасности – 98%.

## **Глава 2 СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭСКАЛАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

### **2.1 Анализ методов и методик производства ремонтных работ эскалаторного оборудования**

Выполним анализ существующих методов диагностики для оценки и прогнозирования технического состояния эксплуатируемого эскалаторного оборудования для оперативного назначения восстановительных работ. Предложена классификация методов диагностики на протяжении всего жизненного цикла, дана идентификация источников виброактивности и поиск «слабых» узлов для назначения ремонтных работ по текущему состоянию.

Объективность оценки и точность в назначении сроков ремонтных работ должна повыситься за счет применения удаленной системы мониторинга. Все вышеперечисленное является целью дальнейшей работы автора.

Достоверная и своевременная качественная оценка эскалаторов необходима для повышения эффективности эксплуатации и безопасности функционирования транспортной системы в масштабах целого города. Однако на текущий момент методический аппарат по диагностике и оценке технического состояния эскалаторов всех существующих основных типов и оперативного назначения ремонтных работ с ограничениями по выполнению - отсутствует. При производстве ремонтных работ автором предлагается применение прогрессивных способов и передовых методов ремонта - по упреждающей технологии.

Для оценки эффективности применения методов диагностики и ремонта выдвинуты основные критерии: минимум затрат по времени на проведение операций диагностики для контроля текущего технического состояния; поиска дефектных элементов, экономии ресурсов на протяжении всего жизненного цикла.

Существующая система ППР даёт возможность подготовить постоянную с перспективой на длительный период ремонтную программу: по видам ремонтов и типам оборудования. Однако, в новых цифровых условиях она не обеспечивает

во многих случаях принятие оптимальных решений, следующими причинами и обстоятельствами: назначение профилактических работ осуществляется по строгому нормативному регламенту; планы-графики профилактических работ не устанавливают приоритетность и важность выполнения работ с привязкой по срокам; при составлении планов-графиков не происходит выбор оптимального решения по различным критериям и ограничениям по технологиям, ресурсам (потребности в ремонтном персонале, в материалах, запасных частях, покупных комплектующих изделиях), а также отсутствует рациональное управление состоянием оборудования и бизнес-процессом обслуживания и ремонта эскалаторов на всем протяжении эксплуатационного цикла с учетом ограниченного и лимитирующего выполнения ремонтных программ.

Применение системы постоянного мониторинга технического состояния узлов эскалаторного оборудования позволяет решить указанные проблемы, осуществлять контроль технического состояния и прогнозировать с высокой степенью вероятности сроки достижения предельного состояния и остаточного ресурса объекта, что в конечном итоге повысит безопасность.

С контролем качества производства и ремонта эскалаторного оборудования напрямую связаны технический и экономически ориентированный подход, что дает для оценки инноваций дополнительные эффекты и показатели, которые включают как социально-экономические, так и научно-технические.

Для бесперебойной и безаварийной эксплуатации с заданными скоростями технически сложных тоннельных эскалаторов на протяжении всего жизненного цикла необходима система постоянного неразрушающего контроля, включающих диагностику и мониторинг технического состояния с контролем значений всех номинальных технических параметров приводной группы.

Основная функция технического диагностирования, связанная с определением технического состояния, является не только обеспечение безопасности, но и длительной работоспособности с наименьшими затратами в течение всего жизненного цикла, с уменьшением расходов на содержание, снижением затрат на

замену оборудования, получивших необратимое техническое состояние в результате внезапных отказов оборудования, ЧП, аварий.

Таблица 7 –Контроль качества производства и ремонта эскалаторного оборудования

N	Показатель	Методика расчета	Единица
1	Количество случаев из-за некачественного производства	Суммарное количество случаев из-за некачественного производства за период по отношению к предыдущему периоду в гарантийный срок	Количество случаев
2	Время простоя эскалатора из-за некачественного производства	Время простоя эскалатора из-за некачественного производства / время работы эскалатора в плановом режиме x 100%	Час/дни
3	Количество случаев из-за некачественного монтажа узлов и деталей эскалатора в процессе ремонта	Суммарное количество случаев из-за некачественного монтажа узлов и деталей эскалатора в процессе ремонта за период по отношению к предыдущему периоду в гарантийный срок	Количество случаев
4	Время простоя эскалатора из-за некачественного монтажа узлов и деталей эскалатора в процессе ремонта	Время простоя эскалатора из-за некачественного монтажа узлов и деталей эскалатора в процессе ремонта/ время работы эскалатора в плановом режиме x 100%	Час/дни

Важной составляющей для обеспечения технического состояния при помощи мониторинга, являются системы централизованного контроля для назначения приоритетных ремонтных мероприятий по оценке состояния, с учетом наличия дефектов, степени повреждения и их развития.

Классификация существующих методов диагностирования машин и механизмов, включающие методы виброакустического и магнитного неразрушающего контроля, наиболее широко используемые на практике дана в таблице. 8.

Таблица 8 – Классификация методов технического диагностирования для контроля технического состояния

Методы неразрушающего контроля и средства контроля и диагностики	
Электро-магнитный контроль	Электрические методы.
	Магнитные методы
	Вихретоковые методы
Акустический, тепловой, оптический контроль	Акустические методы
	Тепловые методы
	Электрический метод

Техническое диагностирование - это процесс определения технического состояния работающих механизмов во время функционирования в стадии эксплуатации, которое классифицируется и разделяется на тестовое, функциональное и экспресс-диагностирование.

Тестовое диагностирование включает демонтаж оборудования (частичная или полная разборка) оборудования и тестирование отдельных деталей на закономерные процессы, связанные с длительной эксплуатацией, накоплением дефектов, и со старением, такие как износ, коррозия и усталость металла. Основным недостатком данного метода является нарушение целостности конструкции, согласованности работы элементов, поверхностей контакта, приработки узлов, что в итоге снижает надежность и ее основное свойство - безотказность работы.

Существует три типа задач технического диагностирования: контроль текущего технического состояния; поиск дефектных элементов и прогнозирование технического состояния.

Существующие методы контроля тоннельных эскалаторов, учитывая почти круглосуточный режим работы, требуют своевременного пересмотра и оптимизации затрат. Существенные нововведения в ИТ технологиях в течение последних десятилетий, рассмотренные патенты и инновации в области эскалаторного оборудования, предлагают эффективные автоматические безразборные системы и программы диагностирования при эксплуатации эскалатора, которые

снижают трудоёмкость и повышают достоверность диагностирования в несколько раз.

Тепловизионный контроль – один из видов неразрушающего контроля теплового контроля, в основе которого лежит процесс преобразования инфракрасного излучения в видимый спектр. В настоящее время в России предлагают услуги по выполнению тепловизионной съемки и дефектоскопии для зданий, сооружений, а также тепловизионный контроль электрооборудования с помощью тепловизора. Но, если рассматривать диагностику и контроль приводной группы эскалаторов с помощью тепловизии, то существующие конструктивные особенности позволяют дать определение технического состояния только для укрупненных узлов.

В условиях состояния систем с вращательным движением узлов и механизмов, виброакустические методы остаются одним из универсальных, современных и перспективных. Виброакустические методы диагностики основаны на анализе сложных колебательных процессов (вибрационных, акустических), возникающих с различными частотами и амплитудами при реальной работе механизмов.

Используемые в настоящее время средства контроля состояния сложных систем, показывает, что для обнаружения возможных поломок и отказов наиболее эффективен контроль состояния по вибропараметрам. В условиях эксплуатации эскалатора пропуск дефекта может привести к разрушению узла, что может повлечь не только дорогостоящий внеплановый ремонт, но и сбой движения эскалаторов.

Вибродиагностика с успехом применяется во многих областях промышленности и транспорта, особенно на железнодорожном транспорте при диагностике колёсно-редукторных блоков (КРБ) на (дефекты подшипников с достоверностью свыше 95%). На таблице 9 произведен обзор и дана систематизация широкому спектру применения виброакустического контроля для всех этапов жизненного цикла. Вибродиагностика оборудования может быть мониторинговой,

периодической или разовой, например, приемочная, после проведенных ремонтных работ перед эксплуатацией.

Таблица 9 - Виброакустический неразрушающий контроль на основных этапах жизненного цикла

Виброакустическая диагностика на основных этапах жизненного цикла механизма				
Этап проектирования	Этап производства и монтажа	Этап эксплуатации		Этап ремонтных работ
Локализация источников повышенной виброактивности	Диагностика	Диагностика	Контроль технологических процессов	Диагностика
Идентификация источников виброактивности и поиск «слабых» узлов	Оценка качества изготовления и сборки механизма	Оценка фактического технического состояния, прогноз остаточного ресурса	Автоматизация управления качеством технологических процессов	Оценка объема, сроков и приоритетности работ и качества выполнения

Метод контроля состояния вращающихся машин по результатам замеров общих уровней вибраций, соответствующих различным зонам вибрационных состояний, изложенный в ГОСТ Р ИСО 10816-1. Основным недостатком приведенных стандартов, являются широкие диапазоны разделения вращательных машин и механизмов по классам, исходя только по мощности. Указанный стандарт является обобщающим нормативным документом по оценке вибрации, без учета основных типов эскалаторов. Приведенные зоны вибрационных состояний на таблица 10 соответствуют видам технических состояний: неограниченно-работоспособное (зона А) до предельного (зона D).

Таблица 10 - Зоны вибрационного состояния (красный цвет – высокая степень износа и аварийности)

С.К.З. виброскорости, мм/с	Зоны вибрационного состояния
	А
2,3	В
4,5	С
7,1	D



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. Для различных типов, применяемых в Петербургском метрополитене, значения границ зон вибрационных состояний дано в табл. 11

Таблица 11 – Зоны вибрационного состояния основных типов эскалаторов

N п/п	Тип эскалаторов	Номин. мощ- ность главного ЭД, кВт	Классификация по ГОСТ 10816-1-99			Виды ТС			
			Класс механизма	Виды ТС			A/B, мм/с	B/C, мм/с	C/D, мм/с
				A/B, мм/с	B/C, мм/с	C/D, мм/с			
1	ЛТ-1	200	Класс 2 ( типовые электро- моторы мощно- стью 15 - 875 кВт)	1,12	2,80	7,10	2,13	3,47	9,37
2	ЛТ-2	180					1,83	3,03	8,05
3	ЭТ-2(М)	160					1,36	2,08	5,98
4	ЕТК-265М	160					1,32	1,98	5,81
5	Е55Т, Е75Т	132					1,27	1,93	5,59
6	ЛТ-3	110					1,2	1,82	5,28
7	ЭМ-4	110					1,15	1,69	5,06
8	ЭТ-4БС	90					1,14	1,86	5,02
9	Е25Т	45					1	1,58	4,4
10	ЭТ-5(М)	40					0,99	1,69	4,36
11	ЭТ-12	18,5					0,82	1,28	3,61
12	ЭТ-12П	18,5					0,79	1,19	3,48

В результате проведенного вибрационного диагностирования составляется системный, развернутый анализ причин выхода из строя и отказов диагностируемых узлов с разработкой предложений и мероприятий по повышению их надежности в эксплуатации.

Для эффективного исследования необходима частотная модель приводной группы с привязкой к скорости движения лестничного полотна, как основного параметра эксплуатируемого тоннельного эскалатора. В случае возникновения дефекта одного из элементов механизма привода, вибросигнал будет содержать гармонику с частотой, равной или кратной частоте вращения этого элемента,

определяемой при использовании частотной модели. Подробный пример частотной диагностической модели рассмотрен в работах Филина А.Н., в том числе и в научных статьях, нормативных документах и диссертации [51,66,26]. В результате автором получено 3 патента и 3 свидетельства на устройства контроля вибрации редуктора, включая программы для ЭВМ.

Совершенствование технического обслуживания включает принятие мер целенаправленного упреждающего ремонтного характера в целях недопущения раннего преждевременного физического износа эскалаторного оборудования, простоев и аварий. По данным 20-летнего опыта работы специалистов метрополитена СПб, около 50% поломок машин, связаны с расцентровкой валов. Согласно статистике компании «ВАСТ», для электродвигателей и насосного оборудования доля несоосности в причинах отказа достигает 60% [34].

Наглядный пример по методу прогнозирования и автоматического планирования, формирования объемов и проведения будущих ремонтных работ с учетом диагностической интерпретации по результатам 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 рис. 19 представлен спектр огибающей сигнала, где обнаружены диагностические признаки развития дефекта внутреннего кольца подшипника главного вала редуктора.

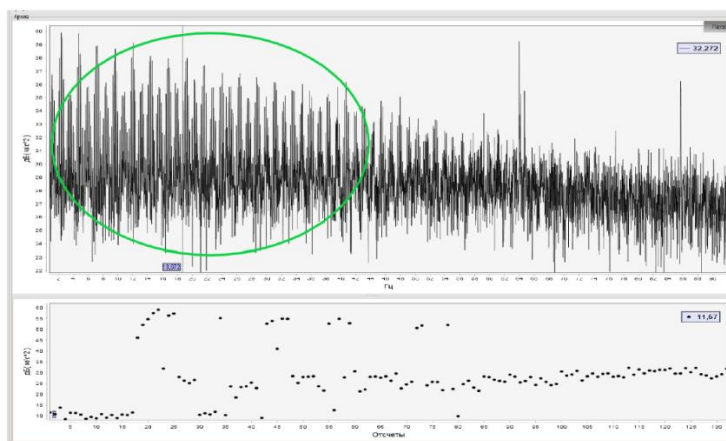


Рисунок 19 - Спектр огибающей сигнала ES10000 400/0,15625 дБ ( $m/s^2$ )

На рис. 20 показаны гармонические составляющие, которые характеризуют работу электромагнитной системы электродвигателя и являются признаком исправного технического состояния электромагнитной системы. Учитывая величину гармоник, можно сделать вывод о слабом уровне развития дефекта, следовательно, не требующим принятия срочных мер по его устранению.

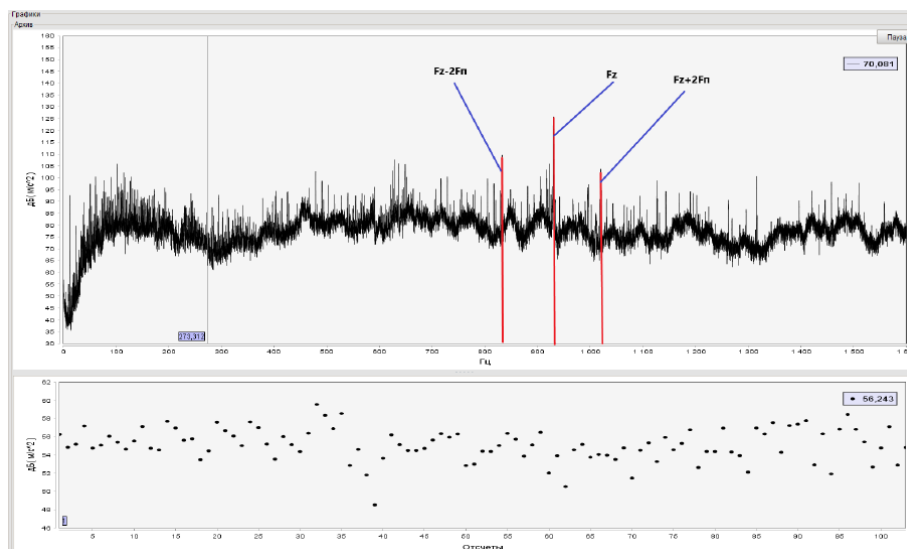


Рисунок 20 - Спектр огибающей ES10000 400/0.15625 дБ ( $\text{м/с}^2$ )

На автоспектре (рис.21), измеренном в точке 3.7 обозначены гармонические составляющие, характеризующие работу промежуточного вала редуктора (вал №2). На спектре видно, что обратная частота вала №2 модулируется частотой вращения вала №3, что говорит о том, что при зацеплении шестерен валов присутствует слабая несносность шестерен на валу.

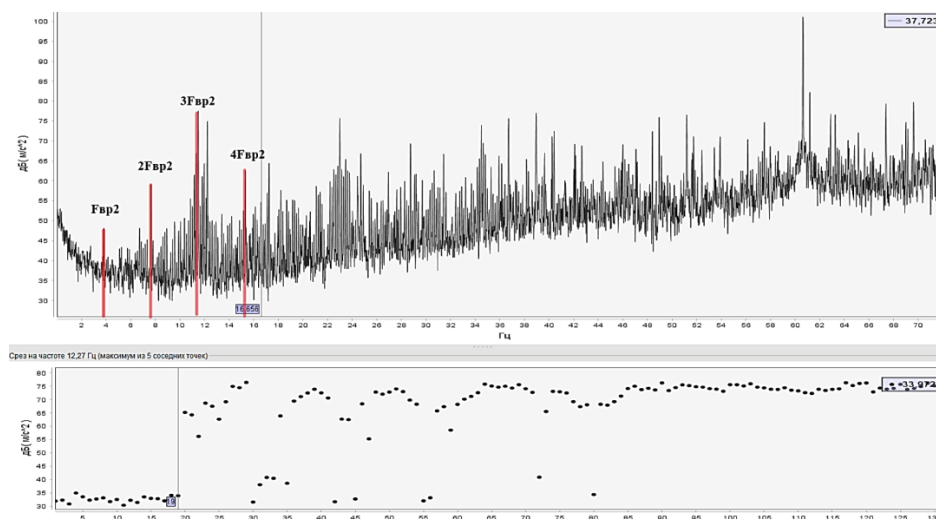


Рисунок 21- Автоспектр AS400/0.15625, дБ ( $\text{м/с}^2$ )

На спектре (рис. 22) обозначены, гармонические составляющие, характеризующие скорость вращения промежуточного вала редуктора (слабые дефекты на поверхности катания зубьев шестерен).

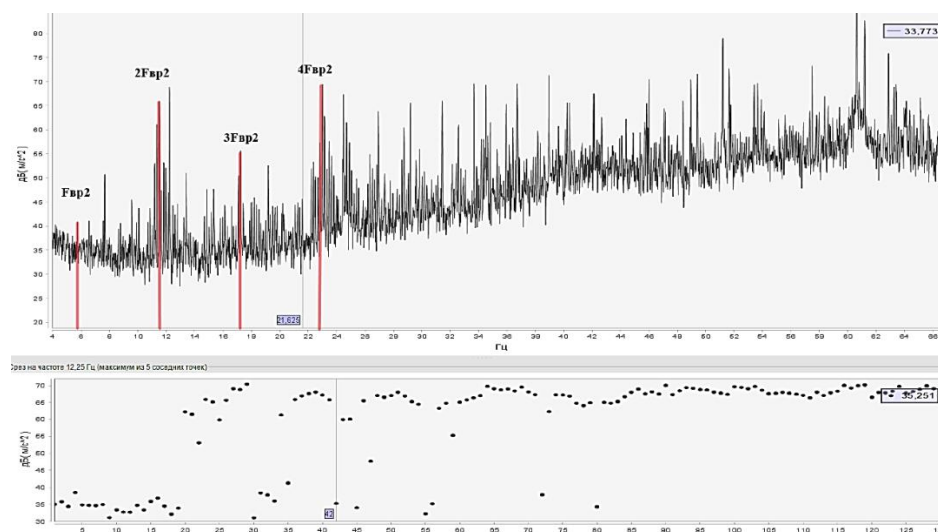


Рисунок 22 - Автоспектр AS400/0,015625 дБ (м/с<sup>2</sup>)

Зафиксированные данные мониторинга и диагностики в базе данных компьютера, позволяют не только представить данные о реальном техническом состоянии с анализом прогноза изменения параметров, но создать (накопить исторические данные) единый архив базы данных (БД) эксплуатационно-технической информации по основным типам (сериям, модификациям) эскалаторного оборудования, что необходимо в будущем для формирования шаблонов и алгоритмов принятия решений по выбору оптимальной стратегии и временных параметров обслуживания на базе искусственного интеллекта. Единый архив БД технического состояния по данным мониторинга представляет собой основу для определения эффективного метода ремонтных работ на основании интеграционной «живой» базы данных (*living RCM DB*), в котором поведение устройства в данный период времени анализируется с помощью ряда подходящих статистических данных по серии эскалаторов и шаблонов по выбору первоочередной стратегий ремонтных работ.

Существующие исследования, которые охватывают прогнозное обслуживание, управление виртуальной моделью, включая мониторинг и анализ данных,

расширяют традиционную структуру контроля и управления ремонтными работами.

Проактивное обнаружение зарождающихся опасных дефектов и будущих аварий и сбоев путем онлайн мониторинга помогут улучшить финансовые показатели и эксплуатационную надежность.

Перечисленные инновации формируют в итоге маневренную ресурсосберегающую инфраструктуру технического обслуживания эскалаторов с гибкой системой маневренности формирования заявок в зависимости от принятой стратегии и возможностью мгновенной корректировки ситуации в зависимости от поставок запчастей и мобилизацией персонала.

Основные показатели оптимизации расходов стратегии ремонта - проактивная стратегия выполнения ремонтных работ (*PM, predictive maintenance*) по фактическому состоянию, на основании данных мониторинга и диагностики технического состояния эскалаторов являются основой для формирования экономических целевых расходов будущих периодов на основании объемов (ВОР-прогноз с обоснованием по выполнению только необходимых ремонтных работ по восстановлению работоспособного состояния) производства ремонтных работ, направленных на снижение скорости развития неисправностей (дефектов), экономии средств на протяжении всего жизненного цикла и обеспечения безопасности в современных экономических условиях.

Все перечисленное дает основание для исследования и обоснования создания общей методологии для прогрессивных прогностических систем эскалаторного оборудования, при помощи которых будет производится контроль технического состояния узлов и деталей в процессе эксплуатации в режиме реального времени; обнаружение места дефекта в период его возникновения на ранней стадии и контроль степени развития; прогнозирование технического состояния и краткосрочный прогноз времени безотказной работы диагностируемых узлов и деталей.

## **2.2 Исследование и обоснование необходимости создания диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования**

Проактивное обнаружение зарождающихся опасных дефектов по технологии, получившей признание во всем мире, при помощи системы датчиков для оценки, анализа и прогнозирования технического состояния, будущих аварий, простоев и сбоев путем онлайн мониторинга, в целом должны улучшить финансовые показатели и эксплуатационную надежность пассажирских перевозок на эскалаторах метрополитенов. Исследования как отечественных, так и зарубежных авторов показывают, что если затраты на эксплуатацию по стратегии планово-предупредительных ремонтов принять за 100 %, то затраты по стратегии аварийных ремонтов будут составлять 130 %, а по стратегии ремонтов с учётом технического состояния – 70 %, а, следовательно, предварительно экономическая эффективность проектов с удаленным мониторингом будет составлять – 30 % [54].

Современная система технического диагностирования - это высокоэффективная стратегия по обеспечению высокого уровня точности и достоверности результатов эксплуатационной надежности, безопасности и высокой степени эффективности по сравнению со стандартными методами неразрушающего контроля и дефектоскопии, основные положения которых разрабатывались свыше 70 лет назад. В результате, существующая система диагностики не соответствует современным требованиям и эксплуатационным условиям, в результате растет риск и вероятность отказов и аварий. Существующая система диагностики не выполняет своих функций и требует пересмотра действующих нормативных положений, необходимо внедрение современных систем автоматического диагностирования с возможностью проводить техническое обслуживание и ремонт по их фактическому состоянию с прогнозированием остаточного ресурса и обеспечением нормируемого показателя надежности.

Согласно федеральным нормам и правилам термин «техническое диагно-

стирование» означает определение технического состояния объекта. Существующая плановая система технического диагностирования и обслуживания по ГОСТу 20911-89 «Техническая диагностика» включала [6]:

- контроль технического состояния различными методами и средствами неразрушающего и разрушающего контроля;
- поиск мест и причин отказов (неисправности);
- прогнозирование технического состояния.

В 2008 году был подготовлен и утвержден национальный стандарт РФ ГОСТ Р 53006-2008 «Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования» [17].

В данном нормативном документе включены новейшие пассивные методы НК, регистрирующие внутреннюю энергию металла конструкций любой сложности:

- метод акустической эмиссии (АЭ);
- метод магнитной памяти металла (МПМ);
- тепловой контроль.

Перечисленные методы получили в настоящее время наибольшее распространение в области ранней диагностики повреждений оборудования и конструкций для контроля наиболее опасных участков и узлов с зонами концентрации напряжения, включая сварные соединения. Потенциальное преимущество данного подхода состоит в объективном определении технического состояния и индивидуального остаточного ресурса с оценкой фактического напряженно-деформированного состояния (НДС) с выявлением зон концентрации напряжений потенциально опасных зон эксплуатируемого стареющего оборудования - источников возможного возникновения повреждений при дальнейшей эксплуатации оборудования, что служит основой для создания модели упреждающего обслуживания конструкций и оборудования эскалатора.

Ежедневную проверку работоспособности эскалаторов проводит дежурный машинист, рассказали в метро Петербурга. Ежемесячное, ежеквартальное и полугодовое ТО проводит бригада машинистов как ночью, так и днем. Всего

существует около 90 видов технических работ на эскалаторах.

На сегодняшний день, эскалаторы в Петербурге обследуются на предмет скрытых дефектов при помощи вибрации и ультразвука. Для таких работ — нужна идеальная тишина, поэтому их обычно проводят в ночные смены.

Все узлы демонтируются и отправляются в ремонтные мастерские, где они повторно деффекуются — выявляются скрытые дефекты.

Для ГУП «Петербургский метрополитен» необходимо рассмотреть мероприятия для постепенного перехода к новой системы упреждающего обслуживания.

Система мониторинга технического состояния приводов эскалаторов должна осуществляться с учетом мониторинга и диагностики технического состояния привода эскалаторов с целью предотвращения аварийных ситуаций и своевременного обнаружения дефектов.

Цель внедрения системы: обеспечение безотказной и безаварийной работы эскалаторного (траволаторного) оборудования путем организации мониторинга (постоянного или периодического) с применением метода вибродиагностики для предупреждения и выявления дефектов, обеспечение оперативного и технического персонала информацией о текущем техническом состоянии контролируемого оборудования для предотвращения аварийных ситуаций и планирования работ.

Задачи системы (основные экономические эффекты даны в главе 3):

- контроль технического состояния узлов и деталей в процессе эксплуатации в режиме реального времени или периодически;
- обнаружение места дефекта в период его возникновения на ранней стадии и контроль степени развития;
- прогнозирование технического состояния и краткосрочный прогноз времени безотказной работы диагностируемых узлов и деталей (определение интервала времени, в течении которого сохранится работоспособное состояние);
- определение предельного (не работоспособного) состояния узлов и деталей при котором дальнейшая эксплуатация не возможна;



- своевременное информирование оперативного, административного и ремонтного персонала о техническом состоянии узлов и деталей.
- формирование рекомендаций для проведения необходимых работ обслуживания.

Внедрение и комплексное использование новых средств диагностики является перспективным трендом, благодаря чему можно оптимально обосновать ремонтные сроки, их очередность и необходимости их ремонта или замены с учетом остаточного ресурса. Значимым фактором также является необходимость замены в ближайшее время всех эскалаторов устаревших конструкций, проработавших длительный срок службы.

При оценке надежности эскалатора надо учитывать, что в процессе эксплуатации эскалатора существует тесная взаимосвязь между сроком эксплуатации и основными процессами деградации, и как следствие ухудшением всех взаимосвязанных исходных параметров функционального состояния. Ухудшение свойств конструкций происходит в основном за счет износа материалов, неисправностей (дефектов) и их основные характеристики (описание дефектов) служат комплексным отражением темпа износа в процентах и основанием для определения необходимых ремонтных мероприятий. Также необходимо помнить, что при неблагоприятных условиях (пыль, влажность, песок, уличные химические реагенты, переносимые на обуви пассажиров) срок эксплуатации может быть существенно сокращен в 1,5-2 раза, что в современных экономических условиях невыгодно.

Необходимо иметь установленные пределы допускаемых изменений исходных параметров функционального состояния на основании требований обеспечения нормированного уровня безопасности перевозки пассажиров, минимума эксплуатационных расходов при безусловном выполнении графика работы эскалаторов.

