

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

К.Т.Н. Попов В.А., Еланцев В.В.

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I,
Санкт-Петербург, Россия
ew3012@gmail.com

Цель статьи – поиск механизмов ранжирования и арбитражирования потребностей (комплекса технических воздействий), достаточных для обеспечения необходимого уровня надежности и безопасности транспортировки возрастающих пассажиропотоков. Объектом исследования является эскалаторное хозяйство, а предметом – система технического обслуживания и ремонта. Научной новизной является использование информационных технологий, содержащих сочетание математических инструментов, реализующих необходимый функционал, для цифровой трансформации системы технического обслуживания и ремонта эскалаторного хозяйства метрополитена. В начале статьи описывается объект применения, цель и задачи концепции цифровой трансформации, ее архитектура и функции, а также особенности внедрения. Далее в работе делается акцент на поддержании надежности и безопасности транспортировки пассажиропотоков, как основных функциях концепции. Затем приводятся ситуации риска (события) и обобщенная модель их формирования, раскрывающая причинно-следственный комплекс. После излагаются задачи и сам процесс управления рисками, строящийся на определении величины риска, исходные данные для которого извлекаются из информационного пространства, содержащего электронные документы, включающие в том числе данные о работах (технических воздействиях), а получившийся результат соотносится с различными шкалами. Помимо этого, математический аппарат управления рисками включает матрицы, содержимое которых используется стратегиями поддержки принятия решений. Описанный в работе математический аппарат реализует механизм ранжирования и арбитражирования потребностей (комплекса технических воздействий), являющийся в свою очередь составной частью методики повышения долговечности, надежности и безопасности эксплуатации эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры. Представленная концепция позволяет при дефиците ресурсов формировать комплекс воздействий для наиболее проблемных элементов и перевести эксплуатацию элементов эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры на систему по состоянию, способствующую обоснованному увеличению назначенных сроков службы с сохранением достаточных уровней безопасности. В заключении приводятся ожидаемые практические результаты внедрения концепции.

Ключевые слова: эскалатор, управление рисками, цифровая трансформация, ресурсный подход, техническое состояние, техническое воздействие.

Для цитирования: Попов В.А., Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Управление рисками // Известия МГТУ «МАМИ». 2021. № 3 (49). С. 10–22. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-10-22

Введение

Содержание эскалаторного хозяйства требует значительных затрат на поддержание надежности эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры и обеспечение безопасности транспортировки пассажиров. Вместе с тем ограниченные ресурсы диктуют потребность в пересмотре подходов к техническому воздействию (объему работ) на эскалаторы и связанные с ними объекты инфраструктуры. В частности, нередко встречаются

эксплуатационные ситуации, формируемые существующими правилами, при которых предписывается выполнить техническое воздействие на объекты с достаточно высоким уровнем надежности, а проблемные по надежности объекты продолжают эксплуатироваться без технических воздействий, создавая повышенный риск возникновения нештатных ситуаций.

Рациональное же управление ограниченными выделяемыми ресурсами возможно при условии:

1) своевременного получения объективной информации о текущем техническом состоянии элементов эскалаторного хозяйства и связанных с ними объектов инфраструктуры;

2) наличия компьютеризированной системы поддержки принятия решений по техническому содержанию эскалаторного хозяйства и связанных с ним объектов инфраструктуры на уровнях структурных подразделений и хозяйства в целом.

Выполнение первого условия означает создание и внедрение системы сбора, анализа и обработки данных об отказах и происшествиях (нештатных ситуациях). Реализация второго условия означает создание и внедрение механизма арбитража между потребителями ресурсов, определяющего объекты, техническое состояние которых требует вложения ресурсов и оправдано с точки зрения снижения надежности и обеспечения уровня безопасности, при котором остаточный риск возникновения происшествий имеет допустимый уровень.

Одновременно с этим имеется противоречие между потребностью в интенсификации эксплуатации эскалаторного хозяйства, связанной с все возрастающим пассажиропотоком, и необходимостью технологических перерывов в эксплуатационной работе для поддержания требуемых уровней надежности и безопасности, стремительно стареющего эскалаторного парка, содержание которого строится на основе нормативного срока службы, без учета его текущего состояния.

В таких условиях, для разрешения описанных выше противоречий предлагается концепция цифровой трансформации системы технического обслуживания и ремонта, основным компонентом которой является информационное пространство, получаемое за счет компьютеризации процессов сбора и обработки данных об отказах и штатных ситуациях, процессов выявления наиболее проблемных объектов, а также компьютеризации процессов по распределению ограниченных ресурсов на необходимый объем работ, при достижении допустимых уровней безопасности и требуемых уровней надежности.

Целью данной работы является поиск для информационного пространства механизмов ранжирования и арбитражирования потребностей, достаточных для обеспечения необходимого уровня надежности и безопасности транспортировки всевозрастающих пассажиропотоков.

В качестве объекта исследования примем эскалаторное хозяйство, а предметом – систему технического обслуживания и ремонта. Научной новизной, раскрывающейся в работе, является использование современных информационных технологий, содержащих сочетание математических инструментов, реализующих необходимый функционал, обеспечивающий цифровую трансформацию системы технического обслуживания и ремонта эскалаторного хозяйства метрополитена.

Объект применения, цели и задачи концепции

Объектом применения концепции является совокупность технических объектов и систем, а также технологических и бизнес процессов эскалаторного хозяйства.

Среди процессов, следует выделить базовые:

- содержание эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры;
- мониторинг и диагностирование;
- техническое воздействие;
- содержание оборудования структурных подразделений, обеспечение готовности и исправности средств для технического обслуживания и ремонта.

Трансформация вышеописанных базовых процессов позволит принимать тактические и стратегические решения в условиях недостатка информации для формирования бюджета с учетом имеющихся ресурсов.

