

УДК 621.867

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ

Еланцев В.В.

*Петербургский государственный университет путей сообщения им. Александра I,
Санкт-Петербург, e-mail: evv3012@gmail.com*

Тоннельные эскалаторы являются ключевым элементом транспортирующей инфраструктуры любого метрополитена. Обеспечение безопасности транспортировки пассажиров на эскалаторах метрополитена совместно с достижением эффективного распределения выделенных ресурсов возможно через анализ и контроль текущего технического состояния и его прогнозирование в будущий момент времени. В качестве основного источника информации при определении текущего и прогнозного технического состояния элементов подсистем эскалатора выступает комплекс параметрической информации. Для корректного выделения комплекса параметрической информации на основе анализа различной документации была построена докомпозиционная модель эскалатора, отображающая основные элементы, подсистемы и их взаимосвязь. В статье рассматривается классификация комплекса параметрической информации, включающей нормативные значения параметров, как самого эскалатора, так и окружающей обстановки, а также требования к выполнению технического воздействия на элементы подсистем эскалатора. Одновременно с классификацией, в статье рассматривается модель используемого способа анализа параметрической информации, а также предлагается новый подход к анализу параметрической информации основанный на элементах теории нечетких множеств. В заключении приведен результат работы предлагаемого алгоритма, в качестве которого выиспает комплексная параметрическая оценка текущего технического состояния.

Ключевые слова: эскалатор, комплекс параметрической информации, классификация, декомпозиционная модель

TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT EFFICIENCY AND SAFETY OPERATION OF UNDERGROUND TUNNEL ESCALATORS. ANALYSIS OF PARAMETERS.

Elantsev V.V.

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg,
e-mail: evv3012@gmail.com*

Tunnel escalators are a key element of the transportation infrastructure of any metro. The safety of passenger transportation on metro escalators and achievement of effective allocation of necessary resources is possible with help analysis and control of the current technical status and its forecasting in the future moment of time. The main source of information when determining the current and predicted technical status of elements of escalator subsystems is complex parametric information. In order to correctly identify the complex parametric information on the basis of analysis of various documentation, a decomposition model of the escalator was built. This model are showing the main elements, subsystems and their interrelations. The article considers the classification of complex parametric information, which includes the normative values of escalator parameters and escalator environment, as well as the requirements to perform technical impact on the elements of the escalator subsystems. In this paper describes model of the used method of analysis of parametric information, and also proposes a new approach to analysis of parametric information based on elements of fuzzy set theory. In conclusion, the result of operation of the proposed algorithm, which is a complex parametric assessment of the current technical state, is given.

Keywords: escalator, complex parametric information, classification, decomposition model

Сегодня город Санкт-Петербург представляет собой сочетание исторической центральной части, в пределах которой интенсивно протекает процесс преобразования обширных территорий промышленного назначения в локации с массовой многоэтажной жилой застройкой, а также растущими примыкающими периферийными и областными локациями [1–3], в которых наблюдается лавинообразное увеличение вновь вводимой жилой уплотнительной многоэтажной застройки. Одновременно с вводом в эксплуатацию жилых массивов увеличивается и количество личного автотранспорта нагружающего примыкающую дорожную сеть. Вместе с тем, темпы развития дорожной сети и городской транспортной инфраструктуры не всегда успевают за развитием жилищных массивов. В связи с этим, на существующую общественную транспортную инфраструктуру приходится двойной, а подчас и тройной пассажиропоток, исчерпывающий ранее заложенные ее проектные резервы.

Одним из самых часто используемых видов общественного транспорта является метрополитен [4]. Ключевую роль в обеспечении бесперебойной транспортировки пассажиропотока с наземных вестибюлей метрополитена на подземные платформы и обратно выполняют тоннельные эскалаторы. Как и любой сложный технический объект, эскалатор состоит из взаимосвязанных тесно взаимодействующих подсистем, которые в свою очередь состоят из элементов [5]. Исправность и работоспособность каждого элемента определяется сочетанием параметров, статус которых устанавливается при выполнении технического воздействия на подсистемы эскалатора, на выполнение которого необходимо определенное коли-

чество ресурсов. Однако, ограниченность выделяемых ресурсов на поддержание эскалаторного хозяйства в безопасном работоспособном состоянии, и постоянно увеличивающийся пассажиропоток заставляют искать новые методы организации технического обслуживания и ремонта.