Такие задачи решаются объединенными системами мониторинга состояния и управления, которые контролируют наиболее общие параметры рабочих и вторичных процессов, доступные для быстрого измерения и первичной оценки

состояния объекта без их глубокого анализа. Так, для контроля текущего состояния машин и оборудования по вибрации, как правило, измеряются ее уровни в стандартных полосах частот, реагирующие на появление многих из опасных дефектов лишь в аварийной ситуации, перед самым отказом оборудования. Но подобные решения уже нельзя считать прогрессивными, необходимо на более раннем этапе обнаруживать опасные дефекты и давать прогноз остаточного ресурса для оптимизации работ по выводу объекта из эксплуатации и проведению работ по обслуживанию (ремонту).

Все это возможно при параллельном измерении и анализе всех контролируемых процессов, содержащих максимальный объем диагностической информации, и во всех точках их измерения на объекте контроля. А если все необходимые виды анализа выполнять в кратчайшее время в режиме онлайн, можно, во-первых, обоснованно задержать вывод аварийно-опасного объекта из эксплуатации до принятия мер по устранению опасных последствий, а, во-вторых, быстро восстановить его работоспособное состояние по полученным данным онлайн диагностики.

Наибольший объем диагностической информации о состоянии агрегатов с узлами вращения содержится в сигналах их вибрации, контролируемой в нескольких точках агрегата, и тока, контролируемого в силовых обмотках электрической машины. Ик совместный синхронный анализ резко увеличивает качество диагностики за счет использования не только методов спектральной диагностики и диагностики по форме процессов импульсного (ударного) происхождения, но и дополнения их методами пространственной (по точкам контроля) диагностики, а также диагностикой по переходным процессам. А диагностика агрегатов в режиме онлайн дает дополнительные возможности по контролю технологических процессов, выполняемых агрегатами, и эффективному управлению этими процессами по фактическому состоянию технологического оборудования.

Облачные вычисления в единой программной среде для конфигурирования, программирования, моделирования и мониторинга технического состояния тоннельных эскалаторов, в том числе с использованием многомерных «умных»

датчиков, на протяжении всего жизненного цикла – перспективные направления развития современных технологий в эскалаторостроении.

Облачные технологии в городах, транспортной отрасли обладают огромным потенциалом внедрения и для метрополитена. Благодаря внедрению технологий сбора, хранения и анализа данных на основе датчиков, сенсоров, аналитического ПО, телеметрии, больших массивов данных и облачных вычислений, руководители могут заранее прогнозировать потребность в техническом обслуживании оборудования до возникновения неполадок с целью предотвращения простоев и аварий.

Интересный пример внедренной инновационной технологии – лондонская подземка (рис. 23). Компания *Transport for London (TFL)*, ответственная за функционирование лондонского метро, начинает внедрение технологии на основе Интернета вещей для повышения безопасности и эффективности метрополитена. Транспортная компания Лондона заключила контракт на семь лет с компанией *Telent Technology Services Ltd*, в результате которого, начиная с января 2020 года, будет проводить на 270 станциях метрополитена сервисное обслуживание и модернизационные работы, начиная с постановки базовых компонентов «умной инфраструктуры»: целого семейства датчиков на эскалаторах, в лифтах, в системах вентиляции. Инновационная компания *Telent* в 2019 году получила премию *Rail Staff Awards*.



Рисунок 23 – Компания *Telent* обеспечивает безопасное и надежное транспортное сообщение пассажиров на эскалаторе в метрополитене г. Лондона

Компания *Telent* свыше десяти лет уже занимается разработкой, поставками, монтажом и обслуживанием оборудования лондонского метро и разработала упреждающее техническое обслуживание.

Для размещения интеллектуальных приложений была подключена британская компания телекоммуникаций и Интернета *CGI*, которая на базе платформы облачных вычислений *Microsoft (Windows) Azure* осуществила переход к упреждающей модели обслуживания, включающей дистанционный мониторинг на основе датчиков с хранилищем данных для всей системы эскалаторов метрополитена. Доступ к необходимой информации обеспечивается через мобильные приложения или текстовые сообщения.

Основной девиз Лондонского метрополитена: вместо устранения неисправностей необходимо проводить упреждающее техническое обслуживание, безопаснее и экономичнее приступить к ремонту до того, как произойдет авария или сбой.

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 для решения сложных вопросов, исключая ненужных трат.

В Индии компания *Maha Metro* внедрила систему управления цифровыми проектами при помощи единой среды данных *OpenRail (CDE)* от *Bentley*. Размещенные теги активов (метки) используются для связи приложений *Bentley* с другим ПО, что позволяет создать и связать новую реальность с 3D-моделями (см. рис. 24). Инновационное управление объектами в метрополитене увеличивает срок службы, повышает производительность, экономит энергию и обеспечивает безопасность пассажиров. Предварительные экономические эффекты стратегии упреждающего обслуживания составляют - 222 млн \$ США в течении 25 лет.

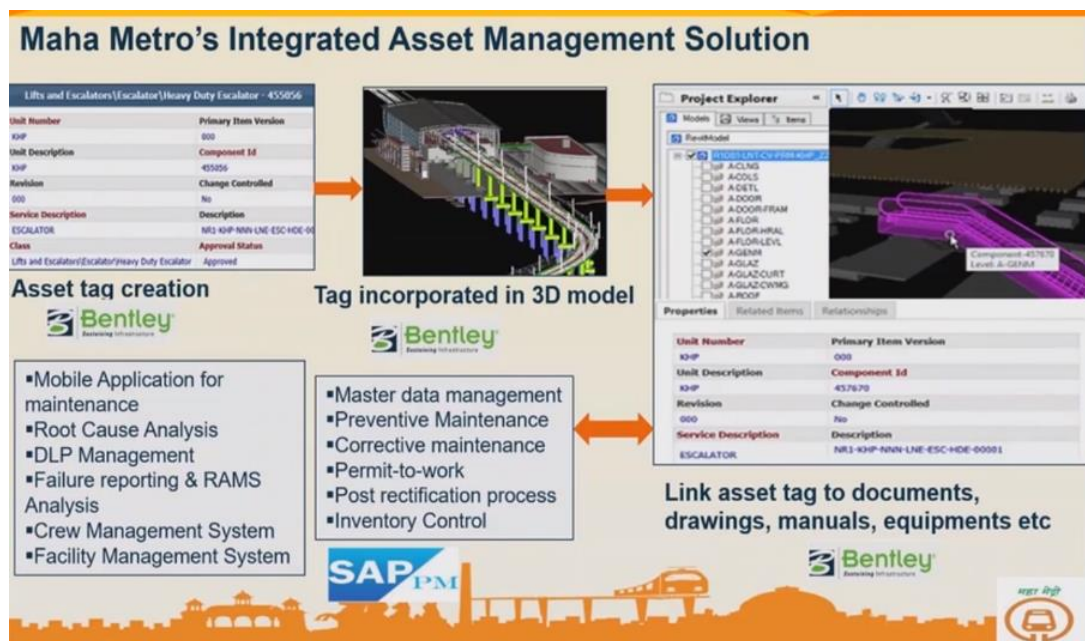


Рисунок 24 – Эскалатор как элемент в общей модели управления *Maha Metro*

Сеульскому метрополитену удалось в 2 раза сократить время ремонта эскалаторов с помощью технологии «Интернет вещей» [56]. Государственная транспортная компания сообщила, что среднее время, затраченное на ремонт эскалатора, сократилось с 56 до 37 мин, после принятия технологии *IoT* для 100 эскалаторов, установленных на 7 линиях на 12 станциях метрополитена. Оборудование, включающее десятки датчиков, отслеживает техническое состояние в приложениях в режиме реального времени и сообщает о возможных неисправностях, прогнозируя развитие технологических аварий и нестандартных ситуаций. Встроенная измерительная система частоты вибраций в общую систему мониторинга эскалатора на станции *Gwangnaru* смогла предотвратить аварии, в результате своевременного ремонта и замены всех поврежденных компонент и изношенных элементов. По данным статистики 2019 г. количество аварий на Сеульском метрополитене сократилось на 58 %.

В результате проведенного патентного поиска на дату 21.01.2020 года по выявлению аналогов по созданию упреждающих методов управления для обеспечения безопасной эксплуатации эскалаторов представлены в табл. 12

Таблица 12 – Основные патенты на изобретения в области технологии упреждающего обслуживания для эскалаторов из БД *Espacenet*

Название патента	Номер публикации	Дата публикации	Заявитель
Система и метод оперативного мониторинга эскалаторов и раннего предупреждения на основе облачной платформы	CN110002329 (A); CN110002329 (B)	2019.07.12	Guangzhou Metro Design & Res Institute Co Ltd
Способ контроля неисправности эскалатора и система контроля неисправности эскалатора	CN108238538 (A)	2018.07.03	Subway Operation Tech R & D Center Beijing Subway Operation Co Ltd
Устройство мониторинга неисправности эскалатора и раннего предупреждения	CN107651550 (A); CN107651550 (B)	2018.02.02	Univ Tsinghua
Система и способ контроля состояния эскалатора	CN106586796 (A); CN106586796 (B)	2017.04.26	Wang Rui
Оперативная система раннего предупреждения о неисправности эскалатора и способ диагностики неисправности	CN106006344 (A); CN106006344 (B)	2016.10.12	Suzhou Changfeng Aviation Electronics Co Ltd

Метод статистического сбора данных с датчиков и инструменты анализа позволяют получить оптимальный объем данных для принятия решения о возможности или невозможности для дальнейшей безаварийной эксплуатации эскалатора, а также рекомендации по техническим решениям и проведению корректирующих мероприятий.

По представленному обзору патентов и мирового опыта можно резюмировать об актуальности решения задачи мониторинга и оценки безопасности в рамках применения общей концепции внедрения системы управления по системе упреждающего подхода. Совершенствование технического обслуживания включает принятие мер упреждающего характера в целях недопущения раннего преждевременного физического износа эскалаторного оборудования, ЧС, простоев и

аварий.

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; сокращение роста развития критических необратимых процессов, что повышает вероятность безотказной работы по отношению к простоям, отказам и дает сокращение аварийности.

В современных условиях переход к инновационной системе управления должен быть поэтапным с соответствующей модернизацией применяемого оборудования и проведением согласованных между собой организационно-технических мероприятий. Для решения поставленных задач необходимо будет привлечение специалистов, которые будут обладать профессиональными компетенциями и смогут обеспечивать:

- создание единого архива эксплуатационно-технической информации с наполнением базы данных мониторинга и диагностики, условий эксплуатации эскалаторного оборудования по основным типам;
- создание единой платформы удалённого мониторинга с семейством умных датчиков по сети *Internet*, способных в необходимой и достаточной мере проводить диагностику и прогнозирование технического состояния, определение безотказного ресурса, учет риска возникновения отказов и аварийных ситуаций;
- создание справочников дефектов, математического аппарата и алгоритмов, определения трендов параметров для каждого типа эскалаторов, которые выходят за пределы нормативных требований, выявленных средствами вибрационного диагностирования, но не приводят к отказам и аварийным происшествиям;
- онлайн сбор реальной параметрической информации о техническом состоянии сложной системы элементов конструкций и оборудовании эскалатора, технически связанных между собой, включающей металлические конструкции и машины, механизмы;

- создание блок-схемы процесса по выбору ремонтно-восстановительных мероприятий для принятия первоочередных управленческих решений на стадии планирования работ, с учетом классификации по типам и группам эскалаторов, результатов диагностики, категорией технического состояния, градацией повреждений и дефектов.

- достоверное апробирование новой упреждающей методики и системы диагностики с искусственным интеллектом на основе виброанализатора и программного обеспечения, с целью обеспечения безопасного режима эксплуатации, последовательности проведения ремонтных работ, исключая аварий, простоев и ненужных затрат;

Последние релизы главных поставщиков эскалаторов включают программные модули–оптимизаторы совместно мобильными и беспроводными технологиями. Новые решения обеспечивают следующие преимущества перед традиционными технологиями: интеграции с системами моделями *CAD, BIM*; синхронизированное обновление (автоматическое изменение) всех данных по конструктивным характеристикам, параметрам и спецификациям оборудования, по тегам, табличным данным, истории ремонтных работ, услуг, условий эксплуатации, включая запись и мониторинг зарождающихся дефектов (отказов) и проактивную идентификацию отказов по текущим эксплуатационным показателям. Перечисленные современные функции и средства ПО позволяют предсказывать динамику (частоту отказов) и сократить до минимума время ремонта и простоя благодаря оптимизации всего ремонтного процесса.

### **2.3 Техническое обследование структуры и состава системы диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования**

Анализ отказов в работе эскалаторов (выявление «узких мест»). В связи с открытием новых станций автоматически увеличивается и количество тоннельных эскалаторов, находящихся в эксплуатации. Тоннельные эскалаторы явля-



ются подъемниками непрерывного действия, в отличие от лифтов, и предназначены для непрерывной, постоянной работы и перемещения больших пассажиропотоков. Существенное отличие и тот факт, что к категории опасных производственных объектов относятся объекты, на которых используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы (за исключением лифтов, подъемных платформ для инвалидов), эскалаторы в метрополитенах (п.3 прил. 1 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»).

Эскалаторной службой ГУП «Петербургский метрополитен» эксплуатируются эскалаторы различных типов (ЛТ-1,2,3; ЭТ-2,2М,3,5,5М, 4БС,12,12П; Е-55Т,65Т,75Т; ЭМ-4; ЭТХ-11.6,17.3), в настоящий момент общее количество эскалаторов, находящихся в эксплуатации – 281. Эскалаторы имеют различную длину лестничного полотна и, вследствие этого, различаются по мощности, типу электродвигателей, количеству ступеней ускорения при запуске эскалатора, количеству и назначению применяемых блокировочных устройств, силовой схеме электропривода эскалатора, схеме автоматического вывода резервного питания, а также по типу, количеству и качеству применяемой в данных электросхемах электрической аппаратуры. Отдельно следует заметить, что, вследствие проведения работ по модернизации систем управления электроприводом эскалаторов, на определённом этапе сформировался своеобразный «микс» подсистем и различных вариантов по технической оснащённости, когда эскалаторы одного типа с равной длиной и углом наклона имеют различные схемы управления и отличаются как по применённым техническим решениям, так и по составу электрической аппаратуры.

Обследование технического состояния и расчет остаточного ресурса проводят с целью определения возможности продления срока безопасной эксплуатации эскалаторов. Остаточный ресурс эскалатора - суммарная наработка эскалатора от момента контроля его технического состояния до предполагаемого перехода в предельное состояние.

По достижении срока службы эскалатора, установленного конструкторской и эксплуатационной документацией, дальнейшая эксплуатация эскалатора

без проведения работ по определению возможности продления срока безопасной эксплуатации не допускается. Установленный срок службы представлен в таблице 13

Таблица 13 - Установленный срок службы эскалатора

Тип эскалатора	Срок первичного обследования, лет	Периодичность повторных обследований
ЭМ	50	Определяется в экспертном заключении
ЛТ	50	
ЭТ	50	
ЭТМ	40	
Е	50	

Работа по установлению возможности продления срока безопасной эксплуатации эскалаторов должна планироваться таким образом, чтобы соответствующее решение было принято до достижения ими нормативно установленного срока эксплуатации.

По результатам работ по определению возможности продления срока безопасной эксплуатации эскалатора, руководитель эксплуатирующей организации метрополитена, принимает одно из возможных решений по выбору восстановительных мероприятий: продление эксплуатации в пределах продлеваемого срока; ремонт; модернизация или производят замену и вывод из эксплуатации.

Решение должно опираться на выводы итогового заключения экспертной организации. Согласно нормативному документу Петербургского метрополитена СТО ПГУПС-10-112-ЭС-2014 [26]- эксплуатирующая специализированная организация обеспечивает устранение выявленных недопустимых дефектов до ввода эскалатора в эксплуатацию, а иных дефектов – в рекомендованные сроки.

План установки оборудования тестирования и результаты тестирования. Современные технологии управления сложным оборудованием строятся на основе разнообразной информации, получаемой в режиме онлайн от постоянно расширяющейся номенклатуры средств измерения параметров рабочих и вто-

ричных процессов. Использование совместного анализа как одного из современных инструментов для оптимизации технических решений и ресурсов с реальной оценкой параметров позволяет своевременно обнаружить опасное состояние оборудования и перевести объект контроля в безопасный режим работы, либо остановить его.

Такие задачи решаются при помощи концепции объединенной системы мониторинга состояния и управления, которые контролируют наиболее общие параметры рабочих и вторичных процессов, доступные для быстрого измерения и первичной оценки состояния объекта без их глубокого анализа. Так, для контроля текущего состояния машин и оборудования по вибрации, как правило, измеряются ее уровни в стандартных полосах частот, реагирующие на появление многих из опасных дефектов лишь в аварийной ситуации, перед самым отказом оборудования. Но подобные решения уже нельзя считать прогрессивными, необходимо на более раннем этапе обнаруживать опасные дефекты и давать прогноз остаточного ресурса для оптимизации работ по выводу объекта из эксплуатации и проведению работ по обслуживанию (ремонту).

Все это возможно при параллельном измерении и анализе всех контролируемых процессов, содержащих максимальный объем диагностической информации, и во всех точках их измерения на объекте контроля. А если все необходимые виды анализа выполнять в кратчайшее время в режиме онлайн, можно, во-первых, обоснованно задержать вывод аварийно-опасного объекта из эксплуатации до принятия мер по устранению опасных последствий, а, во-вторых, быстро восстановить его работоспособное состояние по полученным данным онлайн диагностики.

Наибольший объем диагностической информации о состоянии агрегатов с узлами вращения содержится в сигналах их вибрации, контролируемой в нескольких точках агрегата, и тока, контролируемого в силовых обмотках электрической машины. Их совместный синхронный анализ резко увеличивает качество диагностики за счет использования не только методов спектральной диагностики и диагностики по форме процессов импульсного (ударного) происхождения, но

и дополнения их методами пространственной (по точкам контроля) диагностики, а также диагностикой по переходным процессам. А диагностика агрегатов в режиме онлайн дает дополнительные возможности по контролю технологических процессов, выполняемых агрегатами, и эффективному управлению этими процессами по фактическому состоянию технологического оборудования.

В 2013 году подразделениями службы в соответствии со стратегией развития ГУП «Петербургский метрополитен», утверждённой приказом № 370\Н от 10.04.13, были приняты действенные меры по повышению качества расследования отказов эскалаторного оборудования, планомерно ведётся работа по учёту нарушений нормальной работы эскалаторного оборудования с целью исключения повторения серьёзных случаев.

Внедряемая технология диагностики и мониторинга эскалаторного оборудования. Система СМД-4 – современная система мониторинга состояния и, при необходимости, диагностики вращающегося оборудования по его вибрации, а также, дополнительно, по току электрической машины.

Стационарная СМД-4 относится к классу необслуживаемых систем и рассчитана на контроль состояния объекта (агрегата) в любой момент времени, с момента начала запуска до полной остановки. Непрерывный контроль большого количества параметров вибрации агрегата и тока электрических машин, реагирующих на разные виды дефектов, а также оперативная (за доли секунды) реакция на изменение состояния, рассчитаны на использование СМД-4 для управления агрегатами по состоянию, в том числе для раннего предупреждения о возможном отказе. При подключении модуля диагностики дефектов система может использоваться для перехода на обслуживание и ремонт агрегатов по фактическому состоянию. При срабатывании систем защиты агрегата в СМД-4 сохраняется информация о причинах изменения состояния, что минимизирует объём восстановительных работ.

Отдельная область применения СМД-4 в мобильном исполнении – контроль процессов приработки агрегатов после его изготовления (на стендах), монтажа на месте эксплуатации или текущего ремонта, часто сопровождающихся

развитием скрытых дефектов. Может также использоваться для контроля соответствия вибрации агрегатов действующим нормам.

В настоящий момент в ГУП «Петербургский метрополитен» проводятся испытания опытного образца стационарной системы мониторинга технического состояния приводов эскалаторов станции «Улица Дыбенко» КВК-22. Испытания будут проводиться - на эскалаторах № 1 и № 4 типа ЭТ-2 станции «Улица Дыбенко».

Испытания проводятся для определения целесообразности эксплуатации системы на эскалаторах ГУП «Петербургский метрополитен».

Стационарная система мониторинга и контроля состояния предназначена для:

- измерения выходных электрических сигналов датчиков первичных измерительных преобразователей (вибрации и частоты вращения);
- мониторинга технического состояния контролируемого оборудования с целью определения его текущей эксплуатационной готовности;
- определения текущего технического состояния контролируемого оборудования с целью выявления опасных дефектов;
- краткосрочного прогноза времени безаварийной работы при обнаружении дефектов;
- формирования рекомендаций по техническому обслуживанию оборудования по фактическому состоянию;
- отображения информации о текущем техническом состоянии контролируемого оборудования.

Испытания системы проводятся с целью подтверждения соответствия заявленным техническим характеристикам и определения эффективности предлагаемой системы для обеспечения безопасности перевозок пассажиров, снижения трудоемкости ремонтно-профилактических работ в ГУП «Петербургский метрополитен».

Функционально выполняемые задачи системы:

- измерение параметров вибрации привода и редуктора;

- отображение измеренных параметров вибрации на мнемосхеме оборудования;
- периодическая диагностика привода и редуктора;
- запись и хранение результатов измерений и диагностики в архиве (базе данных), включая журнал событий;
- формирование отчетов о состоянии оборудования.

Структурная схема типовой системы вибрационного мониторинга и диагностики представлена на рис. 25

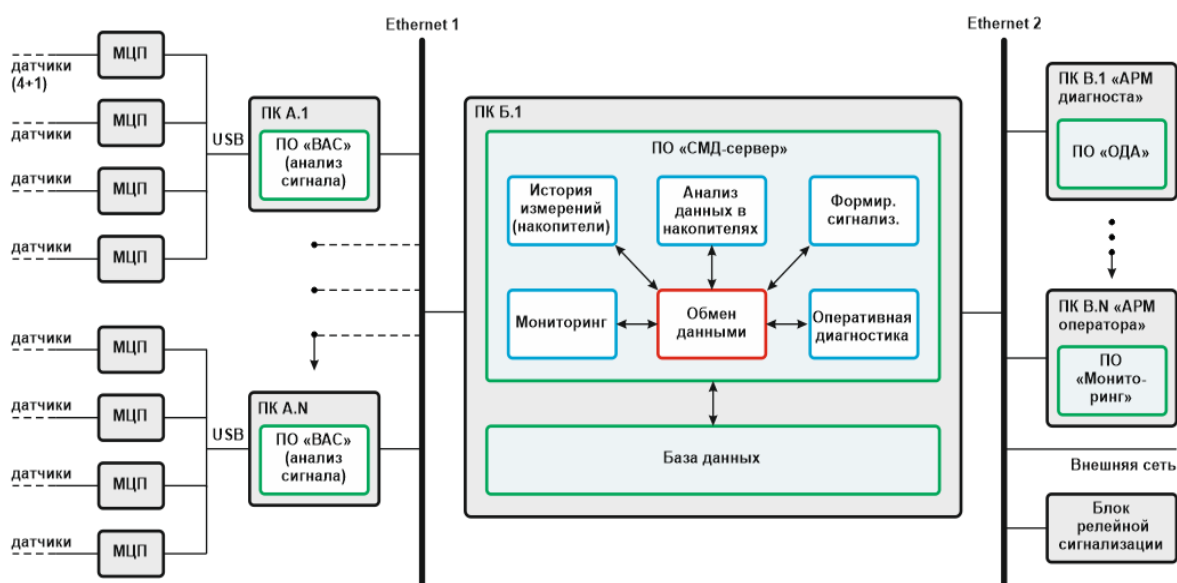


Рисунок 25 – Структурная схема СМД-4

Оценить перспективность применения системы постоянного мониторинга технического состояния узлов эскалаторного оборудования и проверить способствует ли заявленным достижениям стратегических целей:

- оптимизация бизнес-процессов технического обслуживания и ремонта эскалаторного оборудования;
- техническое перевооружение устройств и инженерных систем метрополитена с использованием инновационной технологии;
- повышение безопасности перевозки пассажиров.

В процессе проведения опытной эксплуатации предусматривается осуществление мониторинга состояния подшипниковых узлов главного электродвигателя эскалатора, входного, промежуточных и выходного вала (главного вала)

редуктора М-1900 эскалаторов типа ЭТ-2.

При проведении опытной эксплуатации испытывается, как периодическая модель осуществления диагностики и сбора данных с применением переносного оборудования, так и стационарная система, устанавливаемая на эскалатор и осуществляющая постоянный контроль и сбор аналитических данных технического состояния контролируемых узлов.

Организация, осуществляющая мониторинг выполняет сбор и расшифровку полученных данных и предоставляет в Эскалаторную службу ежемесячные отчёты о техническом состоянии контролируемых узлов.

Методика проведения работ состоит в следующей последовательности проведения мероприятий:

- Устанавливаемое стационарное диагностическое оборудование передаётся в распоряжение Эскалаторной службы по акту приёма-передачи.
- Производится инструктаж персонала Эскалаторной службы ГУП «Петербургский метрополитен» до начала производства работ.
- Работы производятся в соответствии с требованиями Положения об опытной эксплуатации оборудования и материалов, введённого в действие приказом начальника метрополитена от 27.06.2016 №785.
- Места установки стационарного диагностического оборудования должно быть очищено от загрязнений.

Исполнителем осуществляется монтаж (на магнитных держателях) стационарного диагностического оборудования (вибропреобразователей) на крышки подшипников валов редуктора М-1900. Места и способ установки вибропреобразователей должен соответствовать требованиям Межгосударственных стандартов ГОСТ ИСО 5348-2002 «Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров» и ГОСТ ИСО 10816-1-97 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибраций на не вращающихся частях».

В процессе мониторинга производится измерение и оценка параметров вибрации и температуры в контролируемых подшипниковых узлах.

По окончании опытной эксплуатации Эскалаторная служба подготавливает заключение научно – технического совета подразделения с привлечением специалистов Службы управления ремонтами и эксплуатацией Управления метрополитена, а также осуществлявших мониторинг и направляет его в Службу управления ремонтами и эксплуатацией Управления метрополитена.

Порядок оценки включает следующий общий алгоритм проведения проверок: проверка технического состояния подшипниковых узлов главного электродвигателя эскалатора, входного, промежуточных и выходного вала (главного вала) редуктора М-1900, каретки натяжного устройства, а также основных и вспомогательных бегунков эскалаторов, прошедших опытную эксплуатацию на соответствие требованиям, действующих нормативно-технических документов.

В результате установки указанной системы мониторинга, как видно из приведенной схемы отказов существенно увеличивается нагрузка на электрическое оборудование.

Как указано было ранее основной причиной отказов является неисправность электрического оборудования, это может быть неисправность контакторов, пускателей, реле, а также неисправность трансформаторов.

В связи с этим можно с уверенностью утверждать, что установка данной системы мониторинга, повлечет за собой существенное увеличение отказов. Соответственно повлечет за собой значительный материальный урон и понизит безопасность эксплуатацию эскалаторного оборудования.

К тому же по ГОСТ Р 53006-2008 Национальный стандарт Российской Федерации необходимо обучение персонала, что повлечет значительное увеличение расходов на обучение обслуживающего персонала и специалистов.

На основании вышеизложенного, эффект от внедрения указанной системы мониторинга можно рассматривать как негативный эффект (отрицательный), в соответствии с этим установка данной системы признается нецелесообразной.

Из проведенного выше анализа существующих диагностических и внедряемых систем мониторинга и диагностики, а также оценки отказов эскалаторного оборудования предлагается провести следующие мероприятия:



- Проведение мониторинга работы эскалаторов;
- Ведение статистики и выявление основных причин неисправности электрооборудования;
- Проводить опережающие мероприятия по устранению неисправностей, что приведет к минимизации отказов электрооборудования и даст положительный экономический эффект.

Данные мероприятия позволят сэкономить время на ремонт и увеличение срока эксплуатации эскалаторного оборудования.

По техническому диагностированию потребуется организация системы обучения специалистов, проведение курсов повышения квалификации:

- в области технической диагностики и мониторинга состояния оборудования;
- в области системы диагностики вращающегося оборудования, виброисследование вращающихся механизмов, для обнаружения возможных поломок и отказов наиболее эффективен контроль состояния по вибропараметрам;
- специалисты должны быть аттестованы по действующей нормативно-технической документации (НТД), актуальным руководящим документам Ростехнадзора;

Внедрение новых систем мониторинга и диагностики потребуют больших капитальных вложений в части обучения специалистов, закупки нового оборудования, программного обеспечения. По предварительным данным проведение диагностики по вибропараметрам и своевременного устранения всех выявленных при этом дефектов эскалатора экономический эффект может быть получен на 6-7 году эксплуатации, при определении чистого дисконтированного дохода проекта - критерия его эффективности.