Цели:

- повышение эффективности функционирования хозяйства посредством снижения стоимости эксплуатации за счет адаптивного управления перераспределением ограниченных ресурсов при достаточном уровне эксплуатационной надежности и допустимом уровне безопасности. Под адаптивным управлением понимаются формы и методы управления изменением параметров технического состояния в зависимости от изменения внутренних параметров эскалаторов и/или внешней среды, а также от изменений стратегических целей предприятия;

– изменение подходов к текущему содержанию, обслуживанию и ремонту эскалаторного хозяйства и связанных с ними объектов инфраструктуры.

Задачи:

- управление эксплуатацией всего парка через эксплуатационные показатели надеж-

ности, выраженные в единицах измерения объема выполненной работы каждым структурным подразделением;

– количественная оценка производственной деятельности подразделений с учетом отказов и результатов технического обслуживания и ремонта эскалаторов;

– контроль и сопоставление деятельности структурных подразделений в рамках хозяйства;

– оперативное решение вопросов обеспечения безопасности транспортировки пассажиропотоков;

– учет влияния человеческого фактора на технологические процессы;

– определение уязвимых объектов;

– увеличение назначенного срока службы объектов эскалаторного хозяйства до предельного состояния на основе экспертизы промышленной безопасности и оценки рисков, позволяющих перераспределять инвестиции на поддержание наиболее проблемных объектов.

Однако реализация концепции сталкивается с рядом сложностей:

– территориальное распределение эскалаторов по разным станционным выходам;

– закрепления парка за разными структурными подразделениями;

– необходимость совмещения в реальном времени сбора и обработки данных по отказам и моделирования надежности;

– большое разнообразие типов эскалаторов и различия режимов и условий эксплуатации;

– влияния на перевозимый пассажиропоток свойств безотказности и ремонтпригодности эскалаторов и интенсивности и скорости движения поездов между станциями, длительности задержек составов, а также ремонт эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры.

Архитектура и функции компьютеризированной системы

Архитектура, представленная на рис. 1, построена на основе древовидной структуры, разделенной на уровень дистанций (станционная инфраструктура), обеспечивающий оперативную работу структурных подразделений, и на уровень хозяйства (внестанционная инфраструктура), консолидирующий информацию от первого уровня [1].

Основным компонентом компьютеризированной системы выступает специализированное программное обеспечение, реализованное

с применением web-приложений, которые используются для сопряжения с программными модулями внешних систем, включая корпоративные базы данных. В качестве протокола информационного обмена между уровнями используется протокол SOAP, функционирующий на базе языка XML и в основном использующий транспортные протоколы HTTP, SMTP, FTP и TCP/IP.

Функции:

– получение и обработка информации об эскалаторах и связанных с ними объектов инфраструктуры;

– получение и обработка информации о текущем техническом состоянии эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры;

– формирование эталонной объектно-элементной структуры хозяйства;

– расчет показателей эксплуатационной надежности и безопасности и оценка рисков объектов хозяйства;

– формирование выходных форм и справок и др.

Среди вышеописанных, ключевыми являются функции, оперирующие надежностью и безопасностью транспортировки пассажиропотоков.

По этой причине следует отдельно отметить, что при расчете показателей надежности и безопасности транспортировки пассажиров на эскалаторе, как объекте повышенной опасности, приняты следующие допущения:

– отсутствие абсолютной надежности и безопасности – наличие остаточного риска после принятия защитных мер;

– обеспечение надежности и безопасности через уменьшение риска до допустимого уровня;

– остаточный риск не должен превышать допустимого уровня;

– оценка и корректировка допустимого уровня риска в зависимости от конкретных условий эксплуатации;

– минимизация уровня остаточного риска определяется исходя из имеющихся ресурсов;

– при принятии защитных мер приоритизация отдается рискам, связанным с жизнью и здоровьем людей, а также экологической безопасностью;

– управление стоимостью риска на основании результатов текущей и прогнозной оценок надежности и безопасности с учетом человеческого фактора.