Целью данной работы является выявление перечня значимых для эксплуатации тоннельных эскалаторов параметров, анализ и управление которыми позволит повысить экономическую эффективность распределения выделенных ресурсов и расширить дифференциацию элементов подсистем эскалатора на различные системы технического обслуживания и ремонта, в первую очередь по состоянию.

Декомпозиция эскалатора

Для систематизации информации о составе подсистем и их взаимодействии предложена модель декомпозиции эскалатора на составные части. Представленная на рис. 1 модель включает основные функциональные элементы, ключевыми из которых являются главный вал и приводная подсистема.

Каждый элемент подсистемы эскалатора характеризуется набором параметров, определенных конструкторско-технологической, нормативно-справочной, производственно-технической и эксплуатационной документацией. Помимо параметров элементов подсистем эскалатора важную роль играют и параметры соответствующие каждому этапу технического воздействия. Таким образом, множество неоднородных данных, совокупность которых отображает текущее техническое состояние эскалатора и выполняемых технических воздействий является комплексом параметрической информации. Дискретная и/или непрерывная фиксация комплекса параметрической информации создаёт историческую ретроспективу являющуюся базой построения прогноза технического состояния эскалатора в следующий момент времени. В случае обобщения комплекса параметрической информации от группы однотипных эскалаторов и от всего эскалаторного хозяйства метрополитена формируется единая информационная база являющаяся основой для установления возможных закономерностей поведения, как самих эскалаторов, так и их подсистем, а также их взаимодействия между собой.

На основе декомпозиционной модели эскалатора и анализа документации описывающей нормативные значения параметров, а также требования к выполнению технического воздействия на элементы подсистем эскалатора далее рассмотрим ком-

плекс параметрической информации, анализ и контроль которой позволит однозначно определять текущее техническое состояние эскалатора и выполняемых работ.

Комплекс параметрической информации

В результате обобщенного анализа источников [6, 7] был сформирован перечень контролируемых параметров, представленный в табл. 1.

В основу рассматриваемой в табл. 1 классификации положены принципы системного подхода, описанные в работе [8]. В зависимости от назначения, были выделены две группы параметров, общие и специальные.

Общие – описывают общесистемные параметры эскалатора в условиях наклонного хода конкретной станции. Данная группа состоит из трех подгрупп – исходные, организационно-технические и параметры внешнего вида.

Остановимся более подробно на первой подгруппе – исходные параметры. Исходные параметры («анамнез») подразделяются на постоянные и переменные и необходимы для заполнения в информационном пространстве индивидуальной учётной карточки конкретного эскалатора в которой указываются общие паспортные данные, такие как дата ввода в эксплуатацию определяющая возраст, изготовитель, заводской номер, основные массогабаритные характеристики и прочие. Также при сборе и фиксации «анамнеза» конкретного эскалатора в процессе анализа комплекта документов устанавливаются индивидуальные особенности, такие как количество проведенных технических воздействий и их качество (при возможности), характеристики окружающего наклонного хода, в том числе его длина, состояние гидроизоляции и грунтов в месте залегания, а также индивидуальные конструктивные решения, принятые при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Немаловажную роль играют и такие параметры наземного вестибюля, как размеры, определяющие, в том числе длину пути пассажира (длину «грязной зоны») от входа в вестибюль до входной площадки эскалатора. Чем меньше длина «грязной зоны», тем большее количество уличного загрязнения попадает на механизмы эскалатора, влияя на расходование его технического ресурса. Помимо этого, в число общих параметров входит среднесуточный и среднемесячный пассажиропоток места установки эскалатора (конкретного станционного вестибюля (выхода)), также влияющий на расходование ресурса эскалатора. Параметры данной подгруппы прямо или косвенно влияют на все остальные параметры, за исключением подгруппы организационно-технических параметров.