Обеспечение безопасности при массовых перевозках пассажиров метрополитенами и принятие оперативных упреждающих мер по раннему выявлению и предупреждению отказов, поиск неисправностей возможен при помощи внедре-

ния передовых технологий для безопасной эксплуатации тоннельных эскалаторов в соответствии с ключевыми трендами цифровой трансформации в транспортной области: «Интернет вещей» (*IoT*), «технология больших данных» (*Big Data*), создание цифрового двойника (*Digital Twin*) с системой «умных датчиков» (*Smart Sensor*).

Во второй части данной работы был представлен анализ научных подходов к инновационному мониторингу и диагностике эскалаторного оборудования. Перспективное направление исследования в данной статье включает мониторинг и диагностику технического состояния эскалаторного оборудования. Основная система показателей, включая отложенный положительный экономический эффект, будет достигнута в результате применения технологий упреждающего подхода с использованием непрерывного сбора данных при помощи системы мониторинга и диагностики, который рассмотрен в третьей части работы.

## **Глава 3 ПРОЕКТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ЭСКАЛАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

### **3.1 План установки оборудования тестирования и результаты тестирования**

Оптимальное управление по минимизации ущерба от отказов и обеспечение нормируемого показателя надежности является прикладной технико-экономической задачей.

В данной главе дается оценка эффективности предлагаемой системы ТЭП по данным испытаний на эксплуатируемых эскалаторах ГУП «Петербургский метрополитен». Представлена проект и оценка ТЭП инновации и коммерциализация проекта мониторинга. В целом, по показателям экономической эффективности с учетом риск-ориентированного подхода и всех затрат, страховых выплат, расчетный период окупаемости проекта равен 1 год.

Подход к решению задачи обеспечения надежности представляет собой экономическую задачу на оптимизацию. Для решения задачи необходимо построить целевую функцию и исследовать ее на оптимальное значение с использованием производной. Целевая функция устанавливает связь между двумя экономическими величинами: затратами на надежность и убытками (размера ущерба, причиненного отказом, в результате нарушения бесперебойной эксплуатации).

В графической интерпретации по решению аналогичной задачи (аналог решений задач члена Российской Академии надежности Дейнеко С.В., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва), представленной на рис. 26, наглядно показано, что эффективнее (целесообразнее) заплатить необходимую сумму за эскалатор с повышенной надежностью, чтобы при этом затраты за вычетом суммы ущерба от отказов были минимальные. Оптимальные затраты (точка минимума вершина параболы) не дадут «низкие» по стоимости и качеству эскалаторы. Необходим учет всех технико-экономических характеристик поставщиков эскала-

торного оборудования: долговечности, надежности, безотказности, ремонтпригодности, бесперебойное снабжение запчастями, удлинение гарантийного срока, качественных гарантий длительного жизненного цикла с высоким качеством послепродажного обслуживания. Эскалаторы на основе самых современных технологий отличаются длительным сроком службы, бесшумностью и экономией энергосбережения около 40%.

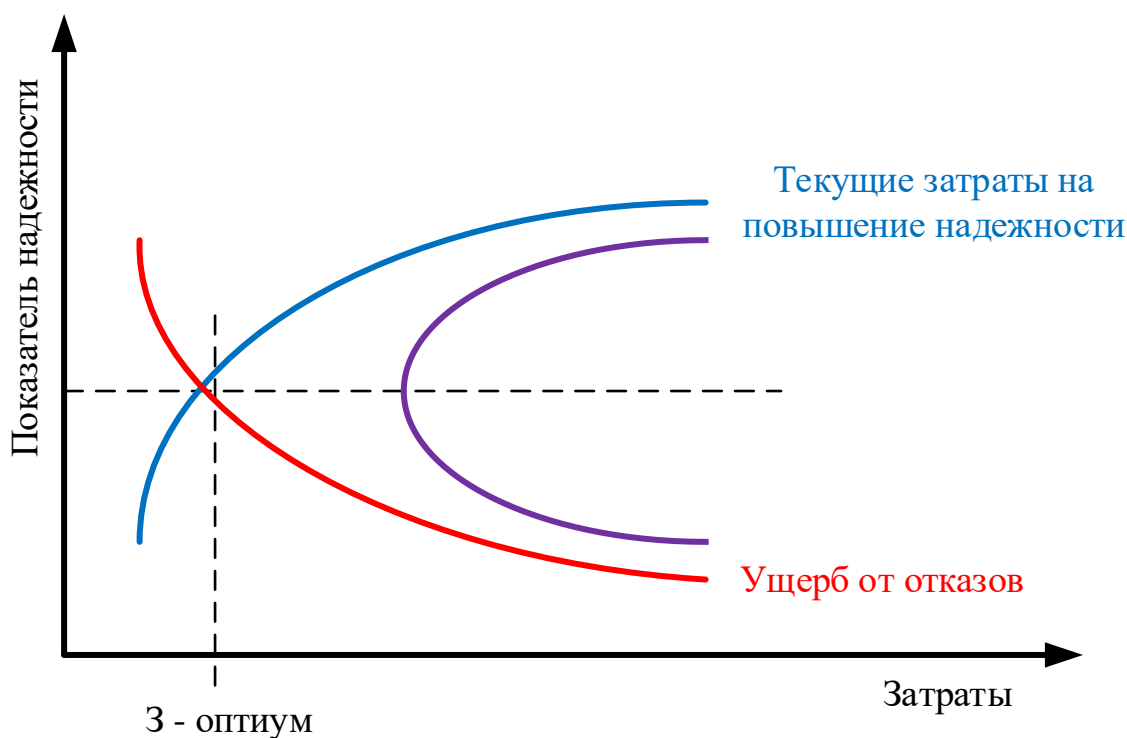


Рисунок 26 - Определение оптимального уровня надежности

В современных условиях постоянного дефицита бюджетных средств для решения задачи рационального использования ресурсов и управления рисками за рубежом развивается новые стратегии.

Начиная с 2008 года экономики всех государств столкнулись с мировым финансовым кризисом и данными статистики по высокому износу в транспортной сфере, что, в свою очередь, означает необходимость не только в экономии средств, но и в рассмотрении методов гибкого планирования, которое включает своевременное прогнозирование работ, а также принятия опережающих мер по ремонту и реконструкции.

Развитие информатики, средств программного обеспечения (ПО), сети Интернет, создает возможность для ускоренного и массового развития методов прогнозирования и планирования и постоянного совершенствования на базе искусственного интеллекта. Чаще всего для транспортной сферы руководители служб выбирают приложение на мобильные планшетные устройства компании *Bentley*, которые позволят увеличить информационную мобильность, обеспечивая целостность данных на всех этапах жизненного цикла.

Прогноз результативности стационарной системы вибродиагностики складывается из мер, направленных сокращение частоты ремонтных работ и недопущение возникновения аварийных ситуаций. Затраты проведения аварийно-восстановительных работ суммируются из следующих расходов:

- утраты капитальных затрат эскалаторного оборудования,
- потери деловой активности (прекращения процесса перевозки),
- компенсации ущерба жертвам аварии,
- затрат на разборку аварийного оборудования,
- юридических расходов.

По мнению д-р техн. наук, профессора МГСУ В.О. Алмазова, если капитальные затраты обозначить через 100%, то суммарный ущерб достигает 600% и более.

В таблице приведены проектные оценочные расчетные возможные высокие отказы и степени риска по элементам главного редуктора и подшипниковых узлов электродвигателя привода эскалатора и бегунков ступеней эскалатора в соответствии с ГОСТ Р 51901.12-2007 Менеджмент риска, их предотвращение и нейтрализация происходит при помощи внедряемого проекта системы вибродиагностики, а также ценовые показатели характеризующие экономичную составляющую в проявлениях отказа по ежегодным данным Эскалаторной службы ГУП «Петербургский метрополитен», которые могут быть использованы в концепции. В данной таблицы не указаны суммы страховых выплат, а только стоимость материалов и работ.

Таблица 14 - Виды отказа в соответствии с частотой и вероятностью появления

Характеристика появления вида отказа	Ранг	Частота появления отказа	Вероятность	Стоимость материалов и работ, тыс руб
Высокая - наличие повторных отказов Ремонт узлов редукторной группы эскалаторов. Замена главного вала по причине проворота подшипника	8	7,66 случаев на 281 штук эскалаторов или 27,27 на 1000	$2,727 \cdot 10^{-2}$	117,437
Очень высокая - отказ почти неизбежен Незапуски эскалаторов по различным причинам после ночного отстоя, недостатки в содержании бегунков ступеней эскалатора, а также в качестве их ремонта	9	22 на 281 штук эскалаторов или 78,29 на 1000	$7,829 \cdot 10^{-2}$	14,504
Очень высокая - отказ почти неизбежен Неисправность механического оборудования	9	27,2 на 281 штук эскалаторов или 96,797 на 1000	$9,6797 \cdot 10^{-2}$	от 41,734 до 1465,667

На основании выше указанных данных, в настоящей работе автором при оценке эффективности инновационного проекта учитывается не только экономические показатели, связанные с инвестиционными вложениями в проект. Оценка эффективности проводится на основании: социально-экономического и научно-технического эффектов от реализации проекта с учетом факторов влияющих на ценность используемых денежных средств (инфляция, дисконтирование), с учетом рисков, количества несчастных случаев и суммы выплат страховых компаний за причинение при перевозках вреда жизни, здоровью, имуществу пассажиров при отказе от реализации проекта в будущем. Далее рассчитанные показатели приведены в п.3.3.

Базовый вариант процесса моделирования проекта мониторинга.

Мониторинг состояния механической части эскалаторной группы проводится с целью:

- автоматический контроль в режиме реального времени информирования о техническом и критическом, аварийном состоянии для надежности и безопасности;
- автоматический контроль в режиме реального времени вибрационного состояния оборудования;
- снижения преждевременного риска утраты конструкциями свойств, определяющих их конструктивную надежность, в результате своевременного обнаружения дефектов на ранней стадии;
- негативного изменения состояния, которое может привести к разрушению, авариям, которые могут повлечь человеческие жертвы;
- перехода объектов в ограниченно работоспособное состояние;
- обеспечения проведения работ периодического мониторинга.

Мониторингу подлежат основные элементы и оборудование, подверженные наибольшим нагрузкам и наибольшим изменениям состояния в процессе монтажа, эксплуатации и имеющий высокий ранг отказа (высокая частота появления отказа и большая вероятность события). Основными параметрами, подлежащими мониторингу, являются:

- Мониторинг вибрационного состояния главного привода эскалаторов;
- Контроль технического состояния редукторной группы и подшипниковых узлов главного привода эскалатора;
- Обнаружение опасных изменений состояния основных и вспомогательных бегунков ступеней эскалатора.
- Мониторинг состояния строительных конструкций проводится для выполнения следующих задач:
  - непрерывный мониторинг деформации (напряжения) для оборудования, определенных важностью и высоким рангом отказа;
  - постоянный вывод и контроль результатов мониторинга;

- выдачу тревожного сигнала в случае превышения значения сигналов датчиков величин, определяемых заказчиком;
- хранение полученных данных.

Основными индикаторами технического состояния являются датчики виброускорения (акселометры) с изолированным от корпуса пьезокерамическим элементом и стандартным *ICP*-питанием. Типовой коэффициент преобразования – 100 мВ/г с предельной пиковой величиной измеряемого ускорения – 50 g. Нормируемый частотный диапазон датчика – 0,5 – 10000 Гц, для относительных измерений датчик используется до 25 кГц, динамичный диапазон –100 дБ. Диапазон внешних температур – от -40 до +125°C.

Для решения данной задачи в составе проекта используется подсистема мониторинга с краткосрочным прогнозированием и оценкой периода безаварийной эксплуатации, напряженно-деформированного состояния (НДС) с определением зарождающихся и развивающихся дефектов, отображения и передача информации с рекомендациями о необходимом техническом обслуживании диагностируемого эскалатора обслуживающему персоналу метрополитена. Работа системы после ее развертывания и включения не требует участия оператора или диагноста.

Мероприятия по подготовке персонала. На стадии ввода в действие должно быть проведено обучение персонала и проверка его готовности обеспечить функционирование системы. После набора статистики, программа системы автоматически подбирает пороговые значения для выбранных мониторинговых величин.

Программа обработки результатов измерений. Полученные значения вибрационных параметров используются для постановки диагноза и прогноза технического состояния агрегата. Синхронная запись сразу по всем каналам системы позволяет значительно увеличить достоверность диагноза, а высокая скорость измерения делает возможным оценку технического состояния агрегата в быстро меняющихся переходных процессах, таких как разгон или выбег. Все по-



лучаемые данные сохраняются программой в облачном хранилище с шифрованием.

Программное обеспечение автоматизированной системой сбора и обработки информации отображает на экране монитора следующую информацию: полный список датчиков и мест их установки на схеме сооружения; показания датчиков в виде цифровых значений, графиков и диаграмм; показания датчиков в текущем времени; величины предельных и критических значений и сравнение их с текущими данными с выделением цветом; конфигурацию элементов сооружений в соответствии с показаниями подсистема изменения конфигурации конструкции.

Система мониторинга предназначена для своевременного оповещения о критическом изменении состояния оборудования и принятия обоснованных решений для безопасности пассажиров и работающего на станциях метрополитена персонала, безопасной эксплуатации, мониторинга и записи в течение всего срока эксплуатации изменений состояния эксплуатируемых элементов эскалатора вследствие накопления в них эксплуатационных дефектов и повреждений, которые с течением времени могут привести сооружение в предельное состояние, требующее соответствующего ремонта или прекращения эксплуатации.

Функции сигнальной подсистемы мониторинга: получение информации о превышении предельно допустимых величин критически важных виброхарактеристик эскалаторных устройств; постоянный мониторинг текущего состояния конструкций; контроль превышения предельно допустимых величин критически важных виброхарактеристик эскалаторных устройств; оперативная, в режиме реального времени передача контроль функционирования устройств. Сигнальная подсистема работает непрерывно в течение всего срока эксплуатации системы и эскалатора.

Функции подсистемы периодического мониторинга: контроль показателей, характеризующих надежность конструкций, с целью предупреждения ситуаций, при которых значения регистрируемых параметров превысят их предельно

допустимые величины, установленные нормами проектирования или расчетными значениями, полученными при проектировании и при изготовлении заводом, оценка надежности конструкций - возможность выполнения ими заданных функций; контроль функционирования сигнальной подсистемы. Подсистема периодического мониторинга подключается в соответствии с регламентом, либо по оперативным сообщениям сигнальной подсистемы, таким как «авария» или «инцидент».

Задачи сигнальной подсистемы мониторинга: сбор данных от датчиков, установленных в критически важных точках конструкций; обработка полученных данных; сравнение полученных и обработанных данных с расчетными, с заводскими параметрами и архивной информацией; передача информации, хранение полученных и обработанных данных в облачном архиве.

Задачи подсистемы периодического мониторинга: сбор, хранение и обработка данных, требуемых для оценки технического состояния; обнаружения зарождающихся дефектов для оптимизации процессов обслуживания и возможности мгновенной идентификации развитых дефектов для оперативного управления эскалаторным оборудованием; сравнение полученных и обработанных данных с расчетными, с заводскими параметрами и архивной информацией; проверка и настройка сигнальной подсистемы мониторинга.

Паспорт разрабатывается для настройки подсистем мониторинга. Исходными данными для разработки Паспорта являются: расчетные граничные значения контролируемых параметров в местах установки средств контроля; данные первичного мониторинга; возможно составление математической модели на основании проектных данных с корректировкой по результатам первичного мониторинга. Граничные значения должны учитывать все возможные нагрузки в соответствии с расчетными данными по проекту, а также с заводскими параметрами и архивной информацией.

Параметры граничных значений: граничные значения должны иметь два основных параметра: предельные, при которых дальнейшая эксплуатация сооружения небезопасна, и требуются срочные действия оперативного персонала по

эвакуации и ремонту; предупредительные, при которых дальнейшая эксплуатация сооружения возможна, но требуются внеплановое обследование оборудования и конструкций и/или ремонтные работы.

Передаваемые сообщения могут быть двух типов: авария; инцидент. Для ситуаций типа «инцидент» должно быть определено регламентированное время, за которое работа эскалаторного оборудования может вернуться в нормативное состояние. Сообщения типа «авария» передаются в следующих случаях: превышение хотя бы одним из параметров предельных значений. Сообщения типа «инцидент» передаются в следующих случаях: превышение хотя бы одним из параметров предупредительных значений; ненормальной работы устройств.

Сигнальная подсистема мониторинга осуществляет решение задач, определенных ранее, в следующем порядке: прием информации от датчиков; сравнение полученных значений с граничными, определенными в паспорте мониторинга; формирование сообщений; передача сообщений в эскалаторную службу; диагностика программно-аппаратного комплекса; сохранение полученной информации в базе данных; отображение информации в приложении на планшетных устройствах. Передача информации, а также отображение принятой информации осуществляется в режиме реального времени. Выдача сообщений дублируется в эксплуатирующую организацию в виде изображений, имеющих красный (для сообщений типа «авария») или желтый (для сообщений типа «инцидент») цвет и звуковым сигналом. Снятие данных изображений и отключение звукового сигнала возможно только оперативным персоналом. Настройка сигнальной подсистем мониторинга заключается в подстановке граничных значений, определенных в паспорте.

Подсистема периодического мониторинга осуществляет решение задач, определенных ранее, в следующем порядке: прием информации от сигнальной подсистем мониторинга; принятие решения о необходимости проведения работ: периодического мониторинга; внеочередного мониторинга; обследований и испытаний; диагностика программно-аппаратного комплекса.

Обеспечение требований к защите информации от несанкционированного

доступа. Защита оборудования, программы и *web* хранилища от несанкционированного доступа к информации обеспечивается программными средствами и соответствовать требованиям класса 3Б в соответствии нормативным документом «Руководящий документ. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации» (утв. Решением Гостехкомиссии России от 30.03.1992).

Требования к квалификации персонала. К работе допускается персонал, имеющий дополнительную подготовку в соответствии с требованиями п. 4.12 «ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования» (утв. Приказом Ростехрегулирования от 28.03.2005 N 65-ст). Дополнительная подготовка должна включать получение навыков работы на специализированных курсах в объеме, необходимом для пользователей и обслуживающего персонала.

Требования к функциям персонала. Персонал (диспетчер), работающий по данному проекту имеет основные обязанности: контроль работоспособности системы мониторинга; прием сообщений об инцидентах, авариях, террористических проявлениях на объектах метрополитена; сообщение старшему диспетчеру о возникновении любой нештатной ситуации; обслуживание, контроль, диагностирование системы и принятие мер по устранению неисправностей; исполнение функции старшего диспетчера при отсутствии последнего. На стадии ввода в действие должно быть проведено обучение персонала.

*SMS*-сообщения оповещения должностных лиц объекта, эксплуатирующих потенциально опасные и технически сложные объекты. В *смс*-сообщениях оповещения должностных лиц включены реквизиты: место события и наименование станции метрополитена, оборудования и т.п.); описание вида угрозы, возможного сценарии развития событий: авария; террористическое проявление; пожар; текст сообщения формируется сервером с командой и рекомендацией (прибыть на место и т.п.).

Краткая справка (аннотация) о проекте.

Основная цель проекта - снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, представляющих угрозу для безопасности людей. Основной виброконтроль опасности поломки при эксплуатации главного редуктора и подшипниковых узлов электродвигателя.

Основное назначение проекта по стационарной системе вибродиагностики:

- 1 Мониторинг вибрационного состояния главного привода;
- 2 Контроль технического состояния редукторной группы и подшипниковых узлов главного привода эскалатора;
- 3 Обнаружение опасных изменений состояния основных и вспомогательных бегунков ступеней эскалатора.
- 4 Основные функции проекта по стационарной системе вибродиагностики:
- 5 Проведение непрерывных измерений параметров вибрации и частоты вращения с записью в архивно-информационную базу (архив);
- 6 Контроль вибрационного состояния главного редуктора и подшипниковых узлов электродвигателя привода эскалатора с целью выявления опасных дефектов;
- 7 Выявление опасных дефектов основных и вспомогательных бегунков ступеней эскалатора;
- 8 Прогноз времени безаварийной работы при обнаружении дефектов;
- 9 Формирование рекомендаций по техническому обслуживанию оборудования по фактическому состоянию;
- 10 Отображение информации о текущем техническом состоянии оборудования.

Основные компоненты стационарной системы вибродиагностики: измерительные элементы (датчики), многоканальные измерительные блоки, сервер хранения и обработки данных; стационарные и удаленные мобильные рабочие места через *web* доступ.

Основные этапы проекта (создание и эксплуатация) указаны на рис. 27

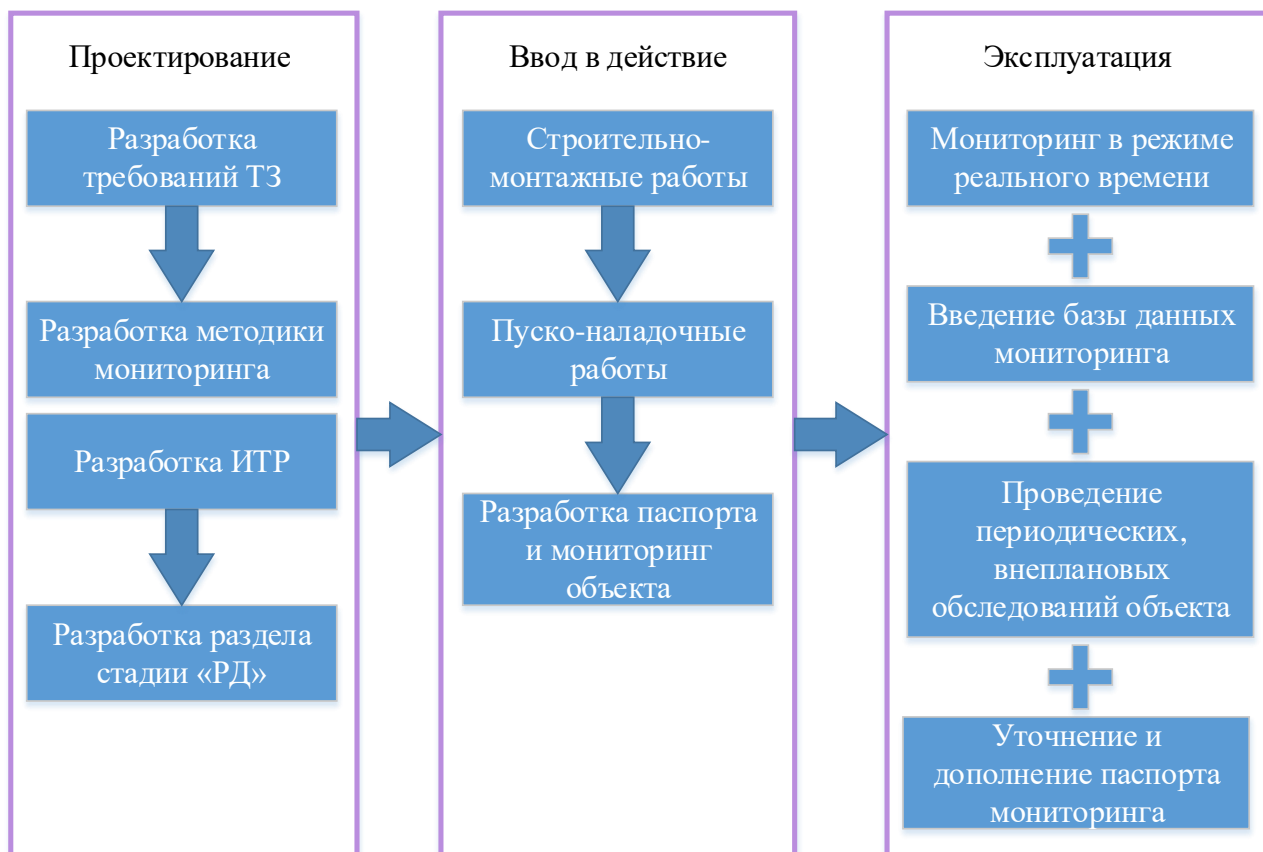


Рисунок 27 – Основные этапы проекта

Паспорт мониторинга состоит из компьютерной модели объекта, заключений периодического мониторинга и матрица граничных значений.

Состояние нарушения нормальной эксплуатации:

- значения интегральных характеристик несущих конструкций соответствуют предельным значениям для наихудшей комбинации нагрузок и воздействий в диапазоне от нормативных до расчётных.

Предавварийное изменение состояния:

- значения интегральных характеристик несущих конструкций соответствуют предельным граничным значениям для наихудшей комбинации нагрузок и воздействий равных или превышающих расчётные значения.

Основные задачи, которые решаются в новой стратегии с применением современных *web* приложений: оптимизация стоимости жизненного цикла и про-

гнозирование срока службы; определение потребности в обслуживании, ремонте, реконструкции или замены с дальнейшей перспективой; выбор наиболее эффективной и экономически выгодной стратегии эксплуатации; продление срока службы и увеличение эффективности службы эксплуатации.

Оптимизация жизненного цикла состоит в переориентации финансовых потоков на начальный этап, а также в проведении профилактических мер и начальных ремонтов эксплуатируемых эскалаторов по результатам мониторинга и диагностики не по плану, а по техническому состоянию, при помощи системы мониторинга с целью минимизации суммарных эксплуатационных затрат за весь срок службы при обеспечении заданного уровня надежности и безаварийности. Данная оптимизация требует технико-экономического обоснования, актуализации нормативов на выполнение работ и переход на новую стратегию содержания эскалаторной службы.

Во всем мире широкое распространение в транспортной инфраструктуре получили программные комплексы с умными датчиками, *web* приложениями и безопасными хранилищами, которые решают задачи по оптимизации стоимости жизненного цикла и прогнозированию остаточного срока службы. Основные экономические показатели нового проекта по системе упреждающей технологии по техническому состоянию с оборудованием, программным обеспечением и датчиками для мониторинга основных элементов эскалаторной группы представлены в следующих разделах.

### **3.2 Прогноз экономической эффективности внедряемой системы**

В результате осуществления дальнейшего анализа по распределению расходов (затрат) на капитальный ремонт, реконструкцию и модернизацией эскалаторов основной группы за 2017-2019 гг. была зафиксирована общая закономерность. Диаграмма единой структуры распределения процентов по фактическим расходам на капитальный ремонт представлена на рис. 28



Рисунок 28 - Структура распределения затрат на капремонт эскалаторов ЭТ

В результате финансового анализа для основных эскалаторов типа ЭТ было установлено следующее (см. диаграммы на рис. 29 и 30):

- самая значительная доля эксплуатационных затрат - амортизация основных фондов (48%);
- самая значительная доля затрат при капитальном ремонте -расходы на приобретение запчастей и комплектующих -77%;
- расходы на эксплуатацию (47%) и капитальный ремонт (15%) суммарно превышают расходы на реконструкцию и модернизацию (38%);
- всего за период 2017-2019 гг. на реконструкцию и модернизацию было освоено 283 млн руб. (в среднем ежегодно, – 94,5 млн руб., что не сопоставимо с уровнем по стоимости одного эскалатора). Вот интересно на что эти 95 млн ежегодно тратились, на какие отказы и аварии и что именно тратилось



Рисунок 29 - Типовая группировка эксплуатационных затрат эскалаторов ЭТ



Структура распределения затрат на эксплуатацию, капремонт и реконструкцию эскалаторов типа ЭТ представлена в рис. 30

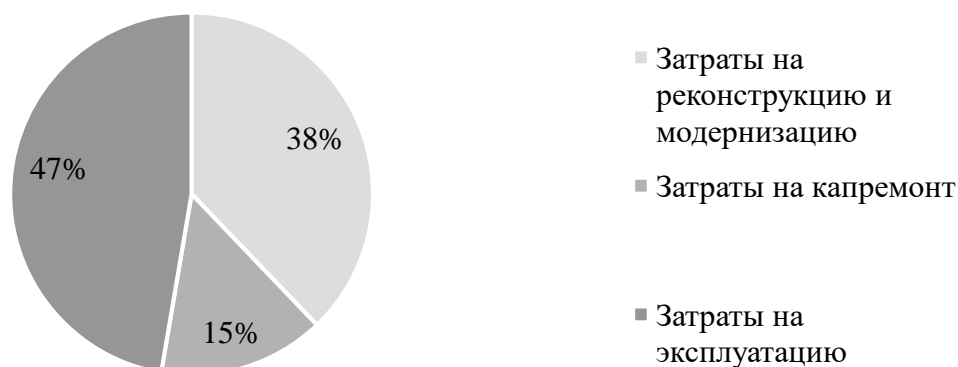


Рисунок 30 - Структура распределения затрат на эксплуатацию, капремонт и реконструкцию эскалаторов типа ЭТ

Изменения за анализируемый период (2017-2019 гг). расходов на реконструкцию и модернизацию в диапазоне 38 % обусловлены как нехваткой финансовых ресурсов, так и отсутствием единой сформированной стратегии по обеспечению инвестиционного потенциала по обновлению основных фондов эскалаторной службы с учетом количество эскалаторов достигших предельного срока службы - 73% (ДОКЛАД ГУП «Петербургский метрополитен» об исполнении плана финансово-хозяйственной деятельности за 2018 год. Потребность в финансировании в ближайшие 10 лет с учетом проведения работ только по реконструкции с заменой эскалаторов, достигших предельного срока службы, требует удвоение существующего бюджетного финансирования (КРТИ, бюджет СПб).