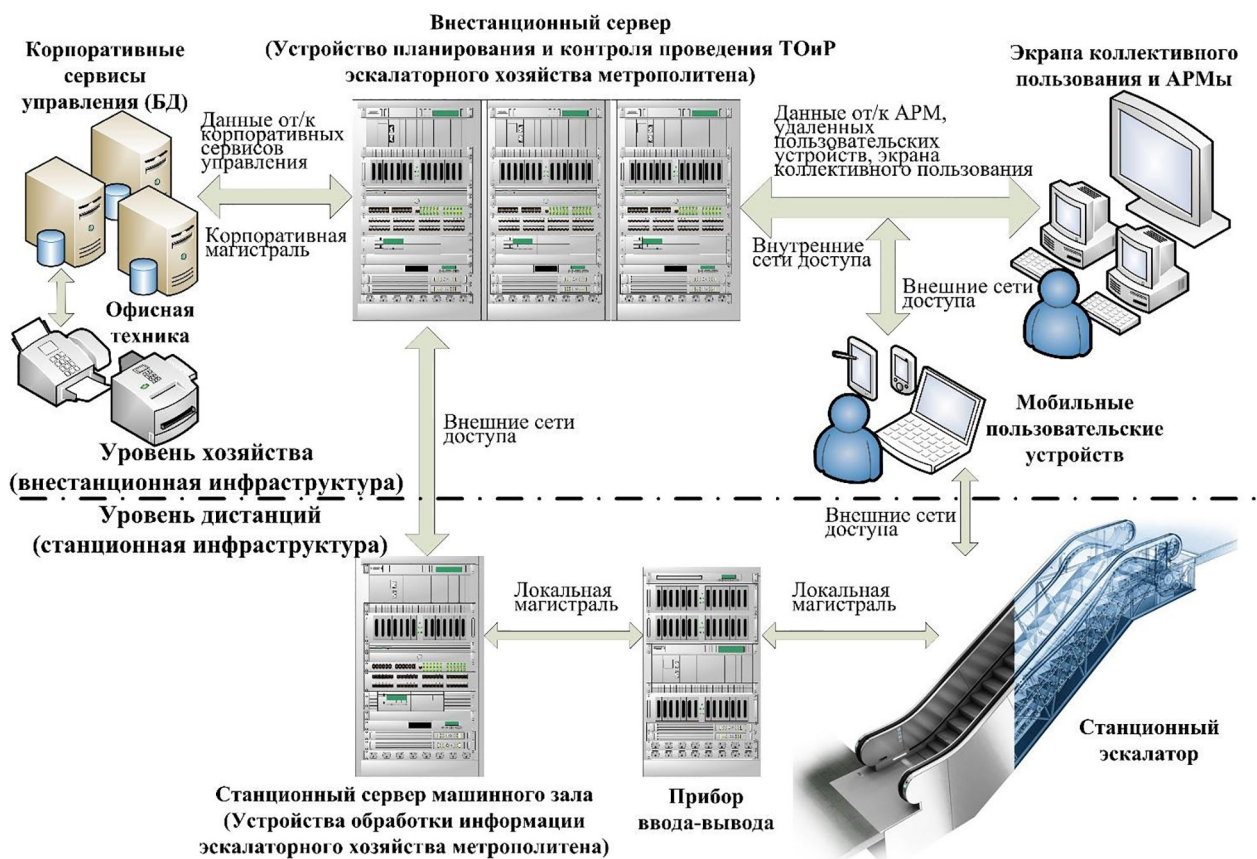


Рис. 1. Архитектура концепции

Fig. 1. Concept architecture

В свою очередь качественные и количественные показатели сопоставляются с характеристиками, представленными на рис. 2, свидетельствующим о надлежащем/ненадлежащем функционировании и безопасности, а также готовности к эксплуатации.

Согласно [2], риск воздействия техногенных опасностей находится в пределах от 10^{-7} до 10^{-6} (смертельных случаев 1 чел./год), максимально допустимый уровень индивидуального риска – 10^{-6} , а уровень пренебрежимо малого предела риска менее 10^{-8} (0,01 от максимально допустимого 10^{-6}).

Надежность и безопасность зависят от последствий отказов, их видов и времени необходимого для восстановления. При этом только некоторые отказы элементов эскалаторов, эксплуатируемых в границах допусков при определенных воздействиях, сказываются на надежности элементов эскалатора и безопасности транспортировки пассажиров.

Для разграничения видов отказов введены следующие их категории:

- отказ I категории приводит к задержке перемещения пассажиропотоков на 1 час и более

или приводит к нарушению безопасности перемещения пассажиров;

- отказ II категории приводит к задержке перемещения пассажиропотока от 6 минут до 1 часа, или приводят к ухудшению эксплуатационных показателей станции;

- отказ III категории не имеет последствий, относящихся к отказам I-ой и II-ой категории.

При отнесении отказа к одной из категорий учитываются задержки перемещения пассажиропотока на одном эскалаторе и/или на остальных эскалаторах конкретного станционного выхода, вызванные данным отказом.

Каждый фактор, воздействующий на надежность и безопасность конкретного элемента эскалатора, должен оцениваться с учетом критичности данного элемента для организации перевозочного процесса через управление рисками.

Управление рисками

Прежде чем описывать подходы к управлению рисками определим ситуации риска и их причинно-следственный комплекс.

Среди ситуаций риска (событий) выделим основные:

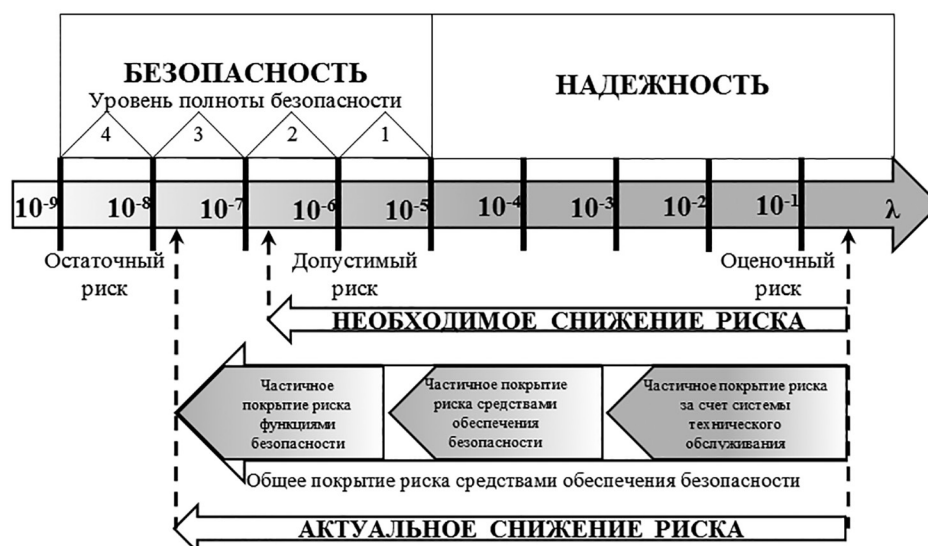


Рис. 2. Характеристики надежности и безопасности

Fig. 2. Reliability and safety characteristics

- неисправность и/или отказ эскалатора и/или связанного с ним объекта инфраструктуры;
- неконтролируемое скопление пассажиропотоков на станционных платформах, связанное с изменением интервала движения поездов;
- технологические нарушения при эксплуатации и техническом воздействии на эскалатор и/или связанные с ним объекты инфраструктуры;
- производственный и непроизводственный травматизм (персонал, пассажиров и др.);
- пожары, воспламенения и задымления;
- акты незаконного вмешательства и несанкционированного доступа к инфраструктуре.