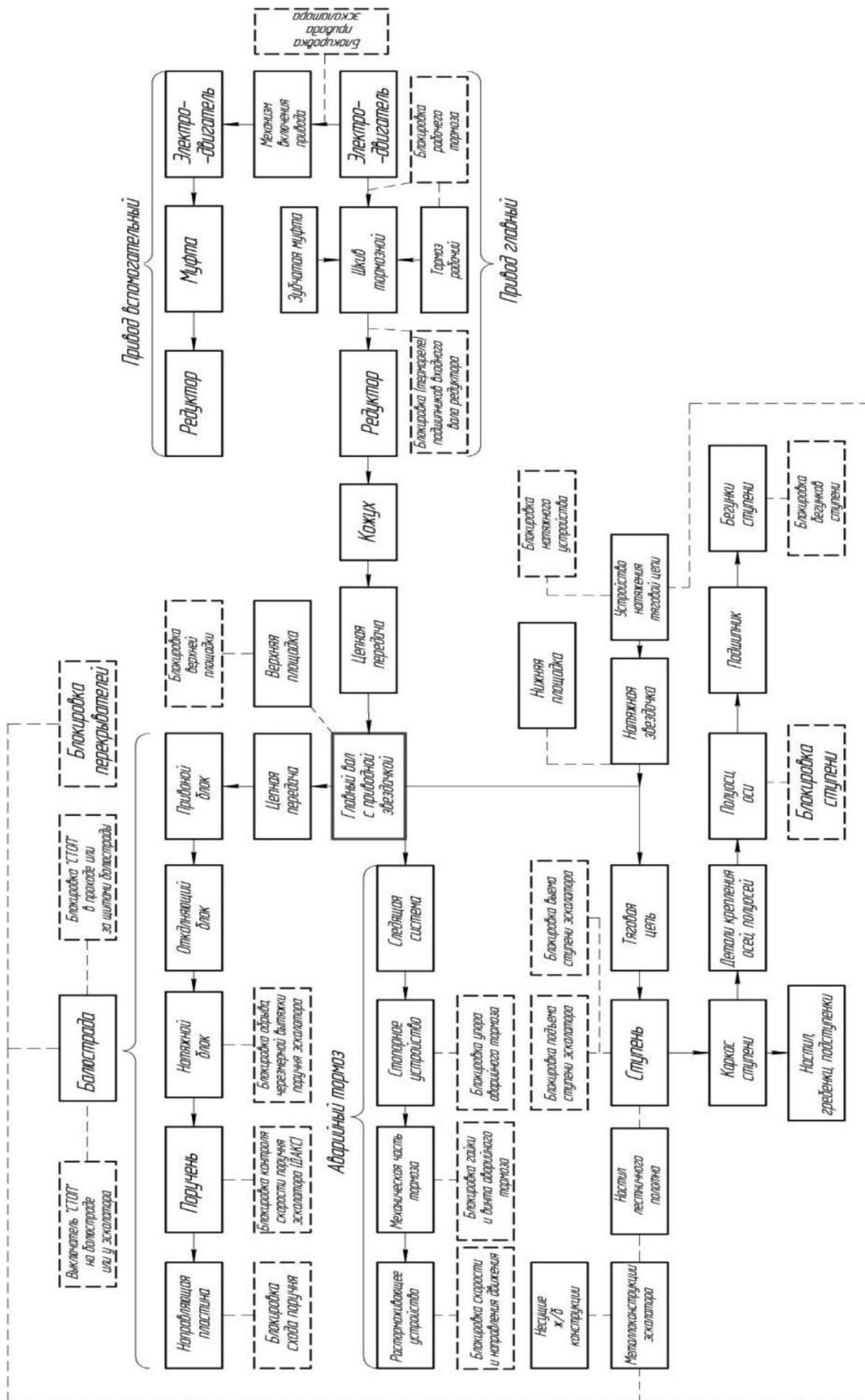


Рис. 1. Декомпозиционная модель тоннельного эскалатора

Таблица 1

Контролируемые параметры

№ п/п	Наименование группы/под-группы параметров	Наименование параметров	Класс
1	Общие		
1.1	Исходные	Постоянные, закладываемые при проектировании, разработке и изготовлении	4
		Переменные, изменяющиеся в течение суток, недели, месяца, а также в зависимости от климатических условий и пр.	4
1.2	Организационно-технические	Комплектность документов (наличие комплекта документов – паспорта, акты, инструкции, договоры, справки, протоколы и др.)	1
		Соответствие НТД, КД, ТД, ПрД	1
1.3	Внешний вид	Износ (целостность, трещины, механические повреждения и т.п.)	2
		Маркировка/гравировка	2
2	Специальные		
2.1	Электротехнические	Сопротивление изоляции	3
		Защитное заземление (зануление)	3
		Характеристики тока и напряжения	3
		Наличие/отсутствие питания	2
		Подключение (электромонтаж)	2
2.2	Зацепление	Профиль зуба	3
		Толщина зуба	3
		Контактная поверхность	3
		Плавность хода	2
		Люфты	3
2.4	Физические	Давление	3
		Температура	3
		Длина (толщина, ширина)	3
		Скорость	3
		Ускорение	3
		Деформация остаточная	3
		Сила (усилие)	3
		Вес (масса)	3
2.5	Органолептические	Стук, скрежет, треск, шум, биение	2
		Задымление, искрение	2
		Вибрация	3
		Плавность перемещения элементов относительно друг друга	2
		Наличие следов (побежалость, копать, грязь, подтекание, нагар и т.п.)	2
2.6	Положение в пространстве	Положение относительно друг друга (в т.ч. зазоры и допуски/посадки)	3
		Положение относительно базовых точек (точек привязки)	3
		Посадочные места (поверхности и плоскости)	3
		Наличие/отсутствия элементов (в т.ч. покрытий/смазки)	2
2.7	Сварное соединение	Неправары	2
		Напльвы	2
		Подрезы основного металла	3
		Прожоги /подплавления основного металла	2
		Поры/включения	3

Параметры организационно-технической подгруппы необходимы в первую очередь для обеспечения версии и поддержания в актуальном состоянии бухгалтерского документооборота.

Параметры подгруппы внешнего вида играют ведущую роль при выполнении визуального осмотра и существенно влияют на эксплуатационные свойства эскалатора.