В настоящий момент расходы на реконструкцию и модернизацию составляет (27%), что может быть отнесено только к модернизации без реконструкции, не соответствуют по уровню стоимости новых эскалаторов, а также среднему возрасту эксплуатируемого эскалаторного оборудования мирового уровня.

Планы мероприятий по снижению затрат могут предусматривать организацию тендеров на поставку материалов, запчастей, подрядные ремонтно-строительные услуги и пр., а также реализацию инвестиционных и инновационных проектов по модернизации для увеличения срока службы и с целью экономией

эксплуатационных расходов.

Основные экономические показатели нового проекта по системе мониторинга технического состояния приводов эскалаторов для мониторинга и контроля состояния электродвигателя и редуктора эскалаторов:

- предполагаемый объем инвестиций на реализацию проекта – 1001, 27 тыс. руб;
- снижение эксплуатационных затрат, предотвращение аварий приводов эскалаторов по техническим причинам – до 99%;
- срок окупаемости проекта – 2 года.

Базовый сценарий по обеспечению безопасной эксплуатации с учетом нормативной базы, реальной ситуацией, технического состояния эскалаторов, с учетом замены эскалаторов, выработавших нормативный срок службы, предполагает в первую очередь предусмотреть финансирование для нового проекта работ, который дает сокращение: по ремонтным работам по продолжительности и стоимости 4 раза.

Современные методики оценки эффективности системы мониторинга проекта включают следующие положения:

- методики, в которых положительный эффект от мониторинга оценивается через дополнительную прибыль (прирост чистого денежного потока).
- методики, в которых эффект от мониторинга принимается равным величине предотвращенных потерь (аварийные ремонты, страховые выплаты).

В данной работе при оценке проекта использована комбинация этих указанных двух групп методик.

Положительный эффект от функционирования системы мониторинга реализации проекта предлагается оценивать, как разность величины потенциальных затрат проекта в том случае, если система мониторинга не была бы сформирована и фактических затрат проекта.

Социально-экономическая эффективность учитывает в стоимостном выражении все виды поступлений и затрат, обусловленные реализацией инновацион-

ного проекта (чистый денежный поток, чистый приведенный доход, индекс прибыльности, рентабельность инвестиций, дисконтированный срок окупаемости инвестиций, внутренняя норма рентабельности, коэффициент эффективности инвестиций, оптимизация фонда заработной платы, и др.) с учётом социальных результатов (влияние реализации проекта на безопасность жизни людей, снижение несчастных случаев, включая оценку страховых рисков) реализации инновационного проекта.

Научно-техническая эффективность - показатели новизны упреждающей технологии с повышением уровня автоматизации определения и выполнения ремонтных работ работниками метрополитена эскалаторной службы, профилактических мероприятий по регламентации требований безопасности и надежности эксплуатации (снижению фактора раннего износа, аварийных рисков, повышение безопасности массовой перевозки пассажиров).

Использование при назначении комплекса работ для ремонта эскалаторного оборудования по техническому состоянию позволяет получать достоверную и полную информацию о техническом состоянии, износе и дефектах, что позволяет повысить надёжность и безопасность перевозочного процесса, заранее запланировать и провести минимально необходимый объём ремонтных работ по сравнению с традиционной технологией организации ППР.

При расчёте экономической эффективности проекта использовались следующие показатели:

- чистый дисконтированный доход, или чистая приведенная стоимость (ЧДД,  $NPV$ ), определяется как стоимость чистых денежных поступлений за весь расчетный период, приведенная к начальному шагу с использованием метода дисконтирования;
- индекс доходности ( $PI$ ), отражающий отношение всех дисконтированных денежных поступлений ко всем дисконтированным денежным оттокам;
- срок окупаемости – расчетный год, после которого объем чистых дисконтированных денежных поступлений становится и остается в дальнейшем положительным;

- внутренняя норма доходности (ВНД, *IRR*), отражающая ставку дисконтирования, при которой показатель ЧДД становится равным нулю.

Приведенная к текущему моменту (дисконтированная) стоимость будущих денежных поступлений рассчитывается по следующей формуле 2:

$$PV = \frac{FV}{(1 + E)^t}, \quad (2)$$

где PV – первоначальная (приведенная) стоимость;

FV – будущая стоимость;

E – процентная ставка;

t – количество лет (рассматриваемый период).

Чистый дисконтируемый доход (NPV) рассчитывается по следующей формуле 3:

$$NPV = -IC + \sum CF_t / (1 + r)^t, \quad (3)$$

Где NPV — величина чистого дисконтированного дохода;

IC — первоначальные инвестиции;

CF<sub>t</sub> — потоки денежных средств в конкретный период срока окупаемости проекта, которые представляют собой суммы притоков и оттоков денежных средств в каждом конкретном периоде t (t = 1...n);

r — ставка дисконтирования.

Коэффициент дисконтирования рассчитывается по формуле 4:

$$Kd = 1 / (1 + \text{ставка дисконтирования})^t \quad (4)$$

где t – количество лет до момента приведения.

Чистый доход и чистый дисконтированный доход характеризуют превышение суммарных денежных поступлений над суммарными затратами для данного проекта без учета и с учетом неравноценности эффектов (а также затрат, результатов), относящихся к различным моментам времени.

Индекс доходности инвестиций (*PI*) - отношение суммы элементов денежного потока от операционной деятельности (все капиталовложения за расчетный период с эксплуатацией) к абсолютной величине суммы элементов денежного

потока от инвестиционной деятельности.

Для признания проекта эффективным необходимо, чтобы было численным образом доказано, что чистый дисконтированный доход  $NPV > 0$ , а индекс доходности  $PI > 1$ .

### **3.3 Оценка технико-экономических параметров новой технологии**

Решения об инвестициях в инновационные технологии принимаются, исходя из экономической целесообразности, которая определяется следующими факторами: выгоды, риски и расходы. Оценка расходов произведена на основе модели *TCO (Total Cost of Ownership, Совокупная стоимость владения)*.

Методика расчета ожидаемых технико-экономических результатов внедрения системы проводится на основе документа «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов» (вторая редакция), Москва, Экономика, 2000 г. Исходные данные для расчета взяты из 20-летнего опыта работы специалистов ООО «Ассоциация ВАСТ», данных, полученных от ГУП «Петербургский метрополитен», публикаций в открытой печати.

Технико-экономические эффекты от реализации проекта можно определить, как сокращение затрат на техническое обслуживание и эксплуатацию эскалаторов за счет снижения стоимости работ, предотвращения unplanned затрат, связанных с устранением последствий аварийных отказов, снижения трудозатрат на производство работ, экономии электроэнергии.

При расчете срока окупаемости проекта сделаны следующие допущения:

- ставка дисконта для базового варианта составляет 7,75 % (также рассчитаны два варианта сценария и по сниженным нормам дисконта для оценки социально-экономических эффектов при реализации инвестиционных проектов транспортной инфраструктуры от 14.12.2013 г. №741, по которым рекомендуется использовать ставку 4,73%). Рассматриваются дополнительные стратегии далее после базовых итоговых расчетов и построения диаграмм с линиями трендов, на которых прибыль показана нарастающим итогом.

- норма амортизационных отчислений по приобретаемому оборудованию принята равной 10 % в год;
- интервал планирования – 6 лет;
- эффект от реализации мероприятия рассчитывается ежегодно; расчет ведется в рублях.

Параметры для проведения экономических расчетов взяты из прогноза Минэкономразвития «Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года (Прогноз индексов дефляторов и индексов цен производителей по видам экономической деятельности до 2024 г. (по полному кругу предприятий без НДС, косвенных налогов, торгово-транспортной наценки), (базовый вариант).

Таблица 15 - Пример экономия на ППР и РРР работ, тыс.руб.

Год	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Среднегодовое значение
ФЗП. Затраты текущие по плановому ремонту, тыс. руб.	390,94	589,46	395,38	593,36	391,67	591,70	492,08
ФЗП. Затраты после внедрения системы по техническому состоянию, тыс. руб.	50,15	50,20	201,07	50,53	50,24	301,53	117,29
Э1 Экономия ФЗП на ППР и РРР с учетом дефляторов	340,79	539,26	194,31	542,83	341,43	290,16	374,80
Материальные затраты. Затраты текущие (10% от затрат), тыс. руб.	39,09	58,95	39,54	59,34	39,17	59,17	49,21
Материальные затраты. Затраты после внедрения системы по техническому состоянию, тыс. руб.	5,01	5,02	20,11	5,05	5,02	30,15	11,73
Э2 Экономия материальных затрат на ППР и РРР с учетом дефляторов	34,08	53,93	19,43	54,28	34,14	29,02	37,48

Расчетные значения затрат и экономического эффекта приведены в таблице 10. На основании документа «Классификатор перечня ППР и РРР эскалаторной службы» утверждённого от 28.11.2017 на 239 страницах была составлена табл. 15 и 16, в которой даны подробные расчеты с обоснованием и детализацией, в том числе даны затраты и экономия средств ФЗП и материальных затрат

по двум технологиям по каждому году с дефлятором за весь расчетный период.

Примечание к табл. 15: дефляторы на 2019-2030 г.г. (по данным источника - Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 г. [38], так, например, 2019-2030 гг. показатель в %: коэффициент роста ФЗП: 106,1-107,0%; продукция машиностроения: 105,4-104,8%; обеспечение электрической энергией, газом и паром: 106,1-103,9%.

Применяемые в проекте технологии мониторинга позволяют добиться сокращения сроков выполнения строительно-монтажных работ, повышения долговечности и надежности сооружения, повышения безопасности движения пассажиров и снижения эксплуатационных расходов на содержание эскалаторов.

Снижение затрат при проведении ППР и РРР.

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования складываются из затрат на оплату труда и материальных затрат. Трудоемкость планово-предупредительных работ, выполняемых при обслуживании эскалаторов, составляет функцию стоимости по различным типам и длины эскалатора. Например, трудоемкость при выполнении ППР на 1 эскалатор в месяц длиной 11,6 м составляет 190,70 чел./час, а для 17,3 м - 262,29 чел./час, что почти прямопропорционально высоте по данным анализа оказания услуг по техническому обслуживанию эскалаторов в метрополитене г. Санкт-Петербурга. В соответствии с исходными данными ГУП «Петербургский метрополитен» трудозатраты с учётом средней высоты 46,7 м для эскалаторов ЛТ и ЭТ приняты в соответствии с указанными работами по ППР (среднее значение) составляет - 4,75 чел/час и стоимость работ - 1486,9 руб. и РРР- 10,3 чел/час и стоимость работ - 2515,63 руб.

Основой снижения затрат на проведение ППР и РРР служит изменение состава и периодичности проведения работ ППР и РРР (см. табл.16). Сокращение расходов на ликвидацию последствий неплановых выходов из строя.

При ликвидации последствий неплановых выходов из строя возможно проведение неплановых аварийно-восстановительных работ или проведение неплановых дополнительных предупредительных работ, связанных с устранением причин аварий.

В целях равномерного списания затрат по ремонтам, исходя из установленных показателей периодичности запланированных работ, указанных в таблице 16, построены графики (рис. 31,32 и 33) с отражением разницы между стоимостью ремонтов по двум различным технологиям и относимых в составе расходов будущих периодов с коэффициентом дефлятором. Получившаяся в таком случае разница между ранее прописанными по плану и объемами выполнения работ после внедрения новой системы по техническому состоянию будет являться разницей в стоимости работ и прямой экономией. Основная структура по периодичности до и после внедрения проекта остается неизменной, меняется периодичность во времени - частота становится иная, что показано в столбце как разница (сокращение) в периодичности проведения работ по новой технологии.

Таблица 16 - Изменение периодичности работ ППР и РРР

№ п. ППР, РРР	Наименование работ	Затраты на единицу работ		Периодичность плановая	Затраты плановые	Затраты по текущему состоянию	Затраты по текущему состоянию	Сокращение в периодичности по новой технологии, количество раз
		трудозатр. (чел/час)	стоимость (руб)	Количество раз		руб		
ППР								
50	ТО электродвигателя	1,3	333,90	1 р/мес	434,07	1 р/12 мес	36,17	12
20	Проверка пальцев тормозной муфты	0,3	32,50	1 р/3 мес	9,75	1 р/3 мес	9,75	нет
22	Осмотр зубчатых передач (без измерений)	2,2	678,20	1 р/3 мес	1492,04	1 р/12 мес	373,01	4
52А	Осмотр гл. вала и креплений венцов	8,3	2558,50	1 р/3 мес.	21235,55	1 р/12 мес.	5308,89	4
70А	Осмотр подшипников редуктора с добавлением смазки	12	3699,10	1р/12 мес	44389,20	1р/36 мес	14796,40	3
71А	Осмотр подш. гл. вала с добавлением смазки	0,5	154,10	1р/6 мес	77,05	1р/24 мес	19,26	4
80	Проверка состояния и смазка элементов главного вала и аварийного тормоза. пробное торможение аварийным тормозом	12	3699,10	1 р/12 мес	44389,20	1 р/12 мес	44389,20	нет



№ п. ППР, РРР	Наименование работ	Затраты на единицу работ		Периодичность плановая	Затраты плановые	Затраты по текущему состоянию	Затраты по текущему состоянию	Сокращение в периодичности по новой технологии, количество раз
		трудо-затр. (чел/час)	стоимость (руб)	Количество раз	руб	Количество раз	руб	
87	Замена масла в редукторе	1,4	739,80	1 п/6 лет	1035,72	1 п/6 лет	1035,72	нет
РРР								
10	Добавление смазки в подшипники электродвигателя	1,3	206,50	1 п/2 года	268,45	1 п/2 года	268,45	нет
11А	Текущий ремонт электродвигателя	32	6275,20	1 п/2 года	200806,40	1 п/3 года	133870,93	1,5
13	Проверка состояния моторной полумуфты	1,2	196,70	1 п/2 года	236,04	1 п/6 лет	78,68	3
26	Проверка технического состояния зубчатых зацеплений редуктора	16	4932,10	1п/6 мес	78913,60	1 п/6 лет	78913,60	10
36	Проверка технического состояния подшипниковых узлов редуктора	8,3	2558,50	1п/6 мес	21235,55	1 п/6 лет	21235,55	10
39А	Проверка осевого смещения входного вала	3	924,80	1п/6 мес	2774,40	1 п/6 лет	2774,40	10

На диаграмме (рис. 31 и 32) указаны позиции работ, из которых следуют, что основные изменения по периодичности планового ремонта и по техническому состоянию (ППР – девять позиций работ и РРР – семь позиций работ) произошли в проверке технического состояния зубчатых зацеплений редуктора, подшипниковых узлов редуктора и осевого смещения входного вала – десятикратное уменьшение показателя, что в общей сумме дает уменьшение среднего показателя по периодичности работ по технологическому состоянию почти в 5 раз ( $3,75+5,79=4,83$ ).



Рисунок 31 - Структура работ ППР и сокращение в периодичности ремонтов по техническому состоянию.

Структура работ РРР и сокращение в периодичности ремонтов по техническому состоянию представлена на рисунке 32



Рисунок 32 - Структура работ РРР и сокращение в периодичности ремонтов по техническому состоянию

Рассчитываем среднюю величину расходов за 10 лет: стоимость часа (среднее значение в уровне 2019 г) по ППР составляет - 335,336 руб. и по РРР - 261,638 руб.; средняя разница по показателю периодичности работ по ППР составляет 3,75 раз и по РРР – 5,92.

Таким образом, среднего годового размера расходов по технологиям составит по ФЗП: затраты, текущие по плановому ремонту - 491,59 тыс. руб.; затраты после внедрения системы по техническому состоянию - 116,96 тыс. руб.; что дает разницу и экономию ФЗП на ППР и РРР с учетом дефляторов  $492,08 - 117,29 = 374,80$  тыс. руб. или расходы снижаются в 4 раза -  $492,08 / 117,29 = 4,195$ . По экономии материальных затрат на ППР и РРР с учетом дефляторов  $49,21 - 11,73 = 37,48$  тыс. руб. или  $449,21 / 11,73 = 4,195$  раз. Из анализа указанных данных следует (см. рис. 33), что варианта учета расходов на ремонт по текущему состоянию выгоден с точки зрения экономии затрат как ФЗП, так и материальных затрат - расходы снижаются в 4 раза.

Стратегия по техническому состоянию в виде новой системы технических мероприятий за весь срок службы эскалаторного оборудования в 4 раза сокращает периодичность работ и затраты на обеспечение работоспособности эскалаторного оборудования.

При формировании основных затрат и расчете экономических показателей использованы прайс прайс-листы современных технических средств и новейшего программного обеспечения, разработанного компанией ООО «Ассоциация ВАСТ», «БАЛТЕХ», ООО «Кинематика», обучение по вибродиагностике предусмотрено в ЧОУ ДПО «СЕВЗАПУЦЕНТР», г. Санкт-Петербург, а затраты на внедрение и поддержку приняты как средняя ежемесячная зарплата в Санкт-Петербурге по ГУП «Петербургский метрополитен».

Ключевые затраты на внедрение системы управления проектом:

- Оборудования для вибродиагностики (спектральный анализ, сбор данных, диагностика) - 270 тыс руб. - затраты на оборудование и датчики могут отличаться в зависимости от поставщика. В эти затраты входит оборудование необходимое для запуска и приложения, включая лицензии.

- Программное обеспечение (ПО) - 450 тыс руб. Стоимость программного обеспечения, а также плату за обслуживание. На рис. 34 представлено окно программы мониторинга одного из поставщиков.
- Внедрение – 55 тыс. руб. Затраты на внедрение состоят, как из расходов, формируемых поставщиком ПО, так и внутренних расходов компании.
- Техподдержка - 55 тыс. руб. под затратами на техподдержку понимаются затраты на оплату времени администратора, потраченного на работу с программой по управлению проектом.
- Развитие (обучение) – 20 тыс. руб. Это затраты на дальнейшее развитие инструмента и его пользователей, затраты включают стоимость дополнительных услуг поставщиков ПО, таких как обучение на курсах.

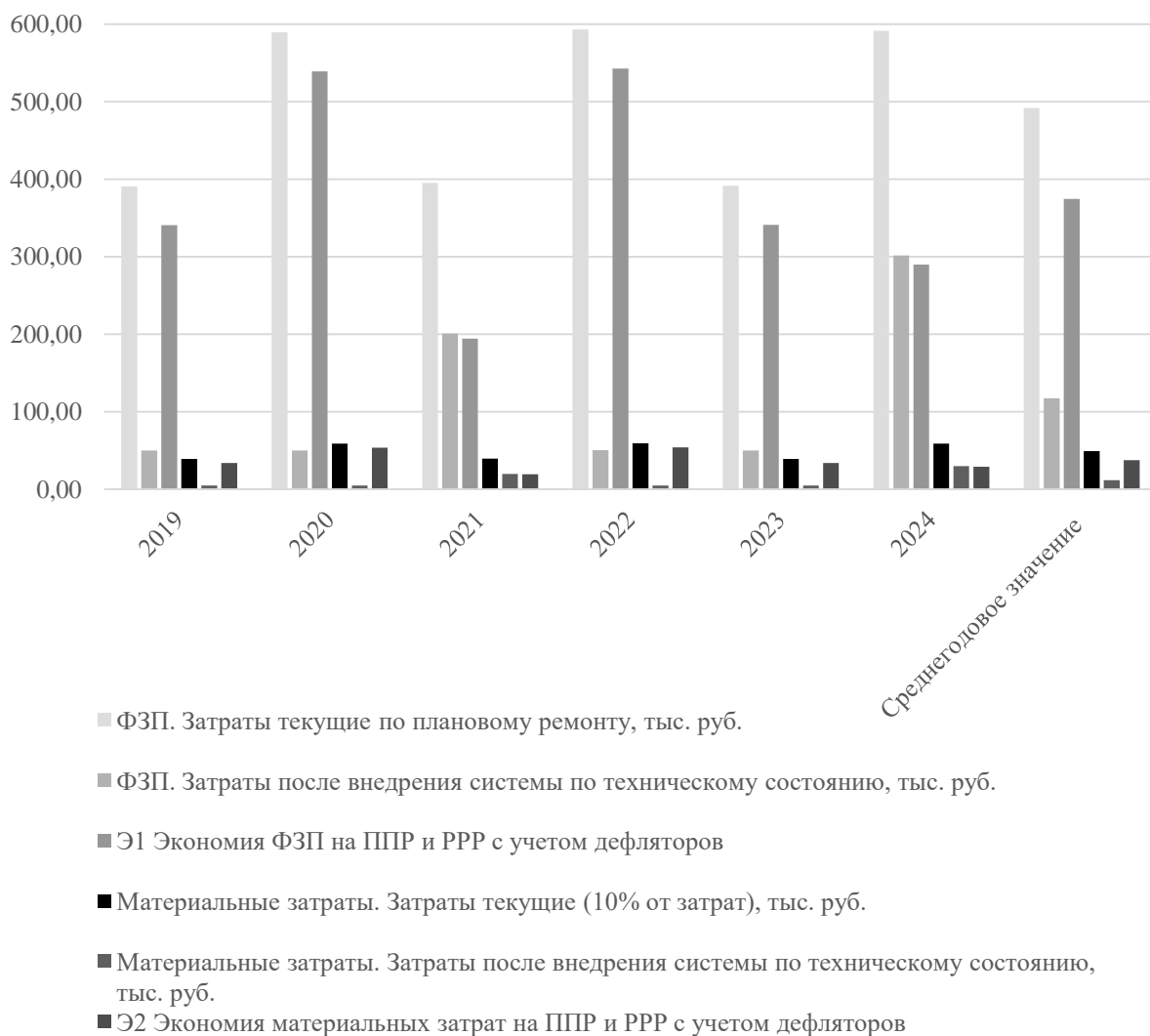


Рисунок 33 - Затраты и экономия средств ФЗП и материальных затрат по двум

Затраты на внедрение и эксплуатацию системы складываются из ключевых затрат на оснащение системой диагностики с обучением – 850 тыс. ( $270+450+55+55+20=850$ ) и затрат на поверку с межповерочным интервалом три года. Стоимость поверки системы составляет 75 тыс. рублей

Начальные преимущества состоят в покупке оборудования и обучении сотрудников, так как данные затраты являются долгосрочными и экономичными инвестициями, так как в случае согласования и заключения контрактов на техническое обслуживание с виброакустической компанией расходы возрастут в 3 раза. По данным ООО «Ассоциация ВАСТ» стоимость вибродиагностика с выдачей отчетов состояния (ежемесячная) - 540 руб. Принимая для расчета количество необходимых замеров 40 точек, рассчитываем итоговую сумму в течении 10 лет -  $540 \times 40 \times 12 \times 10 = 2,592$  млн. руб., что дороже в 3 раза ( $3,05 = 259200$  руб./85000 руб).

Проект внедрения предусматривает нескольких этапов с общей суммой денежных потоков – 850 тыс. руб:

- Согласования заключения контрактов и закупка оборудование и ПО (21 рабочий день) – 720 тыс. руб;
- Установка ПО, настройка системы и обучение на курсах (10 рабочих дней) – 20 тыс. руб;
- Тестирование системы (21 рабочий день) – 55 тыс. руб;
- Внедрение системы (21 рабочий день) – 55 тыс. руб;
- Оценка результатов проекта.

Затраты на устранение последствий неплановых выходов из строя складываются из затрат на оплату труда и материальных затрат.

При ликвидации последствий неплановых выходов из строя возможно проведение неплановых аварийно-восстановительных работ или проведение неплановых дополнительных предупредительных работ, связанных с устра-

нением причин аварий. Расчет экономического эффекта производился на основании данных, полученных от ГУП «Петербургский метрополитен». При расчете экономического эффекта принималось, что при эксплуатации системы мониторинга и диагностики вместо замены главного вала производится его ремонт.



Рисунок 34 - Пример ПО и экранов мониторинга привода и бегунков от компании ООО «Ассоциация ВАСТ»

Экономия ФЗП затрат на ликвидацию последствий неплановых выходов из строя принималась с 2019 до 2024 гг, так, например, для 2024 г, вероятность события- 0,02727; ФЗП неплановая замена вала - 117,43731 тыс. руб.; а ФЗП ремонт вала - 23,487462 тыс. руб.; следовательно, экономия только ФЗП на неплановые ремонты, с учетом дефляторов без материалов за период с 2019 до 2024 гг - 3320,54 тыс. руб. Общая сумма за период 2019-2024 гг на ремонт значительно экономит средства, в отличие от работ по замене вала, итого экономия от ликвидации неплановых выходов из строя составляет с учетом значения индексов-дефляторов - 846,88 тыс. руб, как общая сумма экономии по ФЗП - 564,59 тыс. руб. и по материальным затратам - 282,29 тыс. руб.

#### Сокращение расходов на электроэнергию

Примерно 50% всех поломок машин, и в первую очередь подшипников, вызваны расцентровкой валов. Согласно статистике, для электродвигателей и насосного оборудования доля несоосности в причинах отказа достигает 60%. Несоосные валы — это и повышенные нагрузки на подшипники, и преждевременный износ масляных уплотнений, и повышенный уровень вибрации. Следствием

вышеперечисленных факторов является преждевременный выход из строя оборудования, повышенные затраты средств на ремонт, снижение экономической и энергетической эффективности.

При несоосных валах возникает момент сил реакции, который приводит к повышенным нагрузкам на опоры и вызывает: износ подшипников и уплотнений; повышенное потребление энергии; увеличение уровня вибрации и шума. Своевременное проведение работ по виброналадке оборудования способно снизить потребление электроэнергии. Для дальнейших расчетов используем пессимистическую оценку снижения энергопотребления на 1%. Расход электроэнергии по информации от ГУП «Петербургский метрополитен» принят в размере 30000 кВт/час в месяц, при этом цена одного кВт/часа электроэнергии в 2018 г. принята 2,26 руб. Экономия электроэнергии для 2019 составляет - 7,194 тыс. руб.

#### Затраты на внедрение и эксплуатацию системы

Затраты на внедрение и эксплуатацию системы складываются из затрат на внедрения системы диагностики - 850 тыс. руб и затрат на поверку с межповторочным интервалом три года. Стоимость поверки системы составляет 75,49 тыс. руб. в 2021 г.

#### Ожидаемые показатели экономической эффективности

Сводная таблица затрат и отчислений на проект приведена в таблице 17.

Пример базового расчета на один эскалатор высотой 45 м с учетом рисков аварий по неплановой замене вала представлен в табл. 17, был также произведен дополнительный расчет для эскалатора высотой 15 м без учета риска аварий, который показал окупаемость проекта в течении 6 лет с учетом ставки дисконтирования - 4,73%.

Таблица 17 - Сводная таблица финансовых эффектов, тыс. руб.