В обобщенном случае вышеописанные события, оказывающие влияние на надежность элементов эскалатора и безопасность транспортировки пассажиропотоков, показаны на рис. 3. Изображенная на рис. 3 модель формирования события раскрывает причинно-следственный комплекс, связывающий последствия нарушения надежности и безопасности транспортировки пассажиров и их причины, среди которых выделены три основные группы: внешняя среда, надежность оборудования, сооружений и конструкций, а также уровень эксплуатации. По мнению авторов статьи, для обеспечения надежности и безопасности основное управляющее воздействие необходимо оказывать на причины, вызванные неисправностями и отказами, а также технологическими нарушениями при эксплуатации. Такое воздействие предлагается оказывать через работы (техническое воздействие) и оценку их качества.

Переходя непосредственно к управлению рисками следует отметить, что на текущий момент вопрос оценки и управления рисками освещен в ряде нормативных документов, используемых при эксплуатации, в том числе тоннельных эскалаторов метрополитена [3–5].

В других исследованиях проработаны теоретические основы управления рисками, в частности методы анализа и оценки рисков, разработаны стратегии управления рисками [6, 7].

Исходя из анализа вышеописанных материалов выделим основные задачи управления рисками эскалаторного хозяйства:

- достижение и поддержание допустимого уровня риска в рамках обеспечения надежности и безопасности;
- снижение вероятности происшествий (нештатных ситуаций);
- предотвращение и/или сокращение гибели и травматизма пассажиров;
- снижение ущерба имуществу и других потерь;
- предотвращение неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Сам процесс управления рисками строится на вычислении величины риска как произведение последствия события на вероятность его наступления. При этом получившийся результат соотносится со шкалами, приведенными в таблицах 1–3, и другой информацией, которая размещена в электронных документах [8], содержащих в том числе данные о работах (технических воздействиях).