Специальные – описывают индивидуальные параметры элементов подсистем эскалаторов и их соединений в условиях наклонного хода конкретной станции. Данная группа состоит из семи подгрупп – электро-технические, зацепление, физические, органолептические, положения в пространстве и параметры сварного соединения. Семь подгрупп группы специальных параметров исчерпывающе описывают техническое состояние эскалатора в любой момент времени.

Для удобства фиксации, распределения и последующего анализа параметров каждой подгруппы были выделены четыре класса характеризующиеся следующими свойствами:

1 Класс – Параметры, отражающие организационно-техническую готовность эскалатора и его подсистем к проведению ремонтно-ревизионного воздействия в процессе эксплуатации. Контролируются на подготовительных и заключительных этапах выполнения работ. Описываются двумя состояниями: наличие/соответствие (Да) и отсутствие/несоответствие (Нет).

2 Класс – Параметры, описывающие косвенные признаки, отражающие техническое состояние эскалатора и его подсистем в процессе эксплуатации. Контролируются на основном этапе выполнения работ. Описываются двумя состояниями: наличие/соответствие (Да) и отсутствие/несоответствие (Нет).

3 Класс – Параметры, описывающие прямые признаки, отражающие техническое состояние эскалатора и его подсистем в процессе эксплуатации. Контролируются на основном этапе выполнения работ. Для описания параметров предлагается исполь-

зовать элементы искусственного интеллекта и механизмы нечеткого вывода.

4 Класс – Параметры, отражающие базисное состояние эскалатора в целом в условиях наклонного хода конкретной станции. Подгруппа постоянных параметров не контролируется и необходима для корректной адресации при обращении данных внутри информационного пространства. Параметры, относящиеся к подгруппе переменных параметров, контролируются с разной периодичностью, в зависимости от назначения.

Для определения преобладающего класса параметров, представленных в табл. 1, выполнен количественный анализ, результаты которого представлены в табл. 2.

Превалирование параметров третьего класса (табл. 2) свидетельствует об особой значимости данных параметров при определении технического состояния эскалатора в текущий и будущий момент времени (прогнозирование). В связи с этим, именно параметрам третьей подгруппы необходимо уделить отдельное внимание. Для этого далее рассмотрим один из вариантов современного подхода к комплексной оценке параметров, основанный на теории нечетких множеств.