Показатель, тыс.руб	Годы					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Выручка	10 400,50	10 867,28	11 724,22	12 102,44	12 863,36	13 368,13
Текущие затраты, в т.ч.	11 307,96	10 468,67	10 627,31	10 571,56	10 580,70	10 646,61
Материальные затраты	2 416,26	2 404,87	2 432,20	2 436,76	2 441,31	2 439,03
Амортизация основных фондов	3 732,13	3 774,54	3 781,61	3 788,68	3 785,15	3 781,62
Оплата труда	3 322,99	3 307,33	3 344,91	3 351,18	3 357,44	3 354,31

Показатель, тыс.руб	Годы					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Страховые взносы	986,58	981,93	993,09	994,95	996,81	995,88
Прочее	850,00		75,49			75,78
Прибыль	-907,46	398,61	1 096,92	1 530,88	2 282,66	2 721,51
Чистая прибыль	-907,46	398,61	1 096,92	1 530,88	2 282,66	2 721,51
P, денежный поток	2 567,89	3 448,89	3 665,31	3 633,33	3 767,63	3 670,85
PI	1,6159					
Чистый дисконтиро- ванный денежный по- ток (ставка 4,73%)	-850,00	-357,50	311,19	621,33	1 235,02	1 645,17
Чистый дисконтиро- ванный денежный по- ток (ставка 7,75%)	-850,00	-371,30	260,43	545,22	1 092,95	1 448,74
DPP, лет	2					
NPV за 2 года (ставка 4,73%)	311,19					
NPV за 2 года (ставка 7,75%)	260,43					

Описанные ожидаемые показатели экономической эффективности даны на рис. 32, где на графике возможная прибыль представлена нарастающим итогом с учетом дисконтирования. Приведенный расчет показателей эффективности управления ремонтами эскалаторного оборудования до и после внедрения стратегий по формуле (3): чистый дисконтированный доход больше нуля и при разных стратегиях минимальный *NPV* за 2 лет 311,19 или 260,43 тыс. руб при ставке дисконта 4,73 или 7,75%, инвестиционный проект выгоден, индекс доходности – больше единицы. Ожидается, что ставка доходности (дисконтирования) не будет меняться и тогда срок окупаемости проекта – 2 года, что наглядно демонстрирует график на рис. 35, где экономический эффект нарастающим итогом пересекает «нулевые» значения, где происходит покрытие первоначальных затрат (инвестиций в проект). При учете аварийных ремонтов и при высоте эскалаторов 46,7 м (средней высоте по основным типам эскалаторов Санкт-Петербурга) и при пониженной ставке дисконтирования, например, как для инвестиционных проектов, срок окупаемости проекта - 2 лет.



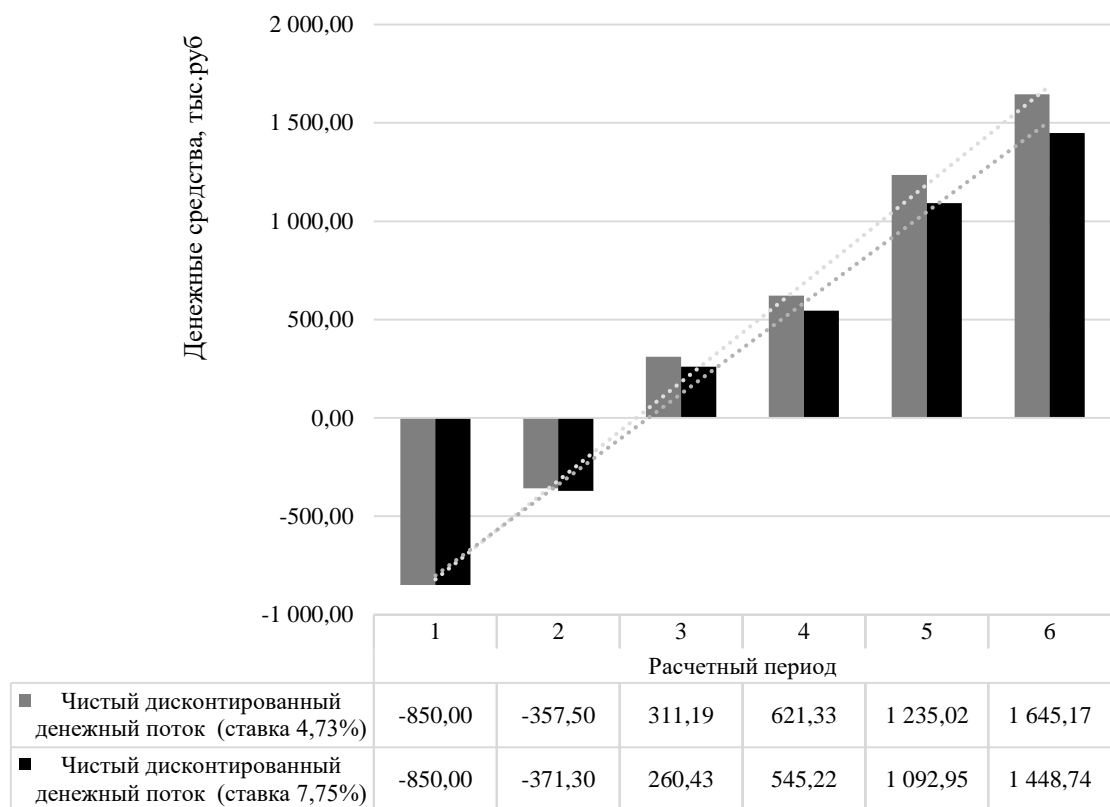


Рисунок 35 - Чистый дисконтированный денежный поток (базовый вариант для эскалатора Н=46,7 м с учетом неплановых работ по замене вала)

Метрополитен является подземным сооружением и объектом повышенной опасности, в котором проводятся работы не только по перевозке пассажиров, но и по эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту. В процессе анализа в 1 и во 2 главе выявлены причины травматизма в результате перемещений пассажиров на эскалаторе и производственного травматизма. Элементы социально-экономического эффекта от внедряемой технологии состоят в изменении показателей уровня производственного травматизма, в количестве дней невыхода на работу по причине болезни, в затратах на лечение или выплаты компенсаций работникам и пассажирам.

Действующим законодательством ФЗ от 14.06.2012 г. № 67-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности перевозчика за причинение вреда жизни, здоровью, имуществу пассажиров и о порядке возмещения такого вреда, причиненного при перевозках пассажиров метрополитеном» (Статья 8. Условия договора обязательного страхования) установлены лимиты страховых

выплат при наступлении ответственности перевозчика в результате причинения вреда здоровью пассажиров в пределах - 2 млн. рублей, при этом средняя страховая сумма по застрахованным эскалаторам составляет примерно - 1 тыс. \$ за 1 объект.

Руководствуясь данными суммами выплат и критериями оценки инвестиционного проекта, метрополитен обеспечит устойчивость и доходность от безопасного перевозочного процесса. А удаленный мониторинг позволит оптимизировать инвестиционные процессы компании в течении одного года.

Из анализа выше приведённых (табл. 17, рис. 35) данных следует, что варианта учета расходов на ремонт по текущему состоянию выгоден с точки зрения затрат как ФЗП, так и материальных затрат - расходы и периодичность ремонтных работ снижается в 4 раза.

Важность элементов оборудования эскалатора отражает степень внимания при выполнении контроля ее технического состояния и очередность заполнения дефектной ведомости на капитальный ремонт эскалатора с указанием пробега. Получается, что наибольшее внимание должно быть уделено главному и вспомогательному приводу эскалатора, включающие узлы - главные валы, которая чаще подвержена отказу и входят в пункты 1 и 2 дефектной ведомости, включающая 14 основных конструктивно-сложных составных элементов. Для оценки дополнительных экономических эффектов предлагается использовать ранжирование с применением риск-ориентированного подхода и отнесения по классам (категориям) опасности. Доля отказа по главному и вспомогательному приводу эскалатора для подсистем редукторной группы и подшипниковых узлов эскалатора и электрооборудования, включая устройства управления, приборы и устройства безопасности составляет – 40 %, важность указанных подсистем - 0,4.

Основные экономические показатели нового проекта по системе мониторинга технического состояния приводов эскалаторов могут быть рассмотрены с учетом расходов по стоимости ремонтных работ при отказе основных механических систем эскалатора стоимостью около 1 млн. рублей, принимая вероятность только этого разового отказа для данного критического элемента, в условном

виде составит всего 1 год. При суммировании дополнительных рисков, срок окупаемости проекта составит менее 1 года (с учетом затрат на ремонт, число отказов в год, время простоя, потеря прибыли, общая утраченная прибыль, штрафные выплаты, страховые выплаты, общая стоимость отказа).

При учете ставки дисконтирования, как для инвестиционных проектов, срок окупаемости проекта составит – 2 года, с оценкой условного риска аварийности (отказа главного вала и страховых выплат в результате несчастного случая) – 1 год.

Внедрение проекта позволило достичь основных результатов:

- Сокращение периодичности и стоимости работ по ППР и РРР в 4 раза;
- Сокращение текущих затрат на 5%;
- Обеспечения безопасности – 98%.

Полученные показатели и расчетные значения свидетельствуют о экономической эффективности применения проекта новой технологии, основой снижения затрат на проведение ремонтных работ служит изменение состава и периодичности проведения работ, а также сокращение расходов на ликвидацию последствий неплановых выходов из строя, аварийных случаев и страховых выплат.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные задачи и подходы к решению проблемы эксплуатации метрополитенов можно сформулировать на основании зарубежного опыта по данным рабочей программы КОМИТЕТА МЕТРО на 2019-2021 гг., которое прошло в 2019 г. в Мадриде. Программа включает неизменные приоритеты – модернизацию, реновацию и развитие сети метрополитенов с оптимизацией расходов. Главная задача по организации работы метрополитенов, включает общие международные проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры: внедрение новых технологий (80%) с ключевыми трудностями внедрения инновационных технологий таких как, формирование и расходование амортизационного ресурса (56%) и низкое финансирование, недостаточность собственных финансовых ресурсов, ограниченность бюджетных средств (32%). Современные технологии для решения приоритетных задач в условиях недостаточности средств - это полная автоматизация и «технология больших данных» (Big Data). В пакет инновационных решений интегрируются новые концепции цифровых технологий и «умного города» такие как «Мобильность как услуга» (MaaS) и применение искусственного интеллекта. Опасение стагнации пассажиропотока не так актуально, так как наблюдается стабильный ежегодный рост пассажиропотока во всем мире.

Основным элементом для правильного планирования расходов и распределения ресурсов на содержание и ремонт является мониторинг, контроль и прогноз изменения фактического реального технического состояния оборудования в течение всего срока службы. Для повышения объективности прогноза остаточного срока службы необходимо, чтобы мониторинг и диагностика осуществлялись цифровым путем с обработкой технических параметров, показателей и вариантов их изменения на основании точных расчетов остаточного ресурса, прогноза состояния, эффективности капитальных вложений и приоритетности сроков выполнения работ и рисков.

Для уменьшения количества аварий, снижения рисков нарушений пропускной способности пассажиропотока и увеличения срока службы эскалаторов,

а также в целях оптимизации финансовых затрат, главные гипотезы в области эксплуатации и внедрения эффективных, экономичных форм обслуживания эскалаторов заключается:

- в целенаправленном перераспределении структуры общего объема всех расходов для преимущественного финансирования начальных этапов работ по проектированию с применением BIM-моделей и комплексу работ по содержанию в процессе эксплуатации;
- в реализации индивидуальной стратегии, основанной на объективных данных о техническом состоянии узлов и деталей, таких как результаты вибродиагностики и тепловой контроль электрооборудования;
- в повышении долговечности конструкций и механизмов, увеличение межремонтного периода, сокращение потребности в запасных частях, предотвращение аварийных отказов за счет своевременного проведения профилактических (предупредительных) мероприятий, оперативного ремонта по результатам мониторинга и диагностики, в зависимости от текущего технического состояния эксплуатируемых эскалаторов, повышения качества выполняемых ремонтных и восстановительных работ;
- в оптимальном цифровом планировании и регулировании финансирования расходов на содержание системы комплексного обслуживания эскалаторной службы на основе имитационного моделирования и адаптаций решений Big Data для моделирования, анализа и оптимизации (автоматического определения приоритетности выполняемых работ «цифрового двойника»);
- в оптимальных компоновочных решениях при строительстве и реконструкциях метрополитенов с организацией доступа маломобильных групп населения (МГН), позволяющие уменьшить статистику аварийности пассажиров, увеличить степень комфорта при спуске на станцию (применение лифтов, исключаящее перемещение по лестничным спускам и эскалаторам).

Проект вибромониторинга направлен прежде всего на снижение количества неисправности механического оборудования, что дает сокращение до 67%

всех отказов и нарушений. Предотвращение 1 отказа дает прямую экономию в среднем в год на 1 эскалатор - 164,67 тыс. руб, при учете общего количества эскалаторов - 281 шт. – 46,27 млн. руб.

Метрополитен - сложнейший инженерно-технический объект многопланового использования. Если не будет обеспечена безопасность эскалаторного оборудования то, кроме материальных и людских потерь, город может на длительный промежуток времени потерять доступность важной подземной транспортной артерии, так как около 60 % всего городской пассажироперевозки осуществляет ГУП «Петербургский метрополитен», что глобально усугубит транспортную ситуацию в городе и практически парализует перевозки пассажиров.

Основные экономические показатели проекта о внедрении системы мониторинга технического состояния приводов эскалаторов: сокращение периодичности и стоимости работ в 4 раза, что дает экономию свыше 5% от стоимости всех текущих затрат на эскалаторы. Предполагаемый объем инвестиций на реализацию проекта – 1001,27 тыс. рублей. Срок окупаемости проекта – 2 года.

Положительный результат для ГУП «Петербургский метрополитен» от эффективно функционирующей системы управления будет продемонстрирован тенденциями позитивного изменения технико-эксплуатационных характеристик эскалаторов (по показателям безопасности и долговечности).

Основная система показателей, включая отложенный положительный экономический эффект, будет достигнута в результате применения технологий упреждающего подхода с использованием непрерывного сбора данных при помощи системы мониторинга и диагностики. 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.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 ГОСТ 19.701-1990 (ИСО 5807-85). Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. - М.: Стандартинформ, 2010. - 22 с.
- 2 ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. - М.: Стандартинформ, 2011. - 10 с.
- 3 ГОСТ 31350-2007. Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки. - М.: Стандартинформ, 2007. - 32 с.
- 4 ГОСТ 520-2011. Подшипники качения. Общие технические условия. - М.: Стандартинформ, 2012. - 69 с.
- 5 ГОСТ Р 54765-2011 Эскалаторы и пассажирские конвейеры. Требования безопасности к устройству и установке. - М.: Стандартинформ, 2012. - 80 с.
- 6 ГОСТ Р 56542-2015. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. - М.: Стандартинформ, 2015. - 11 с.
- 7 ГОСТ Р ИСО 10816-1-1997. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. - Минск: Стандартинформ, 1997. - 14 с.
- 8 ГОСТ Р ИСО 10816-3-2002. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью от 120 до 15000 мин<sup>-1</sup>. - М.: Стандартинформ, 2007. - 16 с.
- 9 ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы. - М.: Стандартинформ, 2010. - 43 с.
- 10 ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации. - М.: Стандартинформ, 2010. - 28 с.

- 11 ГОСТ Р ИСО 5348-2002. Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров. - М.: Стандартинформ, 2007. - 16 с.
- 12 ГОСТ ИСО 10816-1-97. Межгосударственный стандарт. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования (Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1: General guidelines. Введен в действие Постановлением Госстандарта России от 17.09.1998 N 353)
- 13 ГОСТ Р 53006-2008. Национальный стандарт Российской Федерации. Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования (утв. и введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 13.11.2008 N 309-ст)
- 14 ГОСТ Р 54765-2011 Эскалаторы и пассажирские конвейеры. Требования безопасности к устройству и установке. - М.: Стандартинформ, 2012. - 80 с.
- 15 ГОСТ Р ИСО 10816-1-1997. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. - Минск: Стандартинформ, 1997. - 14 с.
- 16 ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы. - М.: Стандартинформ, 2010. - 43 с.
- 17 ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации. - М.: Стандартинформ, 2010. - 28 с.
- 18 Закон Санкт-Петербурга от 29.11.2019 N 614-132 «О бюджете Санкт-Петербурга на 2020 год и на плановый период 2021 и 2022 годов» (принят ЗС СПб 27.11.2019). Официальный интернет-портал правовой информации Администрации Санкт-Петербурга <http://www.pravo.gov.ru>, 09.12.2019.
- 19 Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке изделия на



месте его применения, эскалаторы ЭТ-2 и ЭТ-3. Т-65213ИМ. - СПб.: СПб ГУП «Петербургский метрополитен», 1985. - 66 с.

20 Инструкция по эксплуатации, эскалаторы ЭТ-2 и ЭТ-3. Т-65215ИЭ. - СПб.: СПб ГУП «Петербургский метрополитен», 1985. - 100 с.

21 Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке изделия на месте его применения, эскалаторы ЭТ-2 и ЭТ-3. Т-65213ИМ. - СПб.: СПб ГУП «Петербургский метрополитен», 1985. - 66 с.

22 Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке изделия на месте его применения, эскалаторы ЭТ-2М и ЭТ-3М. Т-90236ИМ. - СПб.: СПб ГУП «Петербургский метрополитен», 1986. - 66 с.

23 Инструкция по эксплуатации, эскалаторы ЭТ-2 и ЭТ-3. Т-65215ИЭ. - СПб.: СПб ГУП «Петербургский метрополитен», 1985. - 100 с.

24 Постановление Правительства Москвы от 15.10.2019 N 1323-ПП «Об Адресной инвестиционной программе города Москвы на 2019-2022 годы». Первоначальный текст документа опубликован на официальном портале Мэра и Правительства Москвы <http://www.mos.ru>, 15.10.2019, в издании «Вестник Мэра и Правительства Москвы», N 59, 22.10.2019.

25 РД 03-427-01. Методические указания по проведению экспертных обследований вентиляторных установок главного проветривания. - М.: ООО «НТЦ «Промышленная безопасность», 2009. - 84 с.

26 РД 26.260.004-91. Методические указания: прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. - М.: АО «НИИхиммаш», 1992. - 50 с.

27 Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 19.05.2015 N 55 «О внесении изменений в Решение Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. N 823».

28 РД 50-497-84. Техническая диагностика. Правила сбора и обработки исходных данных для расчёта показателей диагностирования. - М.: Издательство стандартов, 1982. - 16 с.

29 РР-ЭС 001-10. Руководство по ремонту эскалаторов. - СПб.: СПб

ГУП «Петербургский метрополитен», 2011. - 200 с.

30 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». - СПб.: ЗАО «СТЭК», 2005. - 43 с.

31 Федеральный закон РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. - 41 с.

32 Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

33 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности эскалаторов в метрополитенах». Серия 10. Выпуск 83. - М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. - 76 с.

34 Анализ нарушений нормальной работы оборудования за 2010-2017 года. СПб ГУП «Петербургский метрополитен» эскалаторная служба [Электронный ресурс]. - СПб.: 2016. - 890 с.

35 Бардышев, О. А. Организация ремонта техники на транспортном строительстве / О. А. Бардышев, А. М. Ратнер, В. Г. Тайц. - М.: Транспорт, 1988. - 239 с.

36 Барков, А. В. Вибрационная диагностика колесно-редукторных блоков на железнодорожном транспорте / А. В. Барков, Н. А. Баркова, Б. В. Федорищев. - СПб.: СПбГМТУ, 2002. - 101 с.

37 Барков, А. В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учебное пособие / А. В. Барков, Н. А. Баркова. - СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2004. - 152 с.

38 Барков, А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учебное пособие / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. - СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. - 159 с.

39 Барков, А. В. Современное состояние виброакустической диагностики машин / А.В. Барков, Н. А. Баркова. - СПб.: Изд. А/О ВАСТ, 1997. - 158 с.

- 40 Баркова, Н. А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудование: учебное пособие / Н. А. Баркова. - СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2003. - 156 с.
- 41 Барков, А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учебное пособие / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. - СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. - 159 с.
- 42 Бейзельман, Р. Д. Подшипники качения, справочник / Р. Д. Бейзельман, Б. В. Цыпкин, Л. Я. Перель. - М.: Машиностроение, 1975. - 572 с.
- 43 Бигус, Г. А. Техническая диагностика опасных производственных объектов / Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев. - М.: Наука, 2010. - 415 с.
- 44 Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. - М.: Машиностроение, 1978. - 240 с.
- 45 Бигус, Г. А. Техническая диагностика опасных производственных объектов / Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев. - М.: Наука, 2010. - 415 с.
- 46 Вибрационная динамика машин и виброакустическая диагностика, Прыгунов А. И., Папуша А. Н. // Вестник МГТУ. - 1998. - № 1. - С. 21-27.
- 47 Вибродиагностика оборудования предприятий хлебопекарного производства / Л. А. Глебов, А. А. Потеря, А. Е. Яблоков // Наука-сервису: международная научно-техническая конференция. - М.: МКУС, 2001. - С. 75-80.
- 48 Ермилова А.В., Будрина Е.В. Инновационный вектор эффективной стратегии эксплуатации тоннельных эскалаторов. //ЭПИ: Экономика. Право. Инновации, Год: 2020. -. 57-64. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42736400> (дата обращения: 18.05.2020).
- 49 Отчеты о техническом состоянии оборудования ГУП «Петербургский метрополитен», ООО «Ассоциация ВАСТ» («ВиброАкустические Системы и Технологии»), СПб, 2018 г. [Электронный ресурс]. - URL:<https://www.vibrotek.ru/>(дата обращения: 22.02.2020).
- 50 Определение зон вибрационных состояний главных электродвигателей приводов тоннельных эскалаторов / Бардышев О. А., Филин А. Н. // Транс-

порт: проблемы, идеи, перспективы. - 2016. Сборник трудов № LXXVI. - С. 295-303.

51 Поминов, И. Н. Эскалаторы метрополитена. Устройство, обслуживание и ремонт / И. Н. Поминов. - М.: Транспорт, 1994. - 320 с.

52 Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года (разработан Минэкономразвития России)/ [Электронный ресурс]. - <http://www.economy.gov.ru> (дата обращения: 22.04.2020).

53 Подземный эксперт — крупнейший в России информационный ресурс: о проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений во всем мире [Электронный ресурс]. - URL: <https://undergroundexpert.info/>, (дата обращения: 22.02.2020).

54 Пристинский В. Л. 100 знаменитых изобретений. Издательство: Фолио, 2006. - 520 с.

55 Стяжкина А. Н. Перспективы строительства метрополитена в Санкт-Петербурге на основе договора концессии // Экономика нового мира. 2017. №4 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-stroitelstva-metropolitena-v-sankt-peterburge-na-osnove-dogovora-kontsessii> (дата обращения: 09.03.2020).

56 Смолова М.В. Типологическое многообразие сетей метрополитена как отражение пространственнопланировочной структуры города // Известия КазГАСУ. 2017. №3 (41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tipologicheskoe-mnogoobrazie-setey-metropolitena-kak-otrazhenie-prostranstvennoplanirovочноy-struktury-goroda> (дата обращения: 09.03.2020).

57 Характерные виды разрушений крупногабаритных подшипников в процессе эксплуатации. Причины появления и методы их устранения. Критерии отбраковки деталей подшипников при проведении плановой ревизии: руководство (методическая инструкция) по монтажу и эксплуатации. - Самара: ОАО «Самарский подшипниковый завод», 2011. - 11 с.

58 Шиляев А. М. Основные проблемы формирования ремонтного производства электроэнергетической отрасли России в послереформенный период // Математическое моделирование и информационные технологии в организации

производства: период. науч. практ. журнал. – 2015. - № 20. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – С. 66-67.

59 Экспертизы промышленной безопасности (заключения) по оценке технического состояния отработавших нормативный срок службы эскалаторов. ЗАО «СТЭК», ФГБОУ ВПО ПГУПС- СПб.: 2005-2015 гг. - 278 с.

60 Официальная сайт технического комитета по стандартизации ТК-209 «Лифты, эскалаторы, пассажирские конвейеры и подъемные платформы для инвалидов» [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.rlolift.ru/ru/tk/tk/> , (дата обращения: 22.02.2020).

61 Официальная сайт лифтовой компании KONE в России [Электронный ресурс]. - URL:<https://www.kone.ru>, (дата обращения: 22.02.2020).

62 Официальная сайт лифтовой компании Thyssenkrupp Elevator в России [Электронный ресурс]. - URL: <https://thyssenkrupp-elevator.ru/>, (дата обращения: 22.02.2020).

63 Официальная сайт лифтовой компании ОТИС в России [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.otis.com/ru/ru/>, (дата обращения: 22.02.2020).

64 Официальная сайт АО ЦНИИС Научно-исследовательский центр «Тоннели и метрополитены» [Электронный ресурс]. - URL: <https://tsniis.com/podrazdeleniya/nic-tm/>, (дата обращения: 22.02.2020).

65 Arriola, D., Thielecke, F. Model-based design and experimental verification of a monitoring concept for an active-active electromechanical aileron actuation system (2017). Mechanical Systems and Signal Processing, 94, pp. 322-345. DOI: 10.1016/j.ymssp.2017.02.039

66 Bardyshev, O.A., Popov, V.A., Korovin, S.K., Filin, A.N. Monitoring of technical condition of technical devices at hazardous production facilities (2020) Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti, 2020 (1), pp. 52-56. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-52-56

67 Bardyshev, O.A. About diagnostics of technical devices [О диагностировании технических устройств] (2019) Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti, 2019 (7), pp. 44-48. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-7-44-48

68 Beebe, J. Integration of lift systems into the internet of things and the need for an open standard information model (2016) Symposium on Lift and Escalator Technologies, 6 (2016), № 5.

69 Bricsys Conference Highlights «One Platform» Approach to Design Bricsys By Randall Newton. October 18, 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.digitalengineering247.com/article/bricsys-conference-highlights-one-platform-approach-to-design> (дата обращения: 22.02.2020).

70 Casals, M., Gangolells, M., Forcada, N., Macarulla, M., Giretti, A., Vaccarini, M. SEAM4US: An intelligent energy management system for underground stations. 2016. Applied Energy, 166, pp. 150-164. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.01.029

71 Gonzalez, M., Salgado, O., Croes, J., Pluymers, B., Desmet, W. Model-based state estimation for the diagnosis of multiple faults in non-linear electro-mechanical systems (2019) Applied Condition Monitoring, 15, pp. 77-89. DOI: 10.1007/978-3-030-11220-2\_9

72 Kuutti, J., Sepponen, R.E., Saarikko, P. 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.

73 Manco, G., Ritacco, E., Rullo, P., Gallucci, L., Astill, W., Kimber, D., Antonelli, M. Fault detection and explanation through big data analysis on sensor streams (2017) Expert Systems with Applications, 87, pp. 141-156. DOI: 10.1016/j.eswa.2017.05.079

74 Oh, S.W., Lee, C., You, W. Gear Reducer Fault Diagnosis Using Learning Model for Spectral Density of Acoustic Signal (2019) ICTC 2019 - 10th International Conference on ICT Convergence: ICT Convergence Leading the Autonomous Future, № 8939913, pp. 1027-1029. DOI: 10.1109/ICTC46691.2019.8939913

75 Pradeep, G., Chandra Shaker, P., Prasad, S.V.S. Building management system (2019) International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8 (11), pp. 1999-2003. DOI: 10.35940/ijitee.K2161.0981119

76 Rafique, D., Velasco, L. Machine learning for network automation: Overview, architecture, and applications [Invited Tutorial] (2018) *Journal of Optical Communications and Networking*, 10 (10), статья № 8501533, pp. D126-D143. DOI: 10.1364/JOCN.10.00D126

77 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. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4853> (дата обращения: 22.02.2020).

78 Kuutti, J., Sepponen, R.E., Saarikko, P. Escalator power consumption compared to pedestrian counting data (2013) *International Conference on Applied Electronics*, статья № 6636505.

79 Casals, M., Gangolells, M., Forcada, N., Macarulla, M., Giretti, A., Vaccarini, M. SEAM4US: An intelligent energy management system for underground stations. 2016. *Applied Energy*, 166, pp. 150-164. DOI:10.1016/j.apenergy.2016.01.029

80 Statistics Brief with world metro figures, Union Internationale des Transports Publics (UITP), [Электронный ресурс]. URL:[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) (дата обращения: 22.02.2020).

81 Sharav, N., Szeinuk, M., Shiftan, Y. Does your city need a metro? – A Tel Aviv case study (2018) *Case Studies on Transport Policy*, 6 (4), pp. 537-553. DOI: 10.1016/j.cstp.2018.07.002.

82 The internet of things, big data, machine learning, and the lift & Escalator industry (2015) *Symposium on Lift and Escalator Technologies*, 1 (1), pp. 203-208.