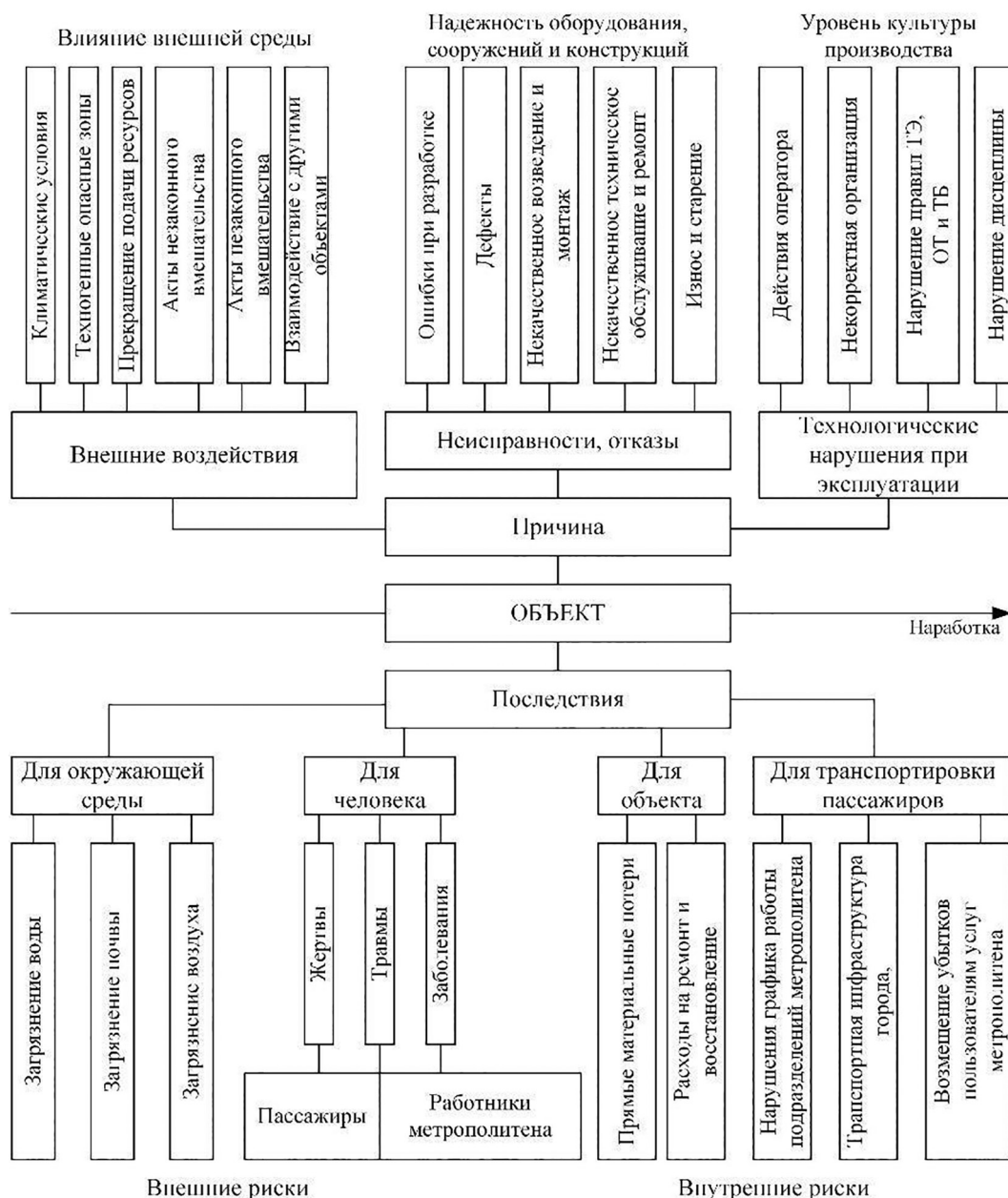


Рис. 3. Модель формирования ситуации риска

Fig. 3. Risk situation formation model

Риск наступления события оценивается исходя из экономического эквивалента угрозы и соответствующего ему в текущих условиях необходимого и достаточного объема затрат для предотвращения и/или уменьшения последствий события. Также вычисляется частота возникновения событий с учетом тяжести последствий. На основе полученных значений определяются возможные простои эскалаторов, вызванные событиями и техническими воздействиями, которые определяют объем перевозимого пассажиропотока по каждому станционному выходу за определенный промежуток

времени. Оценка влияния события и его последствий на объем перевозимого пассажиропотока, также основывается на вероятностных значениях оставшегося срока службы/остаточного ресурса определенных, в том числе в результате экспертизы промышленной безопасности [9] и значениях упущенной выгоды/экономического ущерба при различных вариантах технического воздействия (обслуживания, ремонта текущий/капитальный и пр.). Также вычисляется средняя оценка технического состояния эскалаторного хозяйства метрополитена, которая определяется как средневзвешенная дистанций.

Таблица 1

Шкала оценки работ (технических воздействий)

Table 1. Assessment scale of works (technical impacts)

Общая оценка	Баллы	Объем работ	Срок	Статус	Формальная оценка	Оценка по существу		
						Отклонение по объему	Отклонение по сроку	Отклонение по ресурсам
Выполненные работы (оценка результата)								
Отлично	0–25	100 %	В срок	Выполнены	Соответствует	Нет	Нет	До 3 %
Хорошо	25–50	100 %	В срок	Выполнены	Соответствует	Нет	Нет	До 5 %
Удовлетворительно	50–75	100 %	Не в срок	Выполнены	Соответствует	Нет	До 5 %	До 8 %
Неудовлетворительно	75–100	100 %	Не в срок	Выполнены	Соответствует	Нет	До 8 %	До 10 %
Невыполненные работы (оценка динамики исполнения относительно плана)								
Отлично	0–25	От 85 %	От 85 %	В работе	Частично соответствует	До 15 %	До 15 %	До 103 %
Хорошо	25–50	От 65 %	От 65 %	В работе	Частично соответствует	До 25 %	До 25 %	До 105 %
Удовлетворительно	50–75	От 45 %	От 45 %	В работе	Частично соответствует	До 55 %	До 55 %	До 108 %
Неудовлетворительно	75–100	Менее 45 %	Менее 45 %	В работе	Частично соответствует	Более 45 %	Более 45 %	До 110 %
Не ведутся	100	0 %	0 %	В плане	Не соответствует	Нет	Нет	Нет

Таблица 2

Шкала возникновения событий

Table 2. Event occurrence scale

Уровень	Интенсивность	Описание
Частое	Постоянно	Условия возникновения известны, и событие происходит за определенный интервал
Вероятное	Множественно	Условия возникновения известны, и событие происходит с установленной периодичностью за определенный интервал
Случайное	Неоднократно	Условия возникновения известны, и событие происходит с не установленной периодичностью за определенный интервал
Редкое	Иногда	Условия возникновения не известны, и событие произойдет с не установленной периодичностью за определенный интервал
Крайне редкое	При стечении исключительных обстоятельствах	Условия возникновения не известны, и событие произойдет с не установленной периодичностью за неопределенный интервал
Маловероятное	Как правило, не возникает при нормальных и исключительных обстоятельствах	Условия возникновения не известны, и событие возможно не произойдет за неопределенный интервал

Таблица 3

Шкала тяжести последствий событий

Table 3. Event severity scale

Уровень	Влияние					
	на человека	на объект эскалаторного хозяйства	длительность восстановления	на связанную инфраструктуру	длительность восстановления	на окружающую среду
Катастрофический	Гибель одного и более человек	Полностью разрушен, без возможности восстановления. Затраты на уровне создания нового объекта	Свыше 5 лет	Значительное разрушение несущих конструкций, полное разрушение ненесущих конструкций и большей части объектов	Свыше 5 лет	Возникновение чрезвычайной ситуации
Критический	Тяжелое повреждение здоровья	Значительное разрушение, с возможностью восстановления. Затраты на уровне реконструкции (модернизации)	Более года	Повреждения несущих конструкций, значительное разрушение ненесущих конструкций и части объектов	Более года	Значительный ущерб окружающей среде
Серьезный	Легкое повреждение здоровья	Значительные повреждения, повлекшие резкое снижение эксплуатационных характеристик с возможностью восстановления. Затраты на уровне ремонта	До года	Повреждения ненесущих конструкций и части объектов, несущие конструкции без повреждений	От нескольких недель до нескольких месяцев	Незначительный ущерб окружающей среде
Граничный	Отсутствует	Незначительные повреждения, повлекшие устойчивое отклонение эксплуатационных характеристик с возможностью восстановления. Затраты на уровне обслуживания	От нескольких дней до нескольких недель	Отсутствуют повреждения несущих и ненесущих конструкций, незначительные повреждения части объектов	До нескольких недель	Отсутствует
Незначительный	Отсутствует	Могут присутствовать незначительные повреждения, повлекшие отклонение эксплуатационных характеристик с возможностью восстановления. Затраты на уровне обслуживания	От нескольких часов до нескольких дней	Отсутствует	Не требуется	Отсутствует
Игнорируемый	Отсутствует	Отклонение эксплуатационных характеристик. Затраты не требуются	Не требуется	Отсутствует	Не требуется	Отсутствует

Математический аппарат управления рисками

В работах [10, 11] представлено описание причинно-следственных связей формируемых при эксплуатации эскалаторов, извлекаемых из анализа данных, заносимых в специальный документооборот. Вместе с тем другие источники [12–14] содержат описание методики оценки рисков.