Алгоритм комплексной оценки параметров

В качестве одного из возможных способов организации системы технического воздействия на эскалаторное хозяйство Петербургского метрополитена в работе [9] была предложена концепция информационного пространства базирующегося на понятии наряд-допуск. При выполнении каждой операции n_j из состава наряда-допуска

$$НД = \{n_1, n_2, \dots, n_j, \dots, n_k\},$$

где k – общее количество операций, формируются числовые значения контролируемых параметров (x_p), которые объединяются в подмножество всех числовых значений $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_i\}$ соответствующих конкретной подсистеме эскалатора из множества $X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_j\}$ всех подсистем эскалатора.

Таблица 2

Количественное распределение параметров по классам

Критерий \ Класс	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Итого
Количество параметров в классе	2	13	21	2	38
Доля от общего количества, %	5,26	34,21	55,26	5,26	100

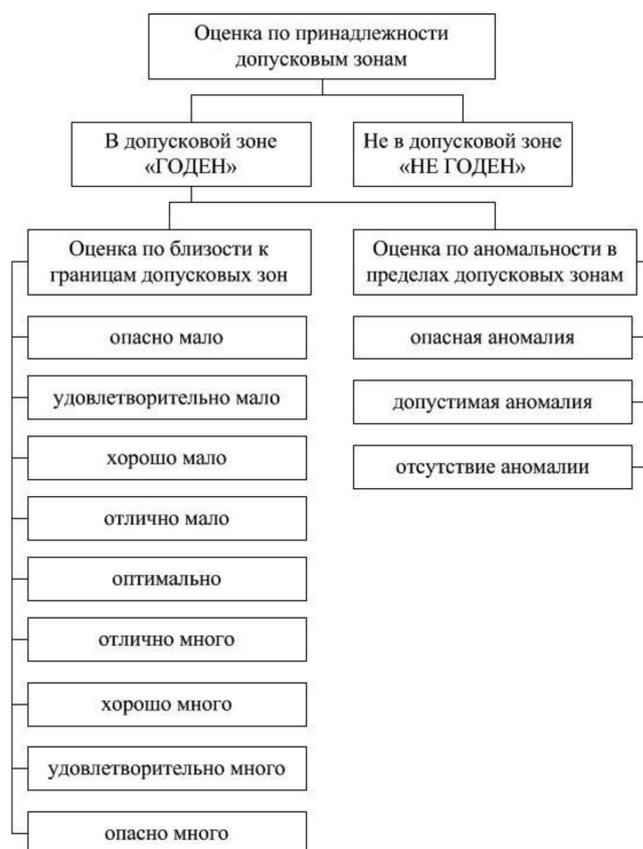


Рис. 2. Классификатор

Собственно оценка заключается в сопоставлении конкретного измеренного числового значения контролируемого параметра (x_i) и одного из классификационных множеств, описанных на рис. 2. Предложенный на рис. 2 классификатор [10] создает возможность оценить параметры внутри допусковых зон и использовать методы нечеткой логики для дальнейшего построения прогнозной модели технического состояния эскалатора.

С целью структурирования последовательности действий при анализе параметрической информации ниже описана пошаговая последовательность, образующая алгоритм комплексной оценки параметров.

Шаг 1.1 Оценка каждого параметра по критерию принадлежности допусковым зонам.

Результат: отнесение к классу «годен» или «не годен».

Шаг 1.2 Отбор из сохранённых в информационном пространстве измеренных значений параметров классифицированных как «годен» для оценки по критерию близости к границам полей допусков и «не годен»

для дальнейшего принятия управленческого решения по восстановлению.

Шаг 1.2.1 Выделение совокупности параметров x_i со значениями «годен».