**Основные сведения о наиболее крупных зарубежных метрополитенах**

Ежедневно в мире 155 миллионов человек пользуются услугами метрополитена. Это в 34 раза превышает количество авиапассажиров. Сегодня наличием метрополитена могут похвастаться более 50 стран мира. Каждое метро по-своему оригинально, но в чем-то метрополитены очень похожи. В данном приложении даны схемы самых загруженных метро, а также их особенности, которые сформированы табличной форме, см Таблица 1 Основные характеристики метрополитена в разных странах

В современных новых метрополитенах таких как, Дубайский метрополитен (Дубай, ОАЭ), один из самых молодых и инновационных в мире, используются эскалаторы и лифты для маломобильных групп населения, а на наземных линиях используются траволаторы и лестницы. В Пекинском и Сеульском метрополитене используются эскалаторы и лифты для маломобильных групп населения, на станциях глубокого залегания. На наземных линиях используются траволаторы и лестницы. В Нью-Йорском метрополитене используются лестницы и лифты для маломобильных групп населения, встречаются и эскалаторы небольшой протяженности, потому что большинство станций построено мелкого залегания, в отличии от г. Санкт-Петербурга, где расположена самая глубокая станция метро в России и одна из самых глубоких в мире.

Технологические инновации, которые определяют дальнейшее ускоренное развитие метрополитенов, весьма многообразны. Прежде всего - это новые концепции изготовления подвижного состава и строительства инженерных сооружений, которые упрощают процессы их технической эксплуатации и обеспечивают лучшее взаимодействие между отдельными элементами метрополитена, как единой системы. Важнейшей целью применения новых технологий является повышение надежности работы и обеспечение высокого уровня безопасности движения.



# Схемы метрополитенов самых загруженных метро

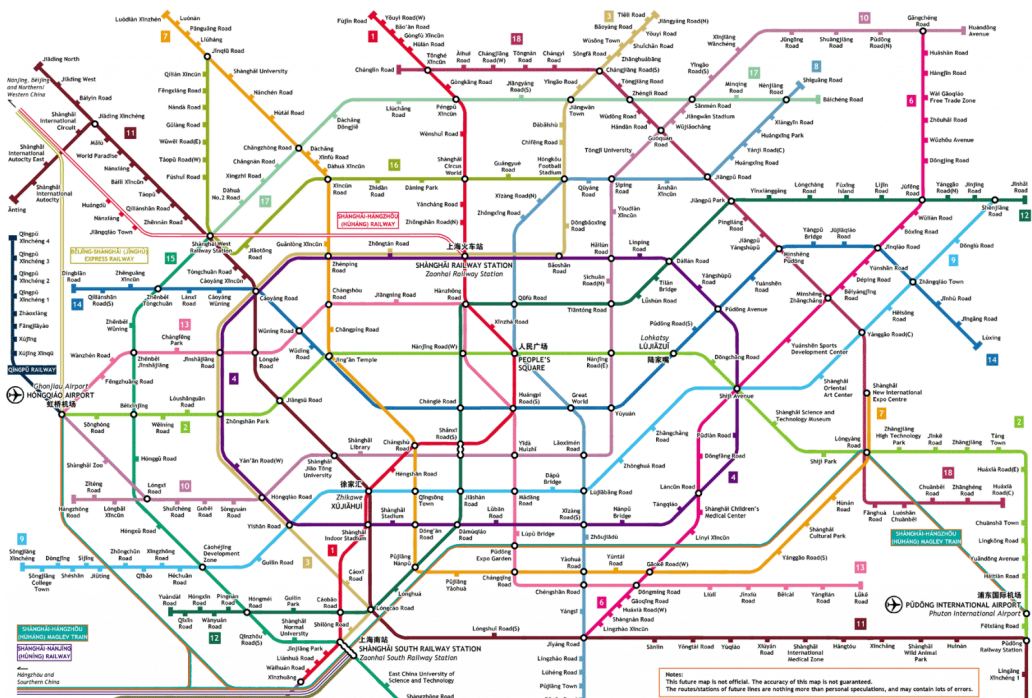
## Схема Лондонского метрополитена



## Схема Пекинского метрополитена

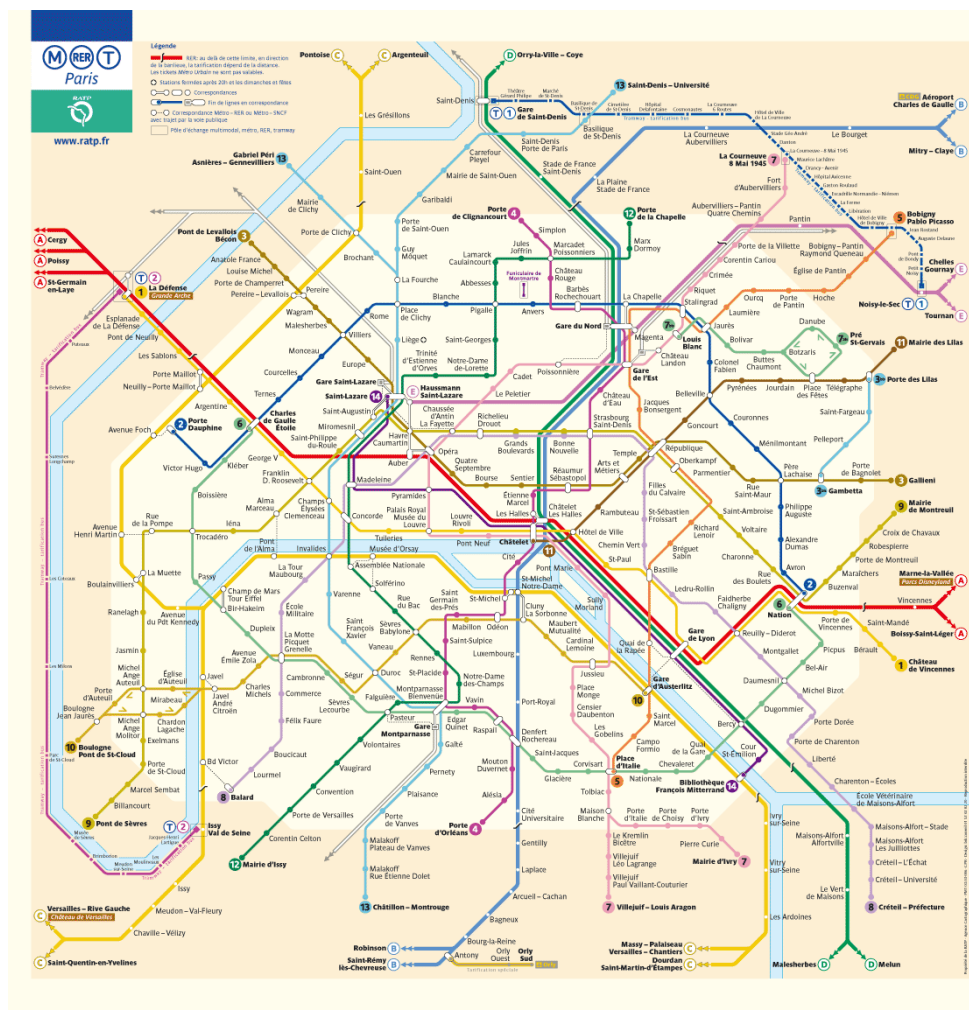


## Схема Шанхайского метрополитена



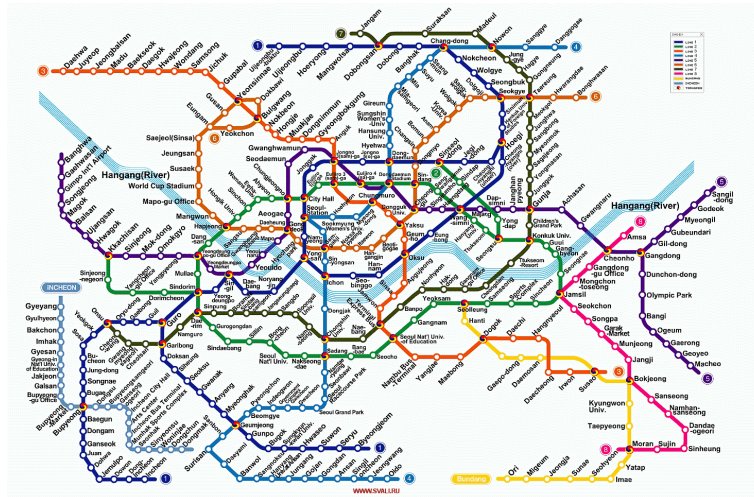
**Shanghai Metro Network 2020**  
 Jan, 2007. Designed by FML. All rights reserved. <http://www.mukiryoku.com/>

## Схема Парижского метрополитена





## Схема Сеульского метрополитена



## Схема Московского метрополитена



## Схема Петербургского метрополитена



Таблица 1- Основные характеристики метрополитена в разных странах

Название Страна	Год постройки	Показатели	Особенности	Иновации	Недостатки	Тип подъемно-транспортного оборудования
Лондонский метрополитен Великобритания	1863	линии.....11 пути..км.....402 станции.....270 пассажиры.....1378 млн. в год Среднесуточный пассажиропоток: В рабочие дни около 2 млн. чел. Самая глубокая станция «Хемпстед» — 57,6 м	Первая в мире подземная железная дорога - 4 место самых больших метро мира. Платформы оборудованы специальными табло с автоматическим указанием маршрутов следования поездов. Перроны оборудованы аварийными кнопками и в случае опасности пассажир включает сигнал, предупреждающий машиниста об опасности.	Внедрение современных систем автоматического управления позволило значительно сократить число работающих и увеличить производительность	На старых участках путь устроен на деревянных шпалах с щебеночным балластом с отступлениями от действующих норм, что служит фактором для снижения скорости. Реконструкция пути в течение 50 лет.	Лифты + Лестницы Эскалаторы + Траволаторы

<p>Чикагский метрополитен</p> <p>США</p>	<p>1892</p>	<p>линии.....8 пути..км.....165,4 станции.....145 пассажиры.....230,2 млн. в год Среднесуточный пассажиропоток: около 750 000. чел. Дневной пассажиропоток 703,326 Годовой пассажиропоток 221,587,189</p>	<p>Большинство веток проходят над землей (91,9 км — по эстакадам, 59,4 км — по земле) и лишь иногда спускаются в подземелье тоннели (19,5 км — под землей), превращаясь в привычный "сабвей". Всего действует 8 линий, 2 из которых — круглосуточные. Метро подведено к двум главным аэропортам: Мидуэй и О'Хара. Метро Чикаго функционируют круглосуточно.</p>	<p>Имеет значительный потенциал для масштабного роста. Город занимает 6-ое место в списке мировых центров инновации.</p>	<p>Порядочная изношенность путей и конструкций. В составах в среднем 4-8 вагонов, но на некоторых линиях попадают составы и с 2 вагонами. В некоторых местах линии метро накладываются, поэтому необходимо обращать внимание на вагонную табличку с цветом линии и конечной остановкой.</p>	<p>Лифты + Лестницы + Эскалаторы + Траволаторы</p>
<p>Бостонский метрополитен</p> <p>США</p>	<p>1897</p>	<p>линии.....3 пути..км.....61 станции.....62 пассажиры.....167,2 млн. в год</p>	<p>На многих станциях имеются павильоны для пересадок на трамваи и автобусы.</p>	<p>Инновации в сфере транспортной безопасности: устройства обнаружения биологически опасных веществ и моделирование трафика</p>	<p>В метро нет систем кондиционирования для обеспечения воздухообмена используются большие вентиляторы. Некоторые трамвайные поезда одновременно эксплуатируются на железнодорожных путях, в том числе на городских подземных.</p>	<p>Лифты + Лестницы Эскалаторы + Траволаторы</p>

<p>Парижский метрополитен</p> <p>Франция</p>	<p>1900</p>	<p>линии.....16  пути..км.....214  станции.....383  пассажиры.....1518,6  млн. в год</p>	<p>Название подземки «метрополитен» родилось именно в Париже. Метро в шаговой доступности (не больше 5 минут пешком). На некоторых линиях используются специальные резиновые шины, которые обеспечивают снижение уровня шума и преодоление крутых подъемов. Двухэтажный электропоезд М1 09 используется на станции Обер (Auber). Линия RER A - это один из крупнейших пересадочных узлов мира с огромным количеством переходов между ветками и станциями метро и RER.</p>	<p>Линии 1 и 14. полностью автоматизированны. В поездах нет ни машинистов, ни даже кабин для них. Ветка 14 была построена в 1998. Ветку 1 перевели на автоматическое управление в 2011-2012 годах. Переход на светодиодные решения позволяет RATP снизить энергозатраты более чем на 50% и улучшить качество освещения.</p>	<p>Несоблюдение санитарных требований, не убирают, грязно, воняет, тесные поезда, узкие переходы и низкие скорости.</p>	<p>Лифты +  Лестницы +  Эскалаторы +  Траволаторы +</p>
--	-------------	--	---	---	---	---

<p>Берлинский метрополитен</p> <p>Германия</p>	<p>1902</p>	<p>линии.....10 пути..км.....151,7 станции.....173 пассажиры.....563 млн. в год</p>	<p>Линии метро и электрички тесно интегрированы друг в друга. Пересадки с метро на электричку и наоборот – обычное дело. Рядом с кабиной машиниста есть площадка для велосипедов. На большинстве основных пересадочных станций расположены магазины, банки и точки быстрого питания. Почти все линии, сейчас объединенной, берлинской подземки построены вдоль основных магистралей города и это позволило возвести большую часть тоннелей открытым способом. Станции находятся на небольшой глубине - достаточно только спуститься по лестнице.</p>	<p>По новой ветке ходит всего один состав-челнок поезд без машиниста. Расписание всего транспорта на информационных табло, система видео наблюдения, сеть киосков быстрого питания, аппаратная система по продаже билетов, различные виды билеты и категорий, в том числе единые.</p>	<p>С одной станции метро поезда могут идти по разным направлениям.</p>	<p>Лифты Лестницы + Эскалаторы Траволаторы</p>
--	-------------	---	--	---	--	--



<p>Нью-Йоркский метрополитен США</p>	<p>1904</p>	<p>линии.....27 пути..км.....394 станции.....472 пассажиры.....1727,3 млн. в год Дневной пассажиропоток 5,7 млн чел. (по будням) Годовой пассажиропоток 1756,8 млн чел.</p>	<p>Самое длинное, запутанное, круглосуточное метро. Многочисленное количество станций, которые на разных ветках иногда носят одинаковые названия, не зная можно запутаться. Кроме того Нью-йоркское метро располагает самым большим парком вагонов. Здесь же находится самая высокая станция метро в мире — 27 м над уровнем земли (это станция Смит-стрит). На 5 месте самых больших метро мира стоит Нью-Йоркский метрополитен</p>	<p>Метро-навигатор - интерактивные автоматы для навигации с названием On the Go! Kiosks. Компания Metropolitan Transit Authority недавно заявила о планах по установке в метро поезда без дверей между вагонами. Вагоны-сороконожки позволят в 2020 г освободить до 20% больше места для пассажиров.</p>	<p>За счёт большого количества станций поезд ходит долго и ненормированно. Вы можете с лёгкостью прождать 15-25 минут поезд в центре города. Метро очень грязное. Между рельсами валяется куча мусора и бегают крысы.</p>	<p>Лифты + Лестницы + Эскалаторы (совсем маленькие) Траволаторы</p>
--	-------------	---	--	--	---	---

Мадридский метрополитен	1919	линии.....13 пути..км.....293 станции.....301 пассажиры.....626,4 млн. в год	Подвижной состав проходит ремонт в мастерских и трёх депо, одно из которых расположено под землёй. Принцип высадки и посадки пассажиров состоит в том, что на станциях функционируют три платформы, при этом пассажир может войти и выйти с обеих сторон, что в свою очередь сокращает время стоянки поезда и давку на станциях.	Мадридский метод строительства станций «сверху-вниз» (up-down) с сооружением двухпутных тоннелей дал всему миру инновационный способ строительства	Различные типы поездов, двери открываются автоматически или если нажать специальную кнопку или повернуть рычаг наверх. Отсутствие эскалаторов на старых станциях, на новых и глубоких они работают только на выход.	Лифты Лестницы + Эскалаторы + - Траволаторы
-------------------------	------	--	--	--	---	--

Токийский метрополитен	1927	линии.....13 пути..км.....304 станции.....291 пассажиры.....3719,6 млн. в год	<p>Самое загруженное метро, за год его услугами пользуются более трёх миллиардов человек.</p> <p>Около 85% линий метро проходит под землей, и только 15% по поверхности, сказывается нехватка земли и ее дороговизна.</p> <p>Есть специальный женский вагон. Он всегда последний в каждом составе. В часы пик там нет давки. На некоторых платформах в целях безопасности установлены специальные барьеры - исключать попытки прыгнуть под поезд в порыве депрессии. Именно самоубийцы являются одной из основных причин сбоев в расписании сверхточного метро. При входе в метро - шкафчики для хранения вещей – coin locker.</p>	<p>Беспилотный режим, не требуется присутствия машиниста, режим кондиционирования воздуха. Тестовый запуск роботов для безопасности пассажиров и повышения эффективности работы станций. Брелки для беременных, обеспечивающие им сидячие места.</p> <p>На 9 месте самых больших метро мира стоит Токийский метрополитен.</p>	<p>Это метро очень большое, и в схеме сложно разобраться, та как она кажется весьма запутанной. метро перегружено, и проблемой становится даже само попадание в вагон. Чтобы пассажирам было легче втиснуться в подбравший состав, на перроне дежурные крепкого телосложения в униформе помогают им утрамбовываться. Это как раз и входит в их обязанности. Такая «услуга» прославила Токийское метро.</p>	<p>Лифты +          Лестницы +          Эскалаторы +          Траволаторы</p>
------------------------	------	---	--	---	--	---

<p>Московский метрополитен</p> <p>Россия</p>	<p>1935</p>	<p>линии.....13 пути..км.....397,3 станции.....232 пассажиры.....2500,4 млн. в год</p>	<p>Метрополитен в Москве мог появиться еще в 1875 году, но представители церкви тогда заявили, что "человек, созданный по образу и подобию божьему, может унизить себя, спустившись в преисподнюю". Пребывание на большинстве станций метрополитена Москвы превращается в настоящие экскурсии. На 7 месте самых больших метро мира стоит Московский метрополитен.</p>	<p>Поезда без машиниста на некоторых не очень загруженных ветках подземки. Инновационные составы с 2018 г. можно заряжать смартфоны и планшеты с помощью USB-портов, а сенсорные мониторы на стенах помогают найти нужные станции, проложить маршрут и рассчитать время в пути</p>	<p>Столичный метрополитен является одним из самых глубоких в мире. Это обусловлено не только высокой плотностью застройки и коммуникаций, но и тем, что московское метро — объект гражданской обороны. В соотношении протяженности линий и пассажиропотока - интенсивность перевозок и загруженность линий Московского метрополитена очень высоки.</p>	<p>Лифты Лестницы + Эскалаторы + Траволаторы +</p>
<p>Метрополитен Торонто</p> <p>Канада</p>	<p>1954</p>	<p>линии.....4 пути..км.....76,9 станции.....80 пассажиры.....304,1 млн. в год</p>	<p>Перпендикулярное расположение линий с пересечением в центре города. Взаимодействие метро с наземным транспортом, маршруты которого замыкаются на станциях метро, являющихся пересадочными. Под станцией Киил расположены поворотные петли путей городского транспорта.</p>	<p>Движущиеся тротуары, по которым пассажиры доставляются на платформу. Вагоны "нового поколения", и в числе новшеств - повышенный уровень безопасности.</p>	<p>На линии Блур-Данформ сооружено 19 станций. Они выполнены двухэтажными и оборудованы не боковыми, а островными платформами, длина которых 150 м. Только одна из всех станций линии наземная, остальные — подземные.</p>	<p>Лифты Лестницы + Эскалаторы + Траволаторы +</p>

<p>Петербургский метрополитен</p> <p>Россия</p>	<p>1955</p>	<p>линии.....5 пути..км.....124,8 станции.....72 пассажиры.....726,2 млн. в год</p>	<p>Среди всех городов, в которых есть метро, именно Питерское является самым глубоким. Средняя высота эскалаторов - 47 м. Самая большая глубина, на которую опустилась станция «Адмиралтейская» – 102 м.</p>	<p>Создание пилотного образца-макета «Вагон 2020» - Интеллектуальная система безопасности, системы кондиционирования салона с детекторами дыма, возможность самодиагностики подвижного состава с передачей информации в режиме онлайн.</p>	<p>Сегодня питерское метро остаётся недостаточно развитым: по-прежнему есть большие районы города, которые до сих пор не охвачены сетью метрополитена.</p>	<p>Лифты + Лестницы + Эскалаторы + Траволаторы +</p>
<p>Сеульский метрополитен</p> <p>Республика Корея</p>	<p>1974</p>	<p>линии.....9 пути..км.....341,5 станции.....315 пассажиры.....2856,5 млн. в год</p>	<p>Линия 5 являлась самой длинной в мире целиком подземной линией метрополитена к моменту открытия, с длинным ответвлением — 52,3 км, превосходила самую длинную полностью подземную линию метро в СНГ более чем на 11 километров. Станции Сеульского метро неглубокие, поэтому чаще всего эскалаторы устанавливаются в дополнение к лестницам.</p>	<p>Виртуальный супермаркет в метрополитене Home Plus по QR-коду. Связь метро и велосипеда. Идея удобного симбиоза метрополитена и системы проката велосипедов подразумевает единую систему оплаты и тарификации. На 3 месте самых больших метро мира стоит Сеульский метрополитен</p>	<p>Сеульский метрополитен – метрополитен является одним из наиболее нагруженных пассажиропотоков в мире.</p>	<p>Лифты Лестницы + Эскалаторы + Траволаторы +</p>

Пекинский метрополитен	1969	линии.....21 пути..км.....628 станции.....391 пассажиры.....3777.9 млн. в год	Особенностью пекинского метро является пункт безопасности. Перед турникетами стоит камера, где просвечиваются сумки, рюкзаки и прочий багаж. При необходимости работники службы безопасности могут досмотреть вас лично. На многих станциях есть бесплатные туалеты. Пекинское метро неглубокое. Самой длинной считается недавно сданная в эксплуатацию ветка Пекинского метро – это кольцевая линия №10. Пекинское метро довольно долго (первые семь лет) использовалось для военных нужд и до их пор некоторые его станции закрыты для посещения.	Беспилотная линия метро Яньшань-Фаншань для полностью автоматизированных поездов. В будущем комплексная автоматизированная система управления покроет все линии метрополитена. На 2 месте самых больших метро мира стоит Пекинский метрополитен.	в часы пик перед входом на станцию образуется огромная очередь. Чтобы попасть на платформу, нужно пройти целую вереницу проверок. Сначала барьеры (могут быть как внутри, так и снаружи, но только на крупных станциях). Потом личный досмотр полицейскими.	Лифты Лестницы + Эскалаторы + Траволаторы
------------------------	------	---	---	--	---	--

Шанхайский метрополитен	1995	линии.....16 пути..км.....676 станции.....413 пассажиры.....3537,6 млн. в год	У входа в метро сразу видно, на какие линии идет этот вход. В метро вы никогда не потеряетесь — везде висят указатели на нужную ветку. Пять тысяч поездов находятся в движении на рельсах этого подземного мира, а движение их приводит мощнейшая контактная сеть — вдвое мощнее, чем в других линиях метро. Оплата проезда здесь зависит от расстояния, «кататься» бесконечно не получится. На 1 месте самых больших метро мира стоит Шанхайский метрополитен.	Применяется система автоведения. На жидкокристаллических мониторах внутри вагонов поездов, идущих под землей, показываются реклама и название следующей станции, а на наземных линиях информация о следующей станции отображается на светодиодном табло	На станциях жарко и душно. Сильная перегруженность в часы пик. На входе на каждую станцию шанхайского метрополитена все пассажиры проходят полноценный контроль безопасности. Все как в аэропортах — багаж проезжает через рентген, а вы сами проходите через рамку.	Лифты Лестницы + Эскалаторы + Траволаторы +
-------------------------	------	---	---	---	--	---

Делийский метрополитен	2002	линии.....9 пути..км.....343,4 станции.....250 пассажиры.....926,1 млн. в год	На 10 месте самых больших метро мира стоит Делийский метрополитен. Если у вас неожиданно разрядился ноутбук или телефон, то мы можете воспользоваться розеткой прямо в вагоне метро. Большая часть линий построена на эстакадах. Для женщин в метро Дели есть одна серьезная привилегия — это женский вагон.	Новейшей система сигнализации Cityflo 650, линия 7 полностью автоматизированна. Во время тестирования состав протаранил стену депо из-за неисправности в тормозной системе. Было принято решение «беспилотники» запустить с машинами, и только потом обслуживание линии перевести в автоматический режим.	Металлодетекторы и вооруженная охрана обеспечивают безопасность метро в Дели. О действующих правилах и штрафах оповещают большие плакаты на станциях. Дороже всего нарушителю в метрополитене Индии может обойтись блокировка дверей — 5000 рупий (почти 70 евро).	Лифты + Лестницы + Эскалаторы Траволаторы
------------------------	------	---	--	---	--	--



Дубай-ский метрополи-тен	2009	линии.....2 пути..км.....74,6 станции.....47 пассажиры.....200,1 млн. в год	Линии метро в этом городе проходят исключительно над землей, на эстакадах. Самая большая станция метро построена в Дубае. Называется она «Юнион-сквер» и ее площадь составляет 20 тысяч м <sup>2</sup> . Станции напоминают скорее дорогие бутики и дворцы. Три вида вагонов-обычные (серебряные), золотые и женские. На всех станциях установлены дополнительные двери, которые открываются синхронно вместе дверями поезда и не позволяют попадать на железнодорожное полотно ни людям, ни мусору. Все станции метро оборудованы сетью пешеходных мостов и крытых переходов.	Беспилотное метро. Это первая в мире система, где машинистов вообще никогда не было и, по всей видимости, не будет. Рекорд в 2011 году был дважды внесен в «Книгу рекордов Гиннеса» как самая протяженная автоматическая сеть метрополитена, а также как самая длинная линия автоматического метро. Крытые пешеходные мосты, оснащенные движущимися дорожками и эскалаторами, открыты круглосуточно.	Запутанные тарифы, путаница с названиями станций, проблемы с выбором билетов, а также специальные вагоны. Минус всех станций — отдельные платформы, поэтому лучше свою остановку не проезжать, иначе придется долго переходить на другую платформу.	Лифты + Лестницы + Эскалаторы + Траволаторы
ОАЭ						

## Основные сведения о наиболее крупных зарубежных компаниях производителей подъемно-транспортного оборудования

Наибольший стоимостной объем возимого подъемно-транспортного оборудования в Российскую Федерацию – 1312,1 млн. долл. (85,1%) приходится на

товарную позицию ТН ВЭД ЕАЭС 8428 (Машины и устройства для подъема, перемещения, погрузки или разгрузки). На долю кода ТН ВЭД ЕАЭС 8428400000 (эскалаторы и движущиеся пешеходные дорожки) приходится – 7%.

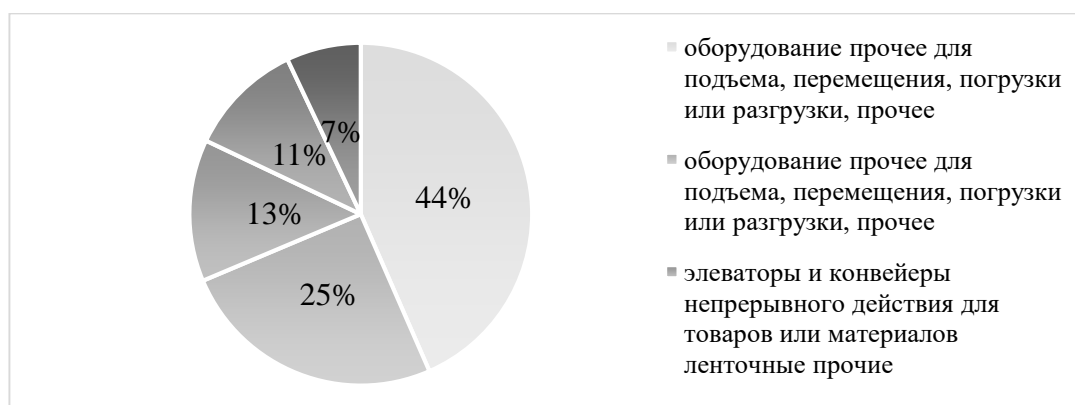


Рисунок – 1 Импорт подъемно-транспортного оборудования (RU)

Источник: Рабочие материалы ЕЭК. Департамент промышленной политики. Информация о состоянии и развитии производства подъемно-транспортного оборудования государств-членов Евразийского экономического союза <http://www.eurasiancommission.org/>

Ежедневно в мире 246 миллионов человек пользуются услугами лифтового и эскалаторного оборудования по данным «*Thyssen Krupp Elevator*». Средний пассажиропоток на 337 станциях метро (исключая высокоскоростные линии Маглев) из 14 линий, эксплуатируемых в шанхайском метро, в рабочие дни превышает 9 миллионов человек. Из более чем 3000 подъемно-транспортного оборудования во всей сети метро в Китае 77% являются эскалаторами. (источник <http://service.shmetro.com/>), это является ключевой особенностью подземного транспортного сообщения.