При компиляции вышеописанных подходов получается следующий математический аппарат.

Пусть $S = \{s_1, \dots, s_n\}$ – множество неблагоприятных причин для выполнения работ (технического воздействия), описанных в наряде-допуске, при этом возможно наступление одновременно нескольких причин. Исходя из этого примем K – сочетание причин, $K \in S$. Если k_{ij} ($k_{ij} \in K$) соответствует Y_{ij} – следствию в количественном выражении, то $R_i = \sum Y_{ij} p_j(k_{ij})$ является величиной ожидаемого ущерба при выполнении комплекса технических воздействий (работ) E_i , описанных в библиотеке нарядов-допусков. При этом комплекс технических воздействий (работ) E_i без учета неблагоприятных следствий имеет полезность e_i , суммарный эффект которой определяется величиной G_i :

$$G_i = e_i - R_i$$

Для отбора множества эффективных работ используется выражение:

$$E = \{E_i : G_i > 0\}.$$

Оптимальным принимается комплекс работ E_i^* , для которого выполняется условие

$$G_i^* = \max G_i.$$

Множество допустимых вариантов комплекса работ может быть ограничено пределами риска при принятии управленческих решений для реализации стратегических и тактических задач в конкретных ресурсных условиях с учетом неопределенности.

Принятие управленческого решения в условиях неопределенности выполняется на основе:

1) инструмента предварительной оценки риска – построение матрицы эффектов, ущерба и риска;

2) Количественной оценки вариантов.

В таблице 4 приводится пример конфигурации матрицы. Строки матрицы соответствуют варианту комплекса работ E_i , а столбцы – причинам S_j , сформировавшим необходимость проведения работ. Каждой ячейке (E_i, S_j) соответствует значение целевой функции φ_{ij} , которое может быть положительным (эффект) или отрицательным (ущерб).

Нижняя итоговая строка содержит наибольшие для каждого столбца эффекты (φ_i)max, при этом количественная оценка риска для каждого i -го комплекса работ при j -ой причине вычисляется как разница между максимально эффективным и фактическим:

$$R_{ij} = (\varphi_i) \max - \varphi_{ij}.$$

Далее выполняется оценка риска исходя из наличия данных о вероятности отдельных причин и их достоверности.

В случае если известны вероятности возникновения j -ой причины, полученные в результате анализа статистических данных (P_j), то для комплекса работ определяют математическое ожидание значения целевой функции:

$$\delta_i = \sum_j P_j \cdot \varphi_{ij}.$$

Таблица 4

Матрица эффектов, ущерба и рисков

Table 4. Effects, damage and risks matrix

Ситуация Вариант	S_1	...	S_j	...	S_n	$(\varphi_i) \min$	$(\varphi_i) \max$	$(r_i) \max$
E_1	φ_{11}	...	φ_{1j}	...	φ_{1n}			
...					
E_i	φ_{i1}		φ_{ij}	...	φ_{in}			
...			
E_m	φ_{m1}		φ_{mj}	...	φ_{mn}			
$(\varphi_j) \max$								

В результате выбирается комплекс работ E_j , с максимальным значением математического ожидания целевой функции, при этом математическое ожидание риска окажется минимальным:

$$r_i = \sum_j P_j \cdot r_j \rightarrow \min.$$

В случае, если отсутствуют статистические данные P_j , выполняется экспертная оценка вероятности возникновения причины с использованием трех нечетких значений: оптимистичное, пессимистичное и реалистичное из соответствующих интервалов значений. С учетом допущения полученные нечеткие оценки приближенно соответствуют средневероятным значениям E_j^c , которые при биномиальном распределении рассчитываются по формуле:

$$E_j^c = 1/6 [(E_j)_{\min} + 4(E_j)_{\max}].$$

При невозможности определить достоверные оценки вероятности отдельных причин решение принимает персонал исходя из опасности риска и осторожности.

Рассмотрим стратегию принятия управленческого решения на основе критерия гарантированного эффекта (критерий Вальда), при которой в каждой строке матрицы выбирается минимальный эффект $(\varphi_i)_{\min}$ и лучшим считается комплекс работ, для которого минимальный (гарантированный) эффект является наибольшим. Математический аппарат стратегии представлен выражением:

$$R_v = \max_i \max_j \varphi_{ij}.$$

Другая стратегия принятия управленческого решения строится на основе наименьшего возможного риска (критерий Сэвиджа), при которой в каждой строке матрицы выбирается $(r_i)_{\max}$, а лучшим считается комплекс работ, при котором этот максимальный риск оказывается наименьшим. Математический аппарат стратегии представлен выражением:

$$R_s = \max_i \max_j r_{ij}.$$

Сочетание вышеописанных стратегий (критерий Гурвица) в заданной пропорции включает осторожность и склонность к риску. Математический аппарат стратегии представлен выражением:

$$R_G = \max_i [\alpha \min_j \varphi_{ij} + (1 - \alpha) \max_j \varphi_{ij}].$$

Обобщая вышеописанные стратегии следует отметить, что оценка риска выполняется

на основе вероятностных характеристик, при этом рассчитанную величину риска сравнивают с заданными уровнями риска. Согласно рисунку 2, полученные оценки уровня риска соотносят с допустимым уровнем или несколькими заданными уровнями риска, которые определяются на основе допустимого уровня риска, при этом допустимый уровень риска определяется критериями приемлемого риска.

