ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»

На правах рукописи



**ФИЛИН АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ**

**МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ОСНОВНЫХ МЕХАНИЗМОВ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ**

Специальность 05.05.04 - Дорожные, строительные и подъемно-транспортные

машины

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор военных наук, профессор  
Бардышев О.А.

Санкт-Петербург - 2018

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 5](#bookmark2)

[ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ 11](#bookmark3)

1. Основные факторы, влияющие на надежность и безопасность

эксплуатации тоннельных эскалаторов 11

1. Анализ существующих способов контроля технического состояния

приводных групп тоннельных эскалаторов 16

1. [Определение направлений исследования 27](#bookmark6)
2. Особенности конструкций приводных групп тоннельных эскалаторов ... 28
3. [Основные дефекты приводных групп тоннельных эскалаторов 33](#bookmark8)
4. [Выводы по главе 37](#bookmark9)

ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ПРИВОДНОЙ

ГРУППЫ ТОННЕЛЬНОГО ЭСКАЛАТОРА 40

1. Выбор математического аппарата для моделирования динамической

системы 40

1. Процесс моделирования динамической системы приводной группы

тоннельного эскалатора 42

1. [Реализация математической модели на ЭВМ 52](#bookmark14)
2. Частотная модель возможных дефектов элементов приводной группы ... 59
3. [Диагностические признаки дефектов приводных групп 63](#bookmark17)
4. [Выводы по главе 74](#bookmark19)

ГЛАВА 3 ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО

[ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИВОДНЫХ ГРУПП ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ 76](#bookmark34)

1. [Постановка целевой задачи и выбор объекта эксперимента 76](#bookmark20)
2. [Подготовка приборной базы для проведения исследования 77](#bookmark21)
3. [Требования, предъявляемые к виброизмерительной аппаратуре 78](#bookmark22)
4. [Выбор виброизмерительной аппаратуры 79](#bookmark23)
5. Определение установочных параметров виброизмерительной

аппаратуры 83

* 1. [Подготовка объекта контроля к проведению эксперимента 88](#bookmark25)
     1. Выбор способа установки пьезоэлектрических датчиков

виброизмерительной аппаратуры 88

* + 1. [Выбор контрольных точек для установки пьезоэлектрических датчиков 91](#bookmark27)
  1. Натурное диагностирование методом спектрального анализа

виброакустического сигнала 93

* + 1. Определение зон вибрационного состояния приводных групп

тоннельных эскалаторов 93

* + 1. [Диагностические признаки дефектов подшипников качения 99](#bookmark30)
    2. [Диагностические признаки дефектов зубчатых зацеплений 103](#bookmark31)
    3. [Диагностические признаки дефектов линии вала 110](#bookmark32)
    4. Сводная таблица диагностических признаков дефектов элементов

приводных групп тоннельных эскалаторов 112

* 1. Методика контроля технического состояния приводных групп

тоннельных эскалаторов 113

* 1. Выводы по главе 117

ГЛАВА 4 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ

ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ 118

1. [Практическое применение разработанной методики 118](#bookmark37)
2. Прогнозирование технического состояния приводной группы

[тоннельного эскалатора 120](#bookmark40)

1. Оформление результатов контроля технического состояния приводной

группы тоннельного эскалатора 123

1. [Расчет эффективности применения разработанной методики 124](#bookmark41)
2. Определение капитальных вложений при применении разработанной

[методики 125](#bookmark43)

1. Определение текущих затрат при применении разработанной методики126
2. Определение показателей технико-экономической эффективности при

[применении разработанной методики 128](#bookmark45)

1. [Выводы по главе 131](#bookmark46)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 132](#bookmark47)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 134](#bookmark48)

ПРИЛОЖЕНИЯ 149

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании теоретических и экспериментальных исследований, выпол­ненных в диссертационной работе, получены следующие основные результаты:

1. Выполнена оценка влияния технологических и эксплуатационных факто­ров на надежность работы приводных групп тоннельных эскалаторов в период эксплуатации, в результате чего определены основные возможные причины вне­плановых остановов и аварийных отказов приводных групп, связанные с дефек­тами их элементов.
2. Проведен анализ существующих методов и методик контроля техниче­ского состояния роторных машин и механизмов, к которым относятся приводные группы тоннельных эскалаторов, в ходе которого, посредством квалиметрическо- го подхода, было установлено - наиболее применимыми для выбранного объекта исследования являются методы виброакустической диагностики, позволяющие проводить контроль текущего технического состояния в процессе эксплуатации, обнаруживать развивающиеся и развитые дефекты.
3. Выполнен кинематический анализ приводных групп тоннельных эскала­торов, в результате чего предложены способ расчета и выражения для расчета де­терминированных частот дефектов приводной группы в зависимости от скорости движения лестничного полотна эскалатора, а также получены частотные детер­минированные модели приводных групп, необходимые при проведении виброа­кустического диагностирования.
4. Разработана математическая модель формирования и изменения виброа­кустического сигнала при появлении и развитии дефектов элементов приводной группы тоннельного эскалатора, описывающая динамику колебательных процес­сов, посредством которой получены опорные спектры вибрационного сигнала при бездефектном состоянии и заданных дефектах, в результате чего определены ди­агностические признаки основных возможных дефектов приводных групп тон­нельных эскалаторов.
5. Проведено экспериментальное исследование возможности применения методов виброакустического диагностирования для контроля технического со­стояния приводных групп тоннельных эскалаторов при рабочих режимах в про­цессе эксплуатации. В ходе экспериментального исследования были определены установочные параметры виброизмерительной аппаратуры, наиболее информа­тивные точки снятия виброакустического сигнала, были получены вибрационные портреты дефектов элементов приводных групп. В итоге была подтверждена схо­димость результатов, полученных в ходе математического моделирования и целе­сообразность применения методов виброакустического диагностирования.
6. При проведении экспериментальных исследований была выявлена воз­можность применения диагностических признаков дефектов элементов привод­ных групп тоннельных эскалаторов для других роторных машин и механизмов, обладающих схожими конструктивными сопряжениями и элементами.
7. Экспериментально по параметрам виброакустического сигнала были нормированы зоны технического состояния приводных групп тоннельных эскала­торов.
8. Разработана методика контроля технического состояния приводных групп тоннельных эскалаторов на основе комплексного применения методов виб­роакустического диагностирования, позволяющая проводить контроль техниче­ского состояния при рабочих режимах в процессе эксплуатации тоннельных эска­латоров и способствующая повышению их надежности и безопасности.
9. Разработаны и запатентованы устройства оценки технического состоя­ния объекта контроля по параметрам вибрации, применение которых возможно в приводных группах тоннельных эскалаторов метрополитенов, разработан и заре­гистрирован комплекс программ для ЭВМ, необходимый для оценки техническо­го состояния приводных групп тоннельных эскалаторов.
10. Показаны перспективы прогнозирования технического состояния при­водных групп тоннельных эскалаторов во времени за счет экстраполяции регрес­сионной зависимости параметров виброакустического сигнала от наработки эска­латора.