В глобальном масштабе Европейский союз остаётся крупнейшим мировым центром машиностроения. Ведущую роль в мире играет основная четверка производителей. Они являются тем каркасом, вокруг которого ведутся инновационные разработки. Основные достижения и инновации лифтового и эскалаторного оборудования указаны в табличной форме далее, ключевой недостаток – максимальная высота не достигает 50 м, что в условиях С.-Петербурга является существенным недостатком.

Лидирующую роль в развитии лифтовой и эскалаторной отрасли составляют четыре основных компании «*OTIS*», «*Thyssen Krupp Elevator*», «*Scindler*» и

«Kone». В перспективе наблюдается тенденция и общий процесс переноса машиностроительных мощностей с Запада на Восток. Динамично развивается китайский рынок лифтостроения, на который в настоящее время приходится около 10% мировых продаж, а ежегодные темпы прироста продаж - в 15%.

Мировые производители лифтов и эскалаторов представлены в табл. 2., данные <https://ec.europa.eu/>, отчетов *Elevator Market Competition Analysis Report 2020 | Otis, Schindler Group, Kone, ThyssenKrupp Elevator*, а также с официальных сайтов компаний производителей. Основные ведущие фирмы предлагают бесплатные приложения для цифровых двойников и приложения для BIM/CAD. Мировой рынок умных лифтов и эскалаторов будет расти по 6% в год по данным исследовательской компании *Transparency Market Research* и достигнет через три года объема продаж около 160 млрд.

Таблица 2 - Мировые производители лифтов и эскалаторов и их ключевые особенности

Название компании (страна)	Ключевой тренд (инновации)	Примечания
OTIS (Франция)	В области безопасности, энергоэффективности и охраны окружающей среды	Объем продаж –70 тыс. единиц оборудования. Доля рынка оборудования OTIS в РФ составляет 20%.
KONE (Финляндия)	В области IT (3D и 2D BIM/CAD с AutoCAD, Revit and Tekla Structure). Бесплатные приложения для цифровых двойников. Онлайн модернизация пассажиропотока	Физический объем производства составляет более 400 тыс единиц подъемной техники в год.
ThyssenKrupp (Германия)	Бесплатные приложения для цифровых двойников. Высокая надежность и пропускания способность	Объем продаж – 5,2 миллиарда Евро.
Schindler (Швейцария)	В области IT (3D и 2D BIM/CAD). Пониженный уровень шума, плавность хода	Самый известный в мире производитель этажных эскалаторов.

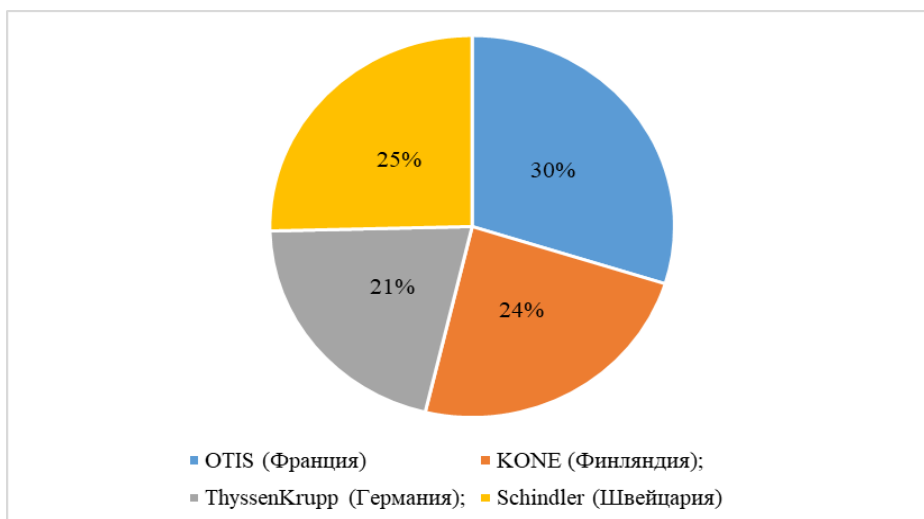


Рисунок 2—Мировые производители лифтов и эскалаторов, внутри ЕС (нередко присутствует сговор на торгах по закупкам в Бельгии, Германии, Люксембурге и Нидерландах по данным сайта <https://ec.europa.eu/>)

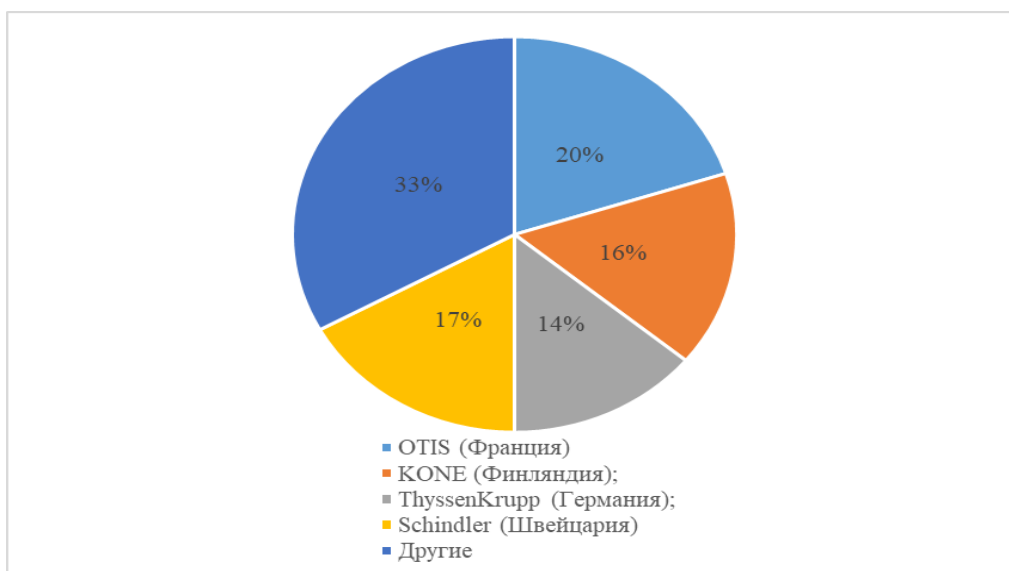


Рисунок – 3 Мировые производители лифтов и эскалаторов, мировой обзор (по данным сайта <https://www.bloomberg.com/>)

*Источник: Business The Elevator Market Is Being Cornered A merger of Kone and Thyssenkrupp’s elevator unit makes business sense, but would regulators really want to go from four to three big suppliers? By Chris Bryant September 10, 2019, 5:30 AM EDT*

## Примеры и обзор крупных аварий эскалаторов на станциях метрополитенов

Одной из важнейших задач эксплуатационной деятельности метрополитенов является организация надежной и бесперебойной работы эскалаторов с установленными скоростями, но неизбежно происходят аварийные случаи. Рассмотрим некоторые случаи в разных странах мира.

В Риме (Италия) на станции метро *Repubblica* 23 октября 2018 года произошла авария на эскалаторе. Лестничное полотно начало двигаться на спуск с большой скоростью и в результате этого люди упали на выходную площадку. В образовавшейся давке ранения разной степени тяжести получили около 20 человек, состояние как минимум троих оценивается как тяжелое. Среди пострадавших - российские болельщики, приехавшие в Рим на матч московского ЦСКА с «Ромой» в Лиге чемпионов.

17 февраля 1982 года на одном из эскалаторов станции «Авиамоторная» Калининской линии московского метро в результате излома ступени лестничное полотно стало двигаться вниз, быстро набирая скорость. Аварийный тормоз не остановил движение, около ста человек скатились вниз, заблокировав зону выходной площадки. В результате давки погибли восемь и пострадали 30 человек. Следствие установило, что с декабря 1981 года все четыре эскалатора серии ЭТ на станции эксплуатировались в аварийном режиме: обслуживание их тормозов велось по инструкции, относящейся к другому типу эскалаторов. В период с 12 по 28 мая 1983 года «Авиамоторная» была закрыта для замены эскалаторных ступеней. На других станциях эскалаторы серии ЭТ отремонтированы были постепенно, без приостановки обслуживания пассажиров. В ходе ремонтов усилили ступени, модернизировали рабочие тормоза, установили утолщенные щиты балюстрад.

18 ноября 1987 года в Лондоне (Великобритания) на крупной пересадочной станции метро «Кингс-Кросс» произошел сильный пожар. Причиной возго-

рания была незатушенная спичка, которую один из пассажиров обронил на эскалаторе линии Пикадилли. Из-за скопившихся под лестничным полотном эскалатора пыли и мусора пламя распространилось по наклонному ходу, после чего поток огня и раскаленных газов вырвался в находившийся выше кассовый зал. В результате погиб 31 человек, в том числе один пожарный. Свыше 100 человек были госпитализированы. После ЧП было отправлено в отставку руководство метрополитена и системы городского общественного транспорта. Деревянные детали эскалаторов в 1987-1990 годах заменили металлическими. Виновник возникновения пожара так и не был установлен. Хотя запрет на курение на территории лондонского метро действовал еще с 1985 года, многие курильщики игнорировали его, закуривая при подъеме на эскалаторах. После пожара на «Кингс-Кросс» наказание за курение ужесточили.

8 июня 2005 года в Баку (Азербайджан) на станции метро «Бақы Совети» (ныне – «Ичери Шехер») эскалаторы были остановлены из-за повреждения балюстрады. Когда группа пассажиров начала спускаться пешком по одному из неработающих эскалаторов, полотно внезапно пришло в движение и на большой скорости съехало вниз. В результате с ранениями различной степени тяжести были госпитализированы 18 человек. Один из пострадавших, житель Баку Вахид Ахундов, от полученных травм скончался в больнице. По факту происшествия было возбуждено уголовное дело по статье 162.2 («Нарушение правил трудовой охраны по халатности, повлекшее за собой человеческие жертвы») УК Азербайджана. Фигурантами дела являлись мастер эскалаторной дистанции электромеханической службы метрополитена Намик Дадашев, машинист эскалатора Эльхан Алиев и бригадир-слесарь Ренат Низаметдинов. В октябре 2005 года Сабильский районный суд Баку вынес подсудимым условное наказание.

5 июля 2011 года в Пекине (Китай) на станции метро «Зоопарк» один из эскалаторов, работавший на подъем, внезапно переключился в режим спуска. Находившиеся на лестничном полотне несколько десятков человек скатились вниз. В результате давки погиб 13-летний мальчик, еще 28 человек получили ранения и травмы. Инцидент произошел на 4-й линии, открытой в 2009 году.

15 апреля 2012 года на станции «Комсомольская» Кольцевой линии московского метро произошло резкое ускорение, а затем остановка полотна эскалатора. Пострадали десять человек, шесть из них были госпитализированы, следственным комитетом РФ было заведено уголовное дело по статье о халатности, так как причиной аварии стало отсутствие зубчатой соединительной муфты, которую работники забыли установить во время ремонта.

**Примеры патентов по датчикам и упреждающей модели обслуживания**

Рассмотрим инновации в сфере эскалаторостроения, в том числе уникального дизайна и мониторинга по патентам.

Эскалаторы изобретены уже свыше 100 лет и до сих пор играют ключевую роль в перевозке большого городского пассажиропотока. Углы наклона 30° и 35° являются эффективным решением, так как установка эскалатора требует меньшего пространства, см. п. 5.2.2 Угол наклона по ГОСТ 33966.1-2016 (EN 115-1:2008). Максимальная фактическая П - провозная способность, чел./ч, см. п. 5.2.4 по ГОСТ 33966.1-2016 (EN 115-1:2008), учитывающая реальное заполнение несущего полотна пассажирами, составляет по формуле 2, не более:

$$P=8800(2,1-v) z_1, \text{ чел.} \tag{2}$$

где v - номинальная скорость, м/с;

z<sub>1</sub> - номинальная ширина ступени эскалатора, м.

В соответствии с формулой 2 можно построить график математической функции провозной способности в зависимости от скорости перемещения и ширины ступенек (см. рис. 1).

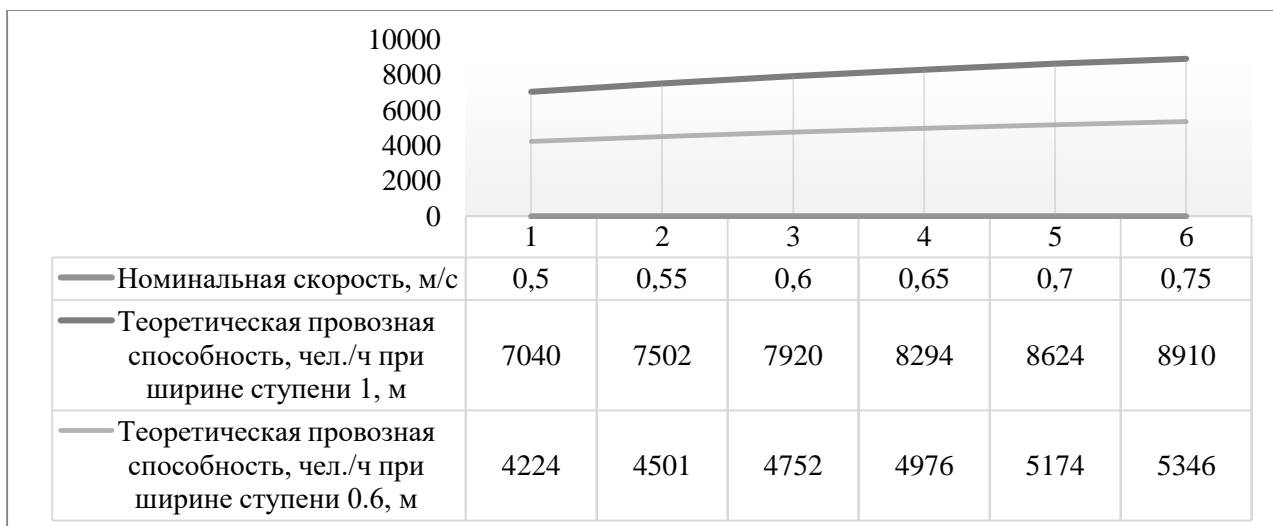


Рисунок 1 – Максимальная фактическая провозная способность в зависимости от скорости перемещения и ширины ступенек

Скорости выше 0,75 м/с для эскалаторов возможны, но применять их не



рекомендуется, так как эффективная пропускная способность больше не увеличится, а вот опасность несчастных случаев и травм, возрастет, особенно для детей и лиц пожилого возраста. Реальная пропускная способность обычно составляет не более 5-6 тыс. в час на подъём и до 7,5 тыс. на спуск, но этот показатель выше в 8 раз, чем производительность современного лифтового подъемника (при вместимости кабины 20 человек и высоте подъема 50 м).

Анализ литературных источников и обзор существующих конструкций тоннельных эскалаторов показали, что идеи компактного винтового, спирального эскалатора существует давно, на сегодня свыше 25 патентов по этой теме зарегистрировано, в том числе и отечественные (патент «Эскалатор винтовой вращающийся», RU 2 488 542 С2. 2012.11.10. Заявитель: Колеватов М.Н.).

Спиральный эскалатор, разработанный инженером Давидом М., опубликованный в 2009 г., имеет прообраз гребного винта, винтовой сваи, см. рис. 2. Данная конструкция позволяет ликвидировать одно из основных пространственных ограничений для существующих тоннельных эскалаторов, вертикальная скорость которых меньше горизонтальной.

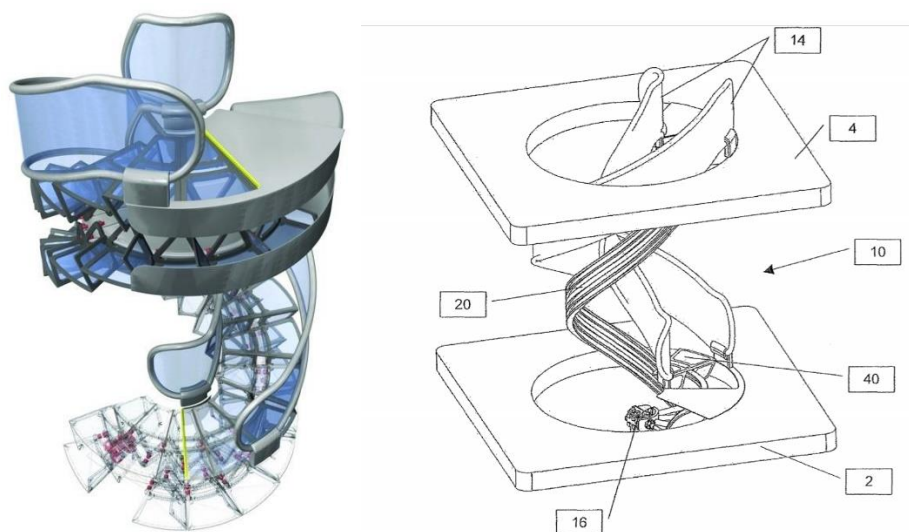


Рисунок 2 – Патент винтового эскалатора WO2009057052. 2009-05-07. Изобретатель(и): MICHEL DAVID [IL]

В результате проведенного патентного поиска на дату 15.01.2020 года по

выявлению аналогов из современного уровня, оригинальные технические методы и системы по мониторингу представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные патенты на изобретения в области технологии мониторинга эскалаторов из БД Espacenet

Название патента	Номер публикации	Изобретатель(и), Заявитель(и)	Номер заявки	Дата публикации заявки
Устройство контроля вибрации редуктора	RU167483 (U1)	Филин А. Н.	RU20160101 212U	2016.01.18
Устройство контроля вибрации редуктора	RU174229 (U1)	Филин А. Н., Коровина М.С., Попов В. А.	RU20170127 790U	2017.08.03
Устройство контроля вибрации редуктора	RU169944 (U1)	Филин А. Н.	RU20160145 962U	2016.11.23
<i>Fire hazard testing apparatus and method for transfer channel between subway elevated station and underground station</i>	CN106128 286 (A)	ZHONG MAO-HUA  LIU CHANG, UNIV TSING-HUA	CN20161080 3099	2016.09.05
<i>Noise vibration and driving speed testing system of an elevator</i>	KR101915 384 (B1); KR201800 95146 (A)	KIM YUN KYUM, PARK CHAN YONG, KoELSA	KR20170020 821	2017.02.16
<i>Speed deviation protection testing device and method for escalator/moving sidewalk hand strap</i>	CN106185 589 (A)	RUAN YIHUI	CN20161075 1805	2016.08.29
<i>Automatic escalator safety control system based on two dimension laser sensor</i>	CN204897 066 (U)	YU HAO JIANG QING, CSEI	CN20152036 2638U	2015.05.29

<i>Non-contact escalator/pavement three-route speed synchronous detecting device and method</i>	CN107986 125 (A)	ZHANG FENG- BIAO WANG, ASEI	CN20171104 946	2017.10. 24
<i>Subway environment control energy-saving cloud model construction method based on Internet of Things and big data</i>	CN110263 407 (A)	Zhang jing, Univ nanjing posts & telecommunica- tions	CN20191051 0874	2019.06. 13
Устройство и способ для обнаружения отсутствующей ступени транспорта	RU201114 0753 (A); RU249122 6 (C2)	Брааш Буркхард, Отис, СПб	RU20110140 753	2009.04. 20
Устройство для магнитометрии	RU155669 (U1)	Ватулин Я.С., Сахаров Р.А., ПГУПС	RU20150126 439U	2015.07. 01

По представленному обзору можно резюмировать, 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.

В табличном обзоре и Приложении 3 (полнотекстовая подборка) представлены отечественные и зарубежные патенты:

- в области построения энергосберегающей облачной модели управления средой метрополитена на основе Интернета вещей и *big data*. Предложен алгоритм машинного обучения, объединены искусственный интеллект и *big data*

метро, при помощи платформы больших данных информационный поток может быть проанализирован и обработан в реальном времени (патент CN110263407);

- метод магнитной памяти металла, который был использован для диагностирования эскалаторов ЭТХ-3/75, эксплуатация которых выявила ряд технических проблем. Существующая взаимосвязь между физико-механическими свойствами (химический состав, пластическая деформация, режим термообработки, дефекты, неоднородности структур металла и сварных соединений) и магнитными (патент RU155669);

- устройство контроля вибрации редуктора по диагностированию объектов контроля методом спектрального анализа виброакустического сигнала (патенты RU167483, RU174229, RU169944);

- система автоматического управления эскалаторами с обеспечением безопасности с применением лазерных измерительных систем (двухмерный лазерный сканер, патент CN204897066);

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

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

и остальные системы для контроля шума, вибрации и скорости движения лифтовых элементов и пожароопасности.

Разработка и оптимизация программного обеспечения в области эскалаторостроения. Использование информационного моделирования эскалаторов с помощью программы *BricsCAD BIM* для построения цифрового двойника. Модель эскалатора на рис. 3 демонстрирует связь *BIM* и *Mechanical*.

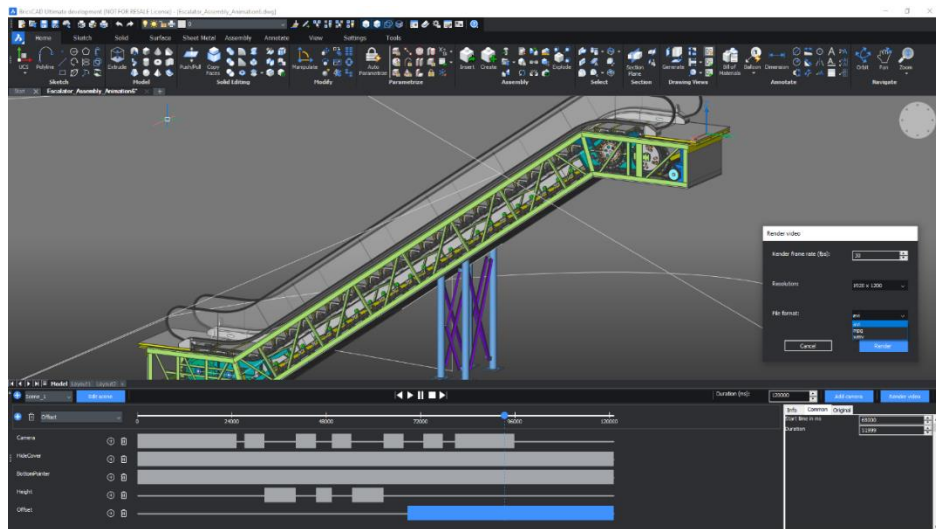


Рисунок 3 – Модель эскалатора (связка *VIM+Mechanical*), 2019 г.

*BricsCAD Mechanical* предлагает расширенное машиностроительное проектирование, построение модели с анимацией движения, анализом кинематики и управлением детализацией сборки привода эскалатора по конструкторской документации, см. на рис. 4.

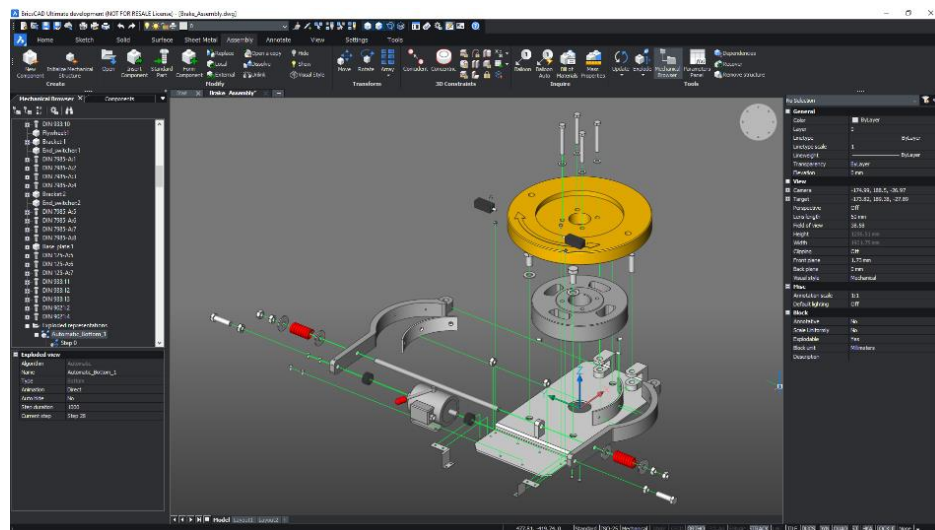
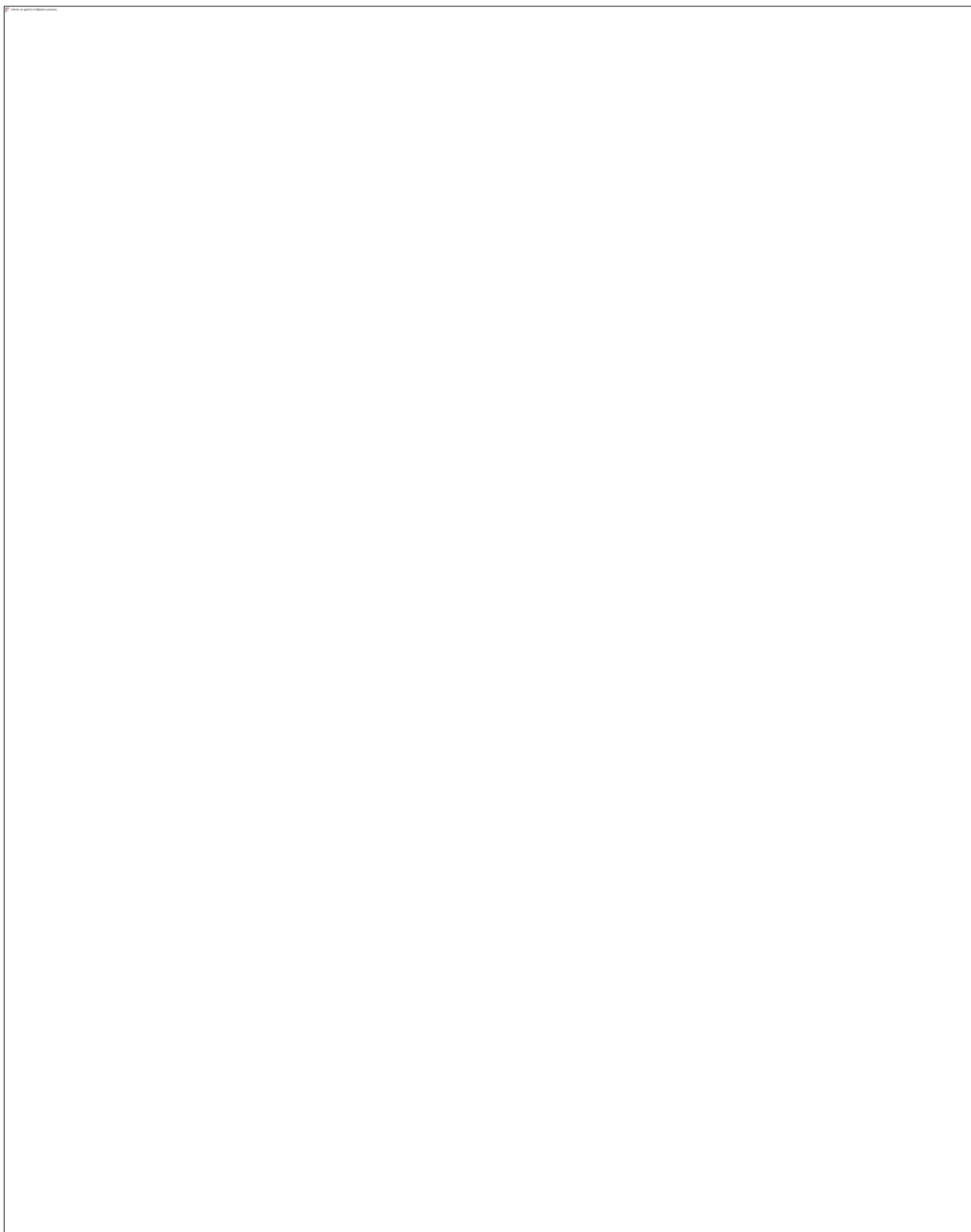