Заключение

Предлагаемая концепция цифровой трансформации включает методику повышения долговечности, надежности и безопасности эксплуатации эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры метрополитена, реализация которой обеспечивает поддержку принятия управленческих решений при дефиците ресурсов, включая информацию для формирования комплекса работ, в первую очередь для наиболее проблемных элементов, обеспечивая таким образом надежную работу инфраструктуры и безопасность транспортировки пассажиров, а также позволяет перевести эксплуатацию элементов эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры на систему по состоянию, способствующую обоснованному увеличению назначенных сроков службы с сохранением достаточных уровней безопасности.

Среди ожидаемых практических результатов внедрения предлагаемой концепции, содержащей вышеописанные механизмы оценки рисков формируемого комплекса работ, выделим следующее.

Для эскалаторного хозяйства в целом:

- обоснование изменения условий эксплуатации и планирования нового строительства, реконструкции или модернизации;
- установление часто отказывающих элементов эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры за определенный период/наработку;
- оценка эффективности назначения видов технического воздействия;
- установление элементов эскалатора и связанных с ними объектов инфраструктуры определенного типа с наименьшей наработкой до/между отказа(ми);
- расчет расходования нормативной наработки за назначенный срок службы;
- определение возможности продления назначенного срока службы, в том числе через экспертизу промышленной безопасности;

– оценка вооруженности и кадрового состава структурных подразделений;

– оценка влияния отказов элементов эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры и оперативности их устранения на транспортировку пассажиропотоков;

– установление наиболее опасных элементов эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры;

– сравнительная оценка эффективности работы структурных подразделений, для обоснованного решения по мотивации персонала.

Для структурных подразделений дополнительно к вышеперечисленным выделяются:

– рациональное назначение соответствующих видов ремонтов на конкретном станционном выходе;

– оценка технического содержания группы станционных эскалаторов;

– сравнительная оценка эффективности деятельности бригад и участков;

– ранжирование элементов эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры для включения в перечень технического воздействия на каждом станционном выходе.

В заключении следует отметить, что применяемый в данной работе механизм управления рисками предлагается использовать в качестве решающего критерия при распределении ограниченных ресурсов между структурными подразделениями, что он является процессом, направленным на снижение вероятности возникновения неблагоприятных причин и минимизацию следствий, вызванных реализацией риска.

Литература

1. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Информационный комплекс оперативного мониторинга состояния эскалатора // Инновационные внедрения в области технических наук. Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. № 5 (Москва, 25 января 2020 г.). НН: Арел, 2020. С. 10–16.
2. Брабанд Й., Шебе Х. Коллективный риск, индивидуальный риск и их зависимость от времени // Надежность. 2011. № 4. С. 69–77.
3. ГОСТ Р 53387-2009. (ИСО/ТС 14798:2006). Лифты, эскалаторы и пассажирские конвейеры. Методология анализа и снижения риска». М.: Изд-во Стандартиформ, 2010. 37 с.
4. О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты правительства Российской Федерации: постановление правительства РФ от 17.08.2016 г. № 806: (редакция от 20.03.2021). – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электронный.
5. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ: (редакция от 08.12.2020). – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электронный.
6. Костерев В.В. Надежность технических систем и управление риском: учебное пособие. М.:МИФИ. 2008. 280 с.
7. Roeser S. Handbook of Risk Theory. Epistemology, decision theory, ethics, and social Implications of risk / S. Roeser, R. Hillerbrand, M. Peterson. (v. 1–2): Springer New-York, 2012. – 1165 p.
8. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Механизмы управления ресурсами // Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения. Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. № 7 (Екатеринбург, 11 марта 2020 г.): НН: Изд-во Арел, 2020. С. 19–26.
9. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности эскалаторов в метрополитенах»: приказ Ростехнадзора от 03.12.2020 № 488: (редакция от 23.12.2020). – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электронный.
10. Попов В.А., Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Прогнозирование технического состояния эскалатора // Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения. Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. № 7 (Санкт-Петербург, 10-12 ноября 2020 г.). СПб.: Изд-во ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. С. 19–26.
11. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Алгоритм прогнозирования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 2. С. 32–41.
12. Замышляев А.М. Автоматизация процессов комплексного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта: дис. ... док, техн. наук. М., 2013. 340 с.
13. Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Построение и использование матриц рисков в системе управления рисками на желез-

нодорожном транспорте // Надежность, 2011. № 4. С. 56–68.

14. Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН // Надежность, 2013. № 1. С. 3–11.

