

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

К.Т.Н. Попов В.А., Еланцев В.В.

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I
ew3012@gmail.com

Метрополитены Москвы и Санкт-Петербурга старейшие в России. Инфраструктурный комплекс каждого из них имеет в своем составе разнородные парки техники. Парк подвижного состава в последнее десятилетие преимущественно обновился, в то время как из-за особенностей эксплуатации и в основном по финансовым причинам эскалаторный парк еще долгое время не будет заменен. В связи с чем основной задачей подразделений, отвечающих за эксплуатацию эскалаторов, является поддержание в исправном состоянии интенсивно стареющего парка. Таким образом, формируется ситуация, при которой эскалаторное хозяйство является источником затрат для удовлетворения постоянно возрастающей потребности в ресурсах. Вместе с тем ограниченность выделения всех видов ресурсов только усугубляет сложившуюся ситуацию.

Вышеперечисленные обстоятельства способствуют актуализации вопроса подбора инструментария, позволяющего повысить эффективность и безопасность эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. По мнению авторов работы, одним из таких инструментов может стать прогнозирование технического состояния элементов подсистем эскалатора, выполненное на основе специальной маршрутизации информационных потоков, предназначенной для оптимального распределения выделяемых ресурсов.

Так как эскалатор – это сложный технический объект повышенной опасности, то для него маршрутизация информационных потоков, характеризующих его техническое состояние, возможна только на основе предварительной декомпозиции на информационные уровни.

По этой причине начало статьи посвящено декомпозиции технического состояния эскалатора на четыре информационных уровня, охватывающих все аспекты технического состояния от микроуровня состояния материалов, из которых изготовлены элементы подсистем эскалатора, до функционального состояния всего эскалатора. В дальнейшем раскрывается цель работы, которая состоит в описании общей математической модели прогнозирования технического состояния элементов подсистем эскалатора и требований к ее построению. Также в работе описывается основная задача, которую решает предложенная прогнозная модель. В заключении рассматриваются варианты использования предложенной модели.

Научная новизна данного подхода заключается в использовании современного математического аппарата теории нечетких множеств для обработки параметрической информации, элементов искусственного интеллекта, а также прецедентного подхода при анализе эксплуатационной ситуации, которые в своем сочетании необходимы для построения прогнозной модели технического состояния в приложении к эскалаторному хозяйству метрополитена.

С практической точки зрения следует отметить, что предложенная математическая модель, реализованная на основе современных информационных технологий, позволит более рационально настроить механизмы распределения выделяемых ресурсов, обеспечивая при этом необходимый уровень безопасности транспортировки пассажиров.

Ключевые слова: эскалатор, прогнозирование, техническое обслуживание и ремонт, прецедент, нейронная сеть, техническое состояние.

Для цитирования: Попов В.А., Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Модель прогнозирования // Известия МГТУ «МАМИ». 2021. № 1 (47). С. 12–22. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-12-22.

Введение

Как отмечается в [1], метрополитен играет ключевую роль среди городской транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга. Одним из основных компонентов инфраструктурного комплекса ГУП «Петербургский метрополитен» является эскалаторное хозяйство.

Эскалатор – это машина непрерывного транспорта, являющаяся восстанавливаемым объектом повышенной опасности, к эксплуатации которого предъявляются повышенные требования по объему и периодичности проводимых ремонтно-ревизионных мероприятий.

За более чем 50-ти летнюю историю эксплуатации в состав эскалаторного парка Ленинградского (Петербургского) метрополитена введено около 300 единиц эскалаторов разных типов. Большая часть эскалаторного парка была сформирована в период с 1955 по 1991 годы XX века, что сформировало определенные особенности его эксплуатации. Так, в эксплуатационных документах [2] и [3] формализованы такие особенности эксплуатации эскалаторного парка, как жесткая регламентация объемов и периодичности проводимых ремонтно-ревизионных мероприятий.

В работе [3] показано, что на текущий момент доминирующей стратегией технического обслуживания и ремонта является стратегия планово-предупредительных работ, имеющая свои достоинства и недостатки.

Согласно доминирующей стратегии, для обеспечения безопасной транспортировки пассажиров с наземных вестибюлей на подземные станционные платформы и обратно преимущественное большинство единиц интенсивно стареющего эскалаторного парка было подвергнуто многократному восстановительному техническому воздействию в объеме капитального ремонта.

Однако каждое техническое воздействие, направленное на поддержание или восстановление рабочей функции эскалатора, требует определенного объема разнородных ресурсов. В соответствии с работой [4], наиболее затратным, с точки зрения использования как трудовых, так материальных и финансовых ресурсов является ремонтное воздействие, в особенности работы по капитальному ремонту.

Актуальность настоящей работы обусловлена текущими экономическими реалиями, сопряженными с дефицитом всех видов ресур-

сов и требующими от эксплуатирующих организаций совершенствования ранее созданных систем технического обслуживания и ремонта сложных технических объектов повышенной опасности.

В качестве развития ранее сформированной стратегии технического обслуживания и ремонта достойной для своего этапа развития науки и техники в работе [5] предлагается современный подход, в основе которого лежат информационное пространство и элементы искусственного интеллекта.