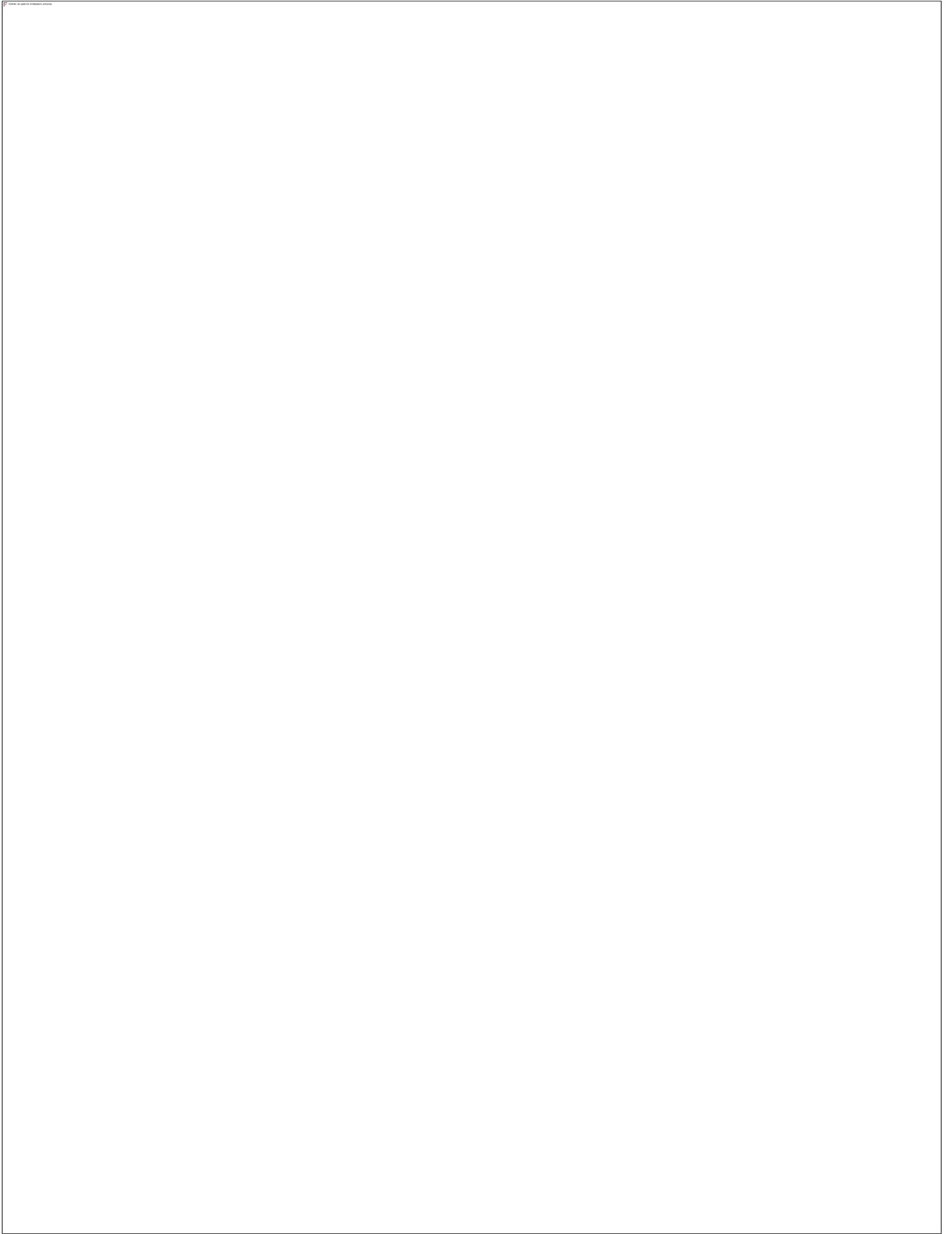
Рисунок 4 – Скриншот программы *BricsCAD Mechanical* с моделью привода эскалатора, 2019 г.

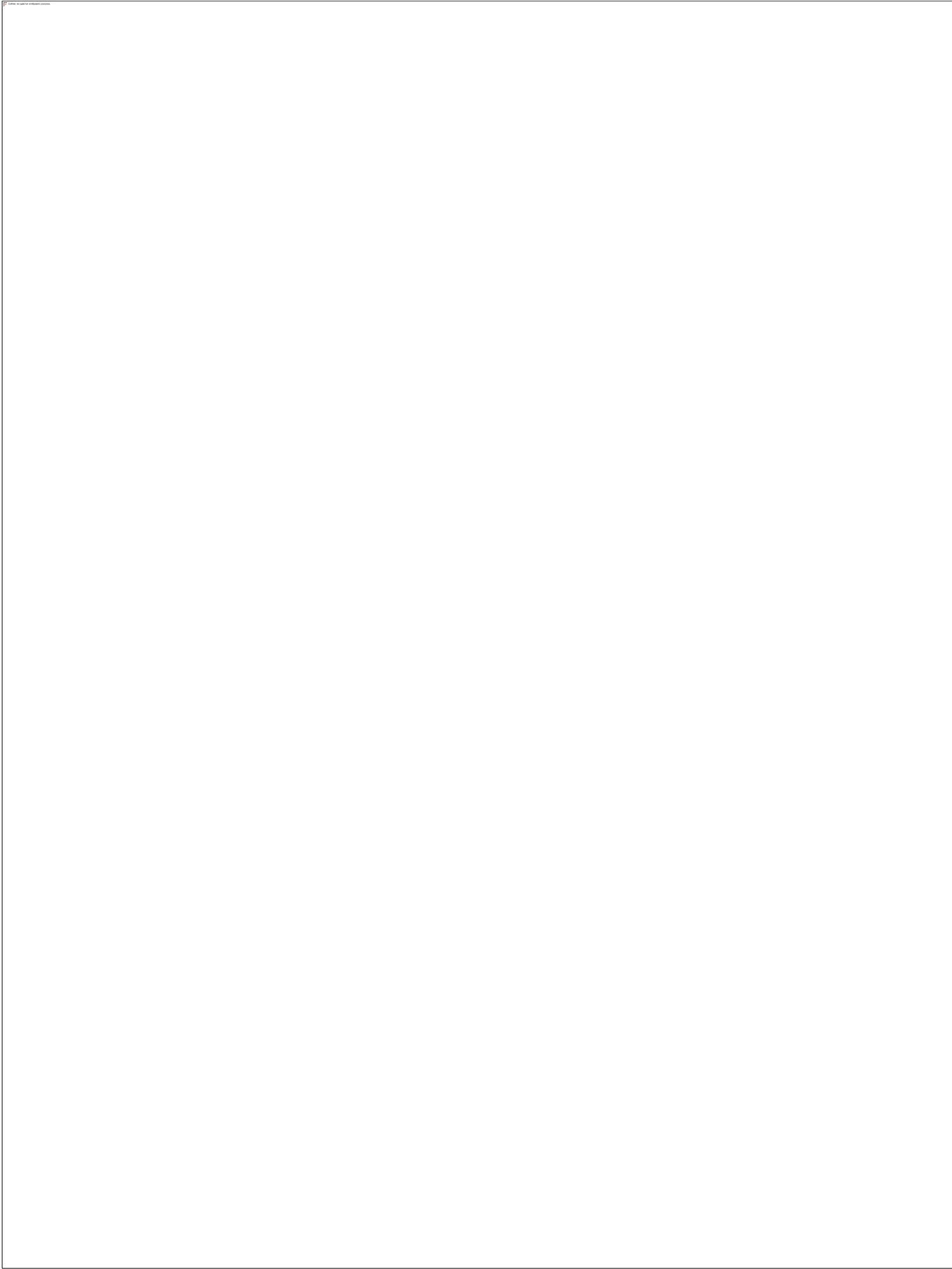
**Патентный поиск: примеры патентов из Базы *Espacenet***

<http://worldwide.espacenet.com/>

на дату 21-01-2020 12:57











(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0095146  
(43) 공개일자 2018년08월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01D 21/02 (2006.01) B66B 25/00 (2006.01)  
B66B 5/00 (2006.01) G01H 1/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01D 21/02 (2013.01)  
B66B 25/006 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0020821

(22) 출원일자 2017년02월16일

심사청구일자 2017년02월16일

(71) 출원인

한국승강기안전공단  
경상남도 진주시 소호로 102

(72) 발명자

김윤겸  
경기도 수원시 영통구 태장로71번길 19 207동  
1505호 (망포동, 동수원엘지빌리지2차)

박찬용

서울특별시 강동구 천중로9길 16, 401호(천호동,  
SK파크빌)

(74) 대리인

이대선

전체 청구항 수 : 총 3 항

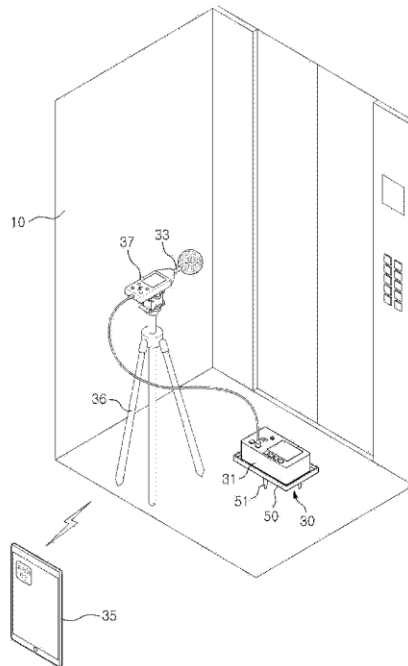
(54) 발명의 명칭 엘리베이터 및 에스컬레이터의 소음진동 및 주행속도 측정시스템

(57) 요약

본 발명은 무선통신에 의해 작업자가 엘리베이터에 탑승하지 않은 상태에서 소음과 진동 및 주행속도 등을 측정하여 승차감이나 주행상태 등을 분석할 수 있도록 된 엘리베이터의 소음진동 및 주행속도 측정시스템에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

도 1





(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107986125 A

(43)申请公布日 2018.05.04

(21)申请号 201711004946.5

(22)申请日 2017.10.24

(71)申请人 安徽省特种设备检测院  
地址 230000 安徽省合肥市包河区工业区  
大连路45号

(72)发明人 张凤标 王庆阳 杨国斌 阚望  
张世新 许林 靳松 马广振

(74)专利代理机构 合肥鼎途知识产权代理事务  
所(普通合伙) 34122

代理人 王学勇

(51)Int.Cl.

B66B 5/00(2006.01)

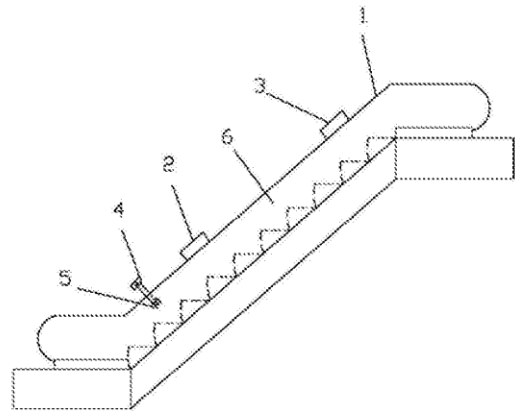
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

非接触式自动扶梯/人行道三路速度同步检测装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种非接触式自动扶梯/人行道三路速度同步检测装置及方法,该检测装置包括扶手带测速模块、梯级测速模块、制停距离测试模块和微控制系统;所述扶手带测速模块包括第一反光片、第二反光片和光电反射传感器,所述第一反光片和第二反光片分别安装在扶手带上表面,所述光电反射传感器正对应扶手带上表面设置在扶手带上方;所述梯级测速模块包括激光测距传感器和反光幕,激光测距传感器放置在自动扶梯/自动人行道运行方向的出口处,所述反光幕正对应所述激光测距传感器的激光头设置在扶梯的高处梯级/踏板上;该技术方案能够准确检测并计算得到扶手带的运行速度、梯级/踏板沿扶梯运行方向的移动速度及梯级/踏板的制停距离。



CN 107986125 A



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106185589 A

(43)申请公布日 2016.12.07

(21)申请号 201610751805.9

(22)申请日 2016.08.29

(71)申请人 阮一晖

地址 215000 江苏省苏州市宝带西路1088号湖山新意23幢802

(72)发明人 阮一晖

(74)专利代理机构 南京利丰知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 32256

代理人 王锋

(51)Int.Cl.

B66B 27/00(2006.01)

B66B 29/00(2006.01)

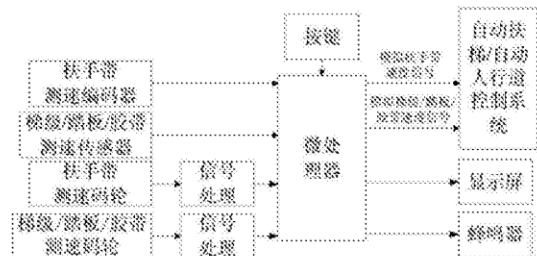
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

自动扶梯/自动人行道扶手带速度偏离保护的测试装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种自动扶梯/自动人行道扶手带速度偏离保护的测试装置,所述自动扶梯/自动人行道扶手上设有扶手带测速编码器、设有梯级/踏板/胶带测速传感器,其特征在于:所述测试装置包括扶手带测速码轮、梯级/踏板/胶带测速码轮、微处理器、自动扶梯/自动人行道控制系统、显示屏、按键及蜂鸣器;所述扶手带测速编码器、梯级/踏板/胶带测速传感器、扶手带测速码轮、梯级/踏板/胶带测速码轮及按键分别与所述微处理器连接,所述微处理器的信号输出端分别与所述自动扶梯/自动人行道控制系统、显示屏及蜂鸣器连接。本发明能够方便准确的实现对自动扶梯/自动人行道的扶手带与梯级/踏板速度偏离保护的检测。



CN 106185589 A

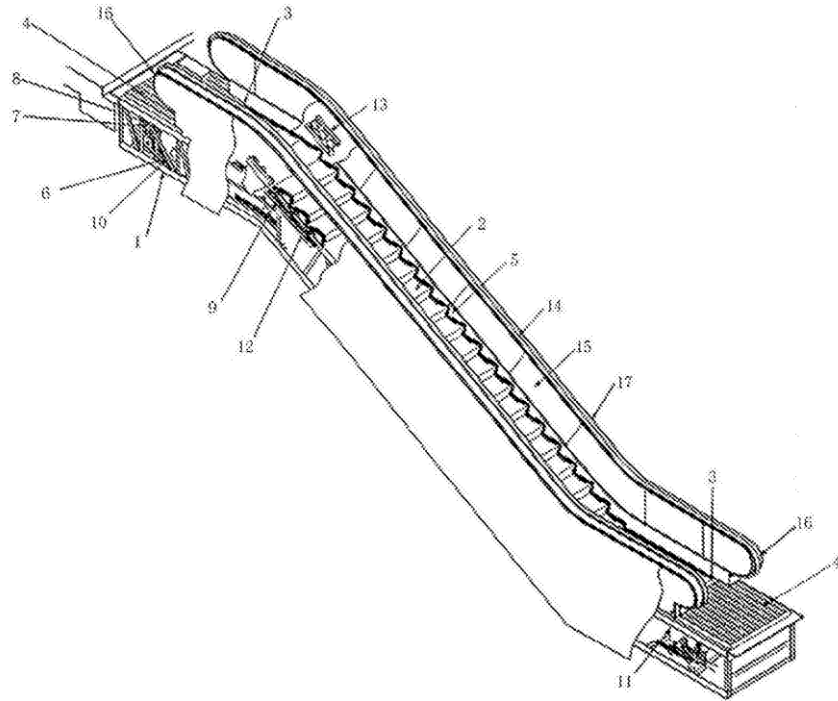


图1

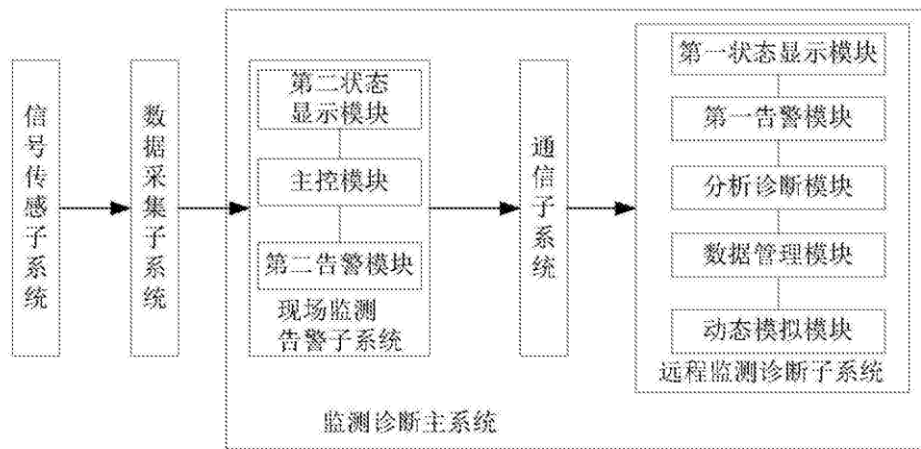


图2

**Типы эскалаторов и их основные характеристики**

Таблица 1 - Наиболее используемые типы эскалаторов, используемые в ГУП «Петербургский метрополитен»

Станция метрополи- тена	Тип эскалатора	Высота подъема, м	Ко- ли- че- ство	Количе- ство сту- пеней	Длина, м	Год ввода
Технологический институт 1	ЭМ-4	37,3	1	498	403,4	1955
			2	474	384	
Балтийская	ЭМ-4	41,3	1	494	400,2	1955
			2	470	380,6	
Нарвская	ЭМ-4	40,8	1	486	393,6	1955
			2	462	374,2	
Кировский завод	ЭМ-4	43,4	1	504	408,2	1955
			2	480	388,8	
Площадь Восстания 1	ЛТ-1	52,4	1	634	507,2	1955
			2	610	488	
Площадь Восстания 2	ЛТ-1	52,5	1	609	487,2	1960
			2	585	468	
Площадь Ленина 1	ЛТ-1	65,7	1	752	601,6	1958
			2	728	582,4	
Чернышевская	ЛТ-1	65,7	1	752	601,6	1958
			2	728	582,4	
Пушкинская	ЛТ-1	52,3	1	634	507	1956
			2	610	488	
Площадь Ленина 2	ЛТ-2	65,7	1	755	604	1962
			2	727	581,6	
Маяковская	ЛТ-2	42,9	1	563	450,4	1967
			2	535	423	
Лесная	ЛТ-2	55,7	1	691	552,8	1975
			2	663	530,4	
Елизаровская	ЛТ-2	65	1	715	572	1970
			2	987	549,6	

Ломоносовская	ЛТ-2	65	1	745	596	1970
			2	717	573,6	
Политехническая	ЛТ-2	60,9	1	743	594,4	1975
			2	715	572	
Выборгская	ЛТ-2	61,1	1	745	596	1975
			2	717	573,6	
Площадь Мужества	ЛТ-2	60,9	1	743	594,4	1975
			2	715	572	
Василеостровская	ЛТ-2	61	1	701	560,8	1967
			2	673	538,4	
Академическая	ЛТ-2	60,9	2	744	595,2	1975
			2	714	571,2	
Пл. Ал. Невского-1	ЛТ-2	55,1	1	691	552,8	1967
			2	663	530,4	
Гостиный двор	ЛТ-2	48,7	2	621	496,8	1967
			2	593	474,4	
Невский пр.-1	ЛТ-2	48,2	1	585	468	1963
			2	557	445,6	
Невский пр.-2	ЛТ-2	46,4	1	581	464,8	1968
			2	553	442,4	
Звёздная	ЛТ-3	26,2	1	395	315	1972
			2	367	293,6	
Московская 1	ЛТ-3	23	1	365	292	1969
			2	335	263	
Московская 2	ЛТ-3	24,5	1	379	303,2	1970
			2	351	280,8	
Парк Победы	ЛТ-3	44,5	1	581	464,8	1961
			2	553	442,4	
Электросила	ЛТ-3	44,1	1	515	412	1961
			2	487	389,6	
Московские ворота	ЛТ-3	32,2	1	455	364	1961
			2	427	341,6	
Фрунзенская	ЛТ-3	35,1	1	485	388	1961
			2	457	365,6	

Сенная площадь	ЛТ-3	43,1	1	565	452	1961
			2	537	429,6	
Горьковская	ЛТ-3	46,8	1	585	468	1963
			2	557	445,6	
Петроградская	ЛТ-3	40,6	1	545	436	1963
			2	517	413,6	
Пролетарская	ЭТ-5	5	3	78	62,4	1981
Площадь Алек- сандра Невского 2	ЭТ-5М	10	4	136	108,8	1985
Достоевская	ЭТ-5М	15	3	186	148,8	1991
Спортивная 1	ЭТ-5М	6,6	3	102	81,6	1997
Спортивная 2	ЭТ-5М	6,6	3	102	81,6	1997
Технологический институт 2	ЭТ-3	39,6	1	489	391,2	1980
			2	465	372	
Гражданский пр.	ЭТ-2	54,6	2	648	518,4	1978
			2	673	538,4	
Чёрная речка	ЭТ-2	65	1	719	575,2	1982
			2	695	556	
Пионерская	ЭТ-2	65	1	719	575,2	1982
			2	695	556	
Удельная	ЭТ-2	65	2	695	556	1982
			2	719	575,2	
Озерки	ЭТ-2	65	1	719	575,2	1988
			2	695	556	
Приморская	ЭТ-2	65	1	719	575,2	1979
			2	694	555,2	
Пролетарская	ЭТ-2	65	1	719	575,2	1981
			2	695	556	
Обухово	ЭТ-2	65	1	719	575,2	1981
			2	695	556	
Площадь Алек- сандра Невского 2	ЭТ-2	62	1	689	551,2	1985
			2	665	532	
Новочеркасская	ЭТ-2	55	1	619	495,2	1985

			2	595	476	
Ладожская	ЭТ-2	65	2	695	556	1985
			2	719	575,2	
Пр. Большевиков	ЭТ-2	65	2	695	556	1985
			2	719	575,2	
Крестовский остров	ЭТ-2М	45	1	519	415,2	1999
			2	495	396	
Улица Дыбенко	ЭТ-2М	62	2	703	562,4	1987
			2	679	543,2	
Достоевская	ЭТ-2М	62	1	689	551,2	1991
			2	665	532	
Лиговский проспект	ЭТ-2М	65	1	719	575,2	1991
			2	695	556	
Садовая	ЭТ-2М	65	2	695	556	1998
			2	719	575,2	
Спортивная	ЭТ-2М	50,8	2	553	442,2	1997
			2	577	461,6	
Чкаловская	ЭТ-2М	58	1	649	519,2	1997
			2	625	500	
Старая деревня	ЭТ-2М	65	2	695	556	1998
			2	719	575,2	
Проспект Просвещения	ЭТ-2М	56,8	1	719	575,2	1988
			2	695	556	
Садовая	ЭТ-4БС	20,4	4	242	193,6	1991
Гостиный двор переход	ЭТ-12П	6	4	95	76	1996
Невский проспект 2 переход	ЭТ-12П	6	4	95	76	1996
Маяковская	ЭТ-12	5,8	4	90	72	1992
Комендантский проспект	Е75Т	64,2	2	699	556,7	2005
			2	723	580,7	
Адмиралтейская	Е75Т	68,6	2	740	592	2011



			2	770	616	
Бухарестская	E75T	65	2	704	563,2	2012
			2	734	587,2	
Международная	E75T	65	2	704	563,2	2012
			2	734	587,2	
Владимирская	E55T	49,4	1	576	463,4	2008
			2	546	442,2	
Волковская	E55T	59	2	642	513,6	2008
			2	672	537,6	
Звенигородская	E55T	55,2	2	602	481,6	2009
			2	632	505,6	
Обводный канал	E55T	58,8	2	638	510,4	2010
			2	668	534,4	
Адмиралтейская	E25T	15,2	4	193	154,4	2011
Спасская-Сенная	ЭТХ -11	11,6	4	142	113,6	2009
Спасская-Садовая	ЭТХ -17	17,3	4	199	159,2	2009

Таблица 2 - Нарушения работы эскалаторов в соответствии с классификатором ГУП «Петербургский метрополитен» за период с 2014 года по 2018 год

Код неисправности	Отказы и браки в работе оборудования	Год				
		2014	2015	2016	2017	2018
2.2	Нарушение с закрытием станции более одного часа	-	1	-	-	-
2.3	Запуск эскалатора в обратном направлении под пассажирской нагрузкой	-		2		1
2.4	Опасный отказ в работе эскалаторов	-	1	-	-	-
3.1	Неисправность механического оборудования	75	49	31	34	27
3.1 (1)	Спадание полиуретанового обода основного бегунка	9	11	5	7	3
3.1 (2)	Спадание полиуретанового обода вспомогательного бегунка	5	3	2	2	1
3.1 (3)	Спадание обрешиненного обода бегунка	7	3	3	-	1
3.2	Неисправность электрического оборудования	121	99	88	82	111

3.3	Некачественное выполнение кап. ремонта	-	-	1	1	-
3.4	Неправильные действия персонала	25	20	22	11	12
3.5	Некачественное изготовление сборочных единиц (с 2017 отнесено за "Прочими")	5	5	13	7	-

Таблица 3 - Отказы и нарушения по основным типам используемых эскалаторов в соответствии с классификатором на период с 2014 по 2018 года.

Станция	Тип	Классификация отказов нарушений нормальной работы оборудования						
		2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Пионерская	ЭТ-2	2		3			4	
Гражданский проспект	ЭТ-2			3	6		1	
Черная речка	ЭТ-2			1	3			
Удельная	ЭТ-2			6	6		2	
Озерки	ЭТ-2				2		1	
Проспект Просвещения	ЭТ-2			12	8		5	
Приморская	ЭТ-2			7		2	5	
Пролетарская	ЭТ-2			4	6		2	
Обухово	ЭТ-2			1	1			
Площадь Александра Невского -2	ЭТ-2							
Новочеркасская	ЭТ-2			4	7			
Ладожская	ЭТ-2			9	1			
Проспект Большевиков	ЭТ-2			22	7		3	
Улица Дыбенко	ЭТ-2М			4	6		6	
Достоевская	ЭТ-2М			2	1		1	
Лиговский проспект	ЭТ-2М			4	2		1	
Садовая	ЭТ-2М			6	6			
Спортивная	ЭТ-2М			2	11			
Чкаловская	ЭТ-2М			4	3			
Крестовский остров	ЭТ-2М			7	4			

Старая Деревня	ЭТ-2М			6	2		1	
Площадь Александра Невского-2	ЭТ-5М			1	6			
Достоевская	ЭТ-5М			2	4			
Спортивная-1	ЭТ-5М			4	5			
Спортивная-2	ЭТ-5М			2	2		4	
Площадь Ленина-1	ЛТ-1				5			
Чернышевская	ЛТ-1			3	6			
Площадь Восстания-1	ЛТ-1				1			
Площадь Восстания-2	ЛТ-1			1	3		1	
Пушкинская	ЛТ-1			2	4			
Выборгская	ЛТ-2				5			
Лесная	ЛТ-2			1	2		2	
Площадь Мужества	ЛТ-2			2	34		2	1
Политехническая	ЛТ-2			1	3		2	
Академическая	ЛТ-2			5	1		3	
Площадь Ленина-2	ЛТ-2			1	3			
Ломоносовская	ЛТ-2				6		1	
Елизаровская	ЛТ-2			1	1			
Площадь Александра Невского-1	ЛТ-2						3	
Маяковская	ЛТ-2				4		1	
Гостиный двор	ЛТ-2			2	5		1	
Невский проспект -1	ЛТ-2				4			
Невский проспект -2	ЛТ-2							
Василеостровская	ЛТ-2			1	3		3	
ИТОГО		2	0	136	189	2	56	5