References

1. Yelantsev V.V. Increasing the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Information complex for operational monitoring of the escalator condition. Informatsionnyy kompleks operativnogo monitoringa sostoyaniya eskalatora. Innovatsionnyye vnedreniya v oblasti tekhnicheskikh nauk. Sb. nauch. tr. po itogam mezhdunar. nauch.-prakt. konf. No 5 (Moscow, 25 yanvarya 2020 g.) [Innovative implementations in the field of technical sciences. Collection of scientific papers according to the results of the 5th international scientific-practical conf. (Moscow, January 25th, 2020). NN: Areal Publ., 2020, pp. 10–16 (in Russ.).
2. Braband Y. Shebe Kh. Collective risk, individual risk and their dependence on time. Nadezhnost'. 2011. No 4, pp. 69–77 (in Russ.).
3. GOST R 53387-2009. (ISO/TS 14798:2006). Lifty, eskalatory i passazhirskiye konveyery. Metodologiya analiza i snizheniya riska [Elevators, escalators and passenger conveyors. Methodology of analysis and risk reduction]. Moscow: Izd-vo Standartinform Publ., 2010. 37 p.
4. O primeneniі risk-oriyentirovannogo podkhoda pri organizatsii otдел'nykh vidov gosudarstvennogo kontrolya (nadzora) i vnesenii izmeneniy v nekotoryye akty pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii [The application of a risk-based approach when organizing certain types of state control (supervision) and amending some acts of the government of the Russian Federation]: postanovleniye pravitel'stva RF ot 17.08.2016 g. No 806: (redaktsiya ot 20.03.2021). – Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy Konsul'tantPlyus. – Tekst: elektronnyy.
5. O promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'yektov [Industrial safety of hazardous production facilities]: federal'nyy zakon ot 21.07.1997 No 116-FZ: (redaktsiya ot 08.12.2020). – Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy Konsul'tantPlyus. – Tekst: elektronnyy.
6. Kosterev V.V. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i upravleniye riskom [Reliability of technical systems and risk management]: uchebnoye posobiye. Moscow: MIFI Publ., 2008. 280 p.
7. Roeser S. Handbook of Risk Theory. Epistemology, decision theory, ethics, and social Implications of risk / S. Roe-ser, R. Hillerbrand, M. Peterson. (v. 1–2): Springer New-York, 2012. – 1165 p.
8. Yelantsev V.V. Increasing the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Resource management mechanisms. Voprosy sovremennykh tekhnicheskikh nauk: svezhiy vzglyad i novyye resheniya. Sb. nauch. tr. po itogam mezhdunar. nauch.-prakt. konf. No 7 (Ekaterinburg, 11 marta 2020 g.) [Issues of modern technical sciences: a fresh look and new solutions. Collection of scientific works on the results of the international scientific-practical conf. No. 7 (Yekaterinburg, March 11, 2020)]: NN: Izd-vo Areal Publ., 2020, pp. 19–26 (in Russ.).
9. Ob utverzhdenii federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti eskalatorov v metropolitenaKH» [approval of federal norms and rules in the field of industrial safety “Safety rules for escalators in underground”]: prikaz Rostekhnadzora ot 03.12.2020 No 488: (redaktsiya ot 23.12.2020). – Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy Konsul'tantPlyus. – Tekst: elektronnyy.
10. Popov V.A., Yelantsev V.V. Increasing the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Predicting the technical condition of the escalator. Voprosy sovremennykh tekhnicheskikh nauk: svezhiy vzglyad i novyye resheniya. Sb. nauch. tr. po itogam mezhdunar. nauch.-prakt. konf. No 7 (Sankt-Peterburg, 10-12 noyabrya 2020 g.) [Issues of modern technical sciences: a fresh look and new solutions. Collection of scientific works on the results of the international scientific-practical conf. No. 7 (Saint Petersburg, November 10–12, 2020)]. SPb.: Izd-vo FGBOU VO PGUPS Publ., 2020, pp. 19–26 (in Russ.).
11. Yelantsev V.V. Increasing the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Forecasting algorithm. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2021. No 2, pp. 32–41 (in Russ.).
12. Zamyshlyayev A.M. Avtomatizatsiya protsessov kompleksnogo upravleniya tekhnicheskim sodержaniyem infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta: dis. ... dok, tekhn. nauk [Automation of integrated management of the technical maintenance of railway infrastructure: Dissertation for Degree of DSc in Engineering]. Moscow, 2013. 340 p.
13. Gapanovich V.A., Shubinskiy I.B., Zamyshlyayev A.M. Construction and use of risk matrices in the system of risk management in railway transport. Nadezhnost', 2011. No 4, pp. 56–68 (in Russ.).
14. Gapanovich V.A., Shubinskiy I.B., Zamyshlyayev A.M. Mathematical and information support of the URRAN system (resource management, risk management and reliability analysis). Nadezhnost', 2013. No 1, pp. 3–11 (in Russ.).

INCREASING THE EFFICIENCY AND SAFETY OF OPERATION OF UNDERGROUND TUNNEL ESCALATORS. MANAGEMENT OF RISKS

PhD in Engineering **V.A. Popov, V.V. Yelantsev**
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia
ew3012@gmail.com

The purpose of the article is to find mechanisms for ranking and arbitrating needs (a set of technical actions) sufficient to ensure the required level of reliability and safety of transportation of increasing passenger traffic. The object of the research is the escalator facilities, and the subject is the system of maintenance and repair. Scientific novelty is the use of information technologies containing a combination of mathematical tools that implement the necessary functionality for the digital transformation of the system of maintenance and repair of the escalator facilities of the underground. At the beginning of the article, the object of application, the goal and objectives of the concept of digital transformation, its architecture and functions, as well as implementation features are described. Further, the work focuses on maintaining the reliability and safety of transportation of passenger traffic as the main functions of the concept. Then there are presented the situations of risk (events) and a generalized model of their formation, revealing the cause-and-effect complex. After that, the tasks and the risk management process itself are shown. These are based on determining the magnitude of risk, which initial data are extracted from the information space containing electronic documents, including data on work (technical impacts), and the result is correlated with various scales. In addition, the mathematical apparatus of risk management includes matrices, which are used by decision support strategies. The mathematical apparatus described in the work implements a mechanism for ranking and arbitrating needs (a set of technical actions), which, in turn, is an integral part of the methodology for increasing the durability, reliability and safety of operation of escalators and associated infrastructure. The presented concept allows, in case of a shortage of resources, to form a complex of impacts for the most problematic elements, and to transfer the operation of escalator elements and related infrastructure facilities to a system according to the state that contributes to a reasonable increase in the assigned service life while maintaining sufficient safety levels. In conclusion, the expected practical results of the implementation of the concept are presented.

Keywords: escalator, risk management, digital transformation, resource approach, technical condition, technical impact.

Cite as: Popov V.A., Yelantsev V.V. Increasing the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Management of risks. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 3 (49), pp. 10–22 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-10-22