Внедрение информационного пространства способствует более эффективной маршрутизации имеющихся информационных потоков, циркулирующих от элементов подсистем эскалатора к оператору и обратно, а также формированию возможности построения прогноза технического состояния в будущий момент времени.

Цель данной работы заключается в формировании общей прогнозной модели технического состояния элементов подсистем эскалатора и постановке основной задачи решаемой прогнозной модели с учетом предложенного в работе [6] инструментария.

Базис построения прогнозной модели

Как отмечалось выше, на основе имеющихся возможностей современных информационных технологий в качестве одного из компонентов, способствующих повышению эффективности и безопасности эксплуатации стареющего эскалаторного парка Петербургского метрополитена, предлагается использовать прогнозирование технического состояния.

Если особенности структуры эскалатора и его значимость как компонента инфраструктуры метрополитена и городского общественного транспортного комплекса, построение прогноза его технического состояния возможно только после декомпозиции на составные части (информационные уровни).

Первый (деградационные процессы) и второй (физические состояния) информационные уровни отражают физико-химические процессы, происходящие в материалах и параметры изменения свойств материалов, ими обусловленных. Параметры физико-химических процессов описывают механизмы и кинетику деградационных процессов, а параметры изменения свойств характеризуют изменение

состояния материала объекта на субмикромикроуровнях.

Третий и четвертый уровни, соответственно, характеризуют технические параметры рассматриваемого объекта, и функциональные состояния, и параметры работоспособности/неработоспособности объекта.

На рис. 1 и 2 приведена декомпозиция технического состояния [7] эскалаторного парка. Анализ предложенной декомпозиции позволяет выделить основные причинно-следственные комплексы динамики технического состояния, необходимые для построения прогноза.

Под техническим состоянием эскалатора будем понимать совокупность изменяющихся в процессе эксплуатации свойств подсистем и элементов эскалатора, которые характеризуются в фиксированный момент времени признаками (параметрами), установленными технической и ремонтно-эксплуатационной документацией [8].

Свойства элементов определяются конструкцией, принципом действия, технологией изготовления, используемыми материалами и другими эксплуатационными факторами. Внутренние свойства элементов эскалатора в значительной степени зависят от внешних воздействий на эти элементы.

Перечень параметров, пригодных для построения прогноза, и их классификация приведены в работе [9]. Некоторые из указанных параметров (признаков) и их сочетаний могут непосредственно свидетельствовать о возможном наступлении неисправностей элементов эскалатора.

В качестве прогнозирования технического состояния эскалатора будем понимать построение многомерной прогнозной модели технического состояния на предстоящий интервал времени, содержащей множество внутренних и внешних переменных прогнозирования, в комплексе отражающих свойства элементов и подсистем эскалатора, а также влияние совокупности факторов эксплуатации.

Вместе с тем задача построения прогноза осложнена многовариантностью, вызванной неопределенностью воздействия внешних и внутренних свойств и факторов в будущем и отсутствием информации об их взаимовлиянии, что затрудняет построение алгоритма, в полной мере учитывающего теоретические и эмпирические данные.

Модель прогнозирования представляет собой специализированное описание исследу-

емого процесса для получения значений параметров в будущий момент времени.

За основу построения общей модели прогнозирования предлагается взять понятие прецедента, описанного в работе [10].

В рамках данной работы под прецедентом будем понимать ситуацию, случившуюся в прошлом и являющуюся трафаретом для наложения на ситуации, происходящие в текущий момент времени, для их идентификации из общего множества. Предлагаемый подход позволяет одновременно фиксировать комплекс параметров, учитывающих как внешние, так и внутренние свойства, и факторы, описывающие ситуацию в целом.

Согласно предлагаемому подходу, для эффективного управления и использования все описанные ситуации-трафареты заносятся в библиотеку. При наступлении идентичной ситуации, информация о которой уже хранится в библиотеке, используется готовый трафарет. При наступлении ситуации, отличной от хранящейся в библиотеке, подбирается набор трафаретов схожих с ситуацией, для которой необходимо принять управленческое решение. Из подобранных трафаретов на основе применяемого алгоритма измерения сходства отбирается один, который с учетом частичного совпадения условий при необходимости адаптируется к текущей ситуации. В случае успешного применения адаптированного трафарета он добавляется в библиотеку и в дальнейшем используется для текущих и новых ситуаций. Длительное использование библиотеки способствует подбору оптимальных режимов эксплуатации.

В дополнение к описанному выше подходу предлагается использовать инструментарий нейросетевой обработки информации, базирующийся на пространственной экстраполяции большого массива разнородной информации.

В комплексе с нейросетевым инструментарием элементами нечеткой логики в части интерпретации результатов анализа параметрической информации предлагаемая модель прогнозирования создает базу для изменения всей концепции управления эксплуатацией эскалаторного хозяйства, основной задачей которой становится системная диверсификация стратегий технического обслуживания и ремонта, а также своевременное и достаточное планирование программы ремонтно-ревизионного воздействия на элементы подсистем эскалатора.