Шаг 1.2.2 Определение подклассов параметров, полученных на шаге 1.2.1:

Правило 1: ЕСЛИ « $x \in A_{оп.м}$ », то « x – «опасно мало»,

Правило 2: ЕСЛИ « $x \in A_{оп.мн}$ », то « x – «опасно много»,

Правило 3: ЕСЛИ « $x \in A_{уд.м}$ », то « x – «удовлетворительно мало»,

Правило 4: ЕСЛИ « $x \in A_{уд.мн}$ », то « x – «удовлетворительно много»,

Правило 5: ЕСЛИ « $x \in A_{хор.м}$ », то « x – «хорошо мало»,

Правило 6: ЕСЛИ « $x \in A_{хор.мн}$ », то « x – «хорошо много»,

Правило 7: ЕСЛИ « $x \in A_{отл.м}$ », то « x – «отлично мало»,

Правило 8: ЕСЛИ « $x \in A_{отл.мн}$ », то « x – «отлично много»,

Правило 9: ЕСЛИ « $x \in A_{опт}$ », то « x – «оптимально».

Шаг 1.2.3 Запись параметров с дополнительной информацией в базу данных.

Результат: подразделения на подклассы «опасно мало», «удовлетворительно мало», «хорошо мало», «отлично мало», «оптимально», «отлично много», «хорошо много», «удовлетворительно много», «опасно много».

Шаг 1.3 Отбор из сохранённых в информационном пространстве измеренных значений параметров классифицированных как «годен» для оценки по критерию аномальности поведения в пределах границ допусковых зон

ШАГ 1.3.1 Выделение совокупности параметров x_p со значениями «годен»

ШАГ 1.3.2 Определение xk_{max} и xk_{min} для каждого параметра x_p .

ШАГ 1.3.3 Вычисление $\Delta xk = xk_{max} - xk_{min}$ для каждого параметра.

ШАГ 1.3.4 Сравнение значений Δxk с $\Delta x_{доп. max}$ и $\Delta x_{доп. min}$ правилами логического вывода:

Правило 1: ЕСЛИ $\Delta xk > \Delta x_{доп. max}$, ТО xk – опасная аномалия,

Правило 2: ЕСЛИ $\Delta x_{доп. min} \leq \Delta xk \leq \Delta x_{доп. max}$, ТО xk – допустимая аномалия,

Правило 3: ЕСЛИ $\Delta xk < \Delta x_{доп. min}$, ТО xk – отсутствие аномалии.

ШАГ 1.3.5 Запись параметров с дополнительной информацией в базу данных.

Описанный алгоритм оценки параметров элементов подсистем эскалатора являются базовым для методики комплексной идентификации технического состояния.

Результат: подразделение на подклассы «опасная аномалия», «допустимая аномалия», «отсутствие аномалии».

Шаг 1.4 Комплексная оценка технического состояния элементов подсистем эскалатора по следующим правилам:

Правило 1: ЕСЛИ одна из оценок «не годен», ТО *первая предварительная оценка* технического состояния элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам, в противном случае первая предварительная оценка технического состояния элементов подсистем эскалатора – работоспособное состояние по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам;

Правило 2: ЕСЛИ одна из оценок x_p «опасно мало» или «опасно много», ТО *вторая предварительная оценка* технического состояния элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние по критерию близости значений параметров к границам допусковых зон, в противном случае вторая предварительная оценка технического состояния элементов подсистем эскалатора – работоспособное состояние по критерию близости значений параметров к границам допусковых зон;

Правило 3: ЕСЛИ одна из оценок x_p опасная аномалия, ТО *третья предварительная оценка* технического состояния элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ допусковых зон, в противном случае третья предварительная оценка технического состояния элементов подсистем эскалатора – работоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ допусковых зон;

Правило 4: ЕСЛИ одна из трех предварительных оценок технического состояния элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам, неработоспособное состояние по критерию близости значений параметров к границам допусковых зон или неработоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ допусковых зон, ТО техническое состояние элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние, в противном случае техническое состояние элементов подсистем эскалатора – работоспособное состояние.

Результат: присвоение одной из четырех предварительных оценок.

Шаг 6. Сохранение в информационном пространстве комплексной оценки технического состояния элементов подсистем эскалатора для дальнейшего использования и выдача при необходимости потребной информации персоналу.

Схематическое изображение вышеописанного алгоритма комплексной оценки технического состояния элементов подсистем эскалатора опирающегося на понятие наряда-допуск, как структурного компонента информационного пространства, а также элементы теории нечетких множеств представлено на рис. 3.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования был выбран комплекс параметрической информации об элементах подсистем эскалатора, эскалаторе в целом, технических воздействиях, а также сопутствующей параметрической информации окружающей обстановки. При исследовании был использован метод системного анализа, заключающийся в первичной декомпозиции объекта исследования – эскалатора на составные части, последующего анализа выделенного комплекса параметрической информации и синтеза методики комплексной оценки параметров конкретного класса, основанной на теории нечетких множеств.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве результатов работы предложенного алгоритма следует выделить повышение достоверности результатов измерений контролируемых параметров, сокращение времени анализа результатов ремонтно-ревизионных работ, сокращение трудозатрат на проведение ремонтно-ревизионных работ, обнаружение предотказных состояний на ранних стадиях развития дефекта, прогнозирование технического состояния элементов подсистем эскалатора в различных условиях эксплуатации, принятие решения о продлении срока эксплуатации элементов подсистем эскалатора с возможной заменой отдельных блоков и узлов. Предложенный подход способствует ретроспективному анализу причин отказов элементов подсистем эскалатора, оптимизации программы ремонтно-ревизионных воздействий на элементы подсистем эскалатора, оптимизации номенклатуры и количества запасных частей, узлов, материалов и агрегатов, а также переходу от планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания к эксплуатации по фактическому техническому состоянию.

Заключение

Предложенный алгоритм комплексной оценки технического состояния элементов подсистем эскалатора, базирующийся, в том числе на теории нечетких множеств обеспечивает формирование в информационном пространстве актуальной информации о техническом состоянии элементов подсистем эскалатора, установление фактов предрасположенности к неустойчивой работе на начальных этапах формирования дефекта или предотказного состояния элементов подсистем эскалатора, принятие обоснованных решений, направленных на предупреждение потенциальных отказов, и предотвращения нештатных и аварийных ситуаций при эксплуатации, а также прове-

дению в необходимых случаях ремонтно-ревизионных, а также предупредительных мероприятий по настройке, регулировке и отладке взаимодействия составных частей эскалатора.

Список литературы

1. Закон Санкт-Петербурга от 19 января 2009 г. № 820-7 «О Генеральном плане Санкт-Петербурга» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/8422495> (<http://kgainfo.spb.ru/zakon/generalplan/>) (дата обращения: 01.03.2020).
2. Закон Ленинградской области от 10 марта 2004 г. № 17-оз «Об установлении границ и наделении соответствующим статусом муниципальных образований Всеволожский район и Выборгский район и муниципальных образований в их составе» – Заневское сельское поселение» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zanevkaorg.ru/generalnyiy-plan-mo-zanevskoe-gorods/> (дата обращения: 01.03.2020).
3. Закон Ленинградской области от 10 марта 2004 г. № 17-оз «Об установлении границ и наделении соответствующим статусом муниципальных образований Всеволожский район и Выборгский район и муниципальных образований в их составе» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: https://xn----7sbapuabb4afgggnvekrx7c11.xn--p1ai/index.php?option=com_content&view=article&id=112:arhitektura&catid=11&limitstart=1&Itemid=254/ (дата обращения: 01.03.2020).
4. Петербургский метрополитен. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metro.spb.ru/strategia.html> (дата обращения: 01.03.2020).
5. Поминов И.Н. Эскалаторы метрополитена. Устройство, обслуживание и ремонт. М.: Транспорт, 1994. 320 с.
6. Руководство по ремонту эскалаторов РР-ЭМ 002-17. СПб.: ГУП «Петербургский метрополитен», 2017. 96 с.
7. Руководством по ремонту РР-ЭС 001-10. СПб.: ГУП «Петербургский метрополитен», 2011.
8. Волкова В.Н., Емельянов А.А. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2012. 848 с.
9. Еланцев В.В. К вопросу о повышении эффективности и безопасности тоннельных эскалаторов. Информационный комплекс оперативного мониторинга состояния эскалатора // Инновационные внедрения в области технических наук: сборник научных трудов по итогам V международной научно-практической конференции (Москва, 25 января 2020 г.). М.: Ареал, 2020. С. 27–31.
10. Смирнов В.А. Технология приемочного контроля сложной приборной аппаратуры с ограниченным ресурсом: дис. ... канд. тех. наук: 05.11.14: 03.12.15. Санкт-Петербург, 2015. 179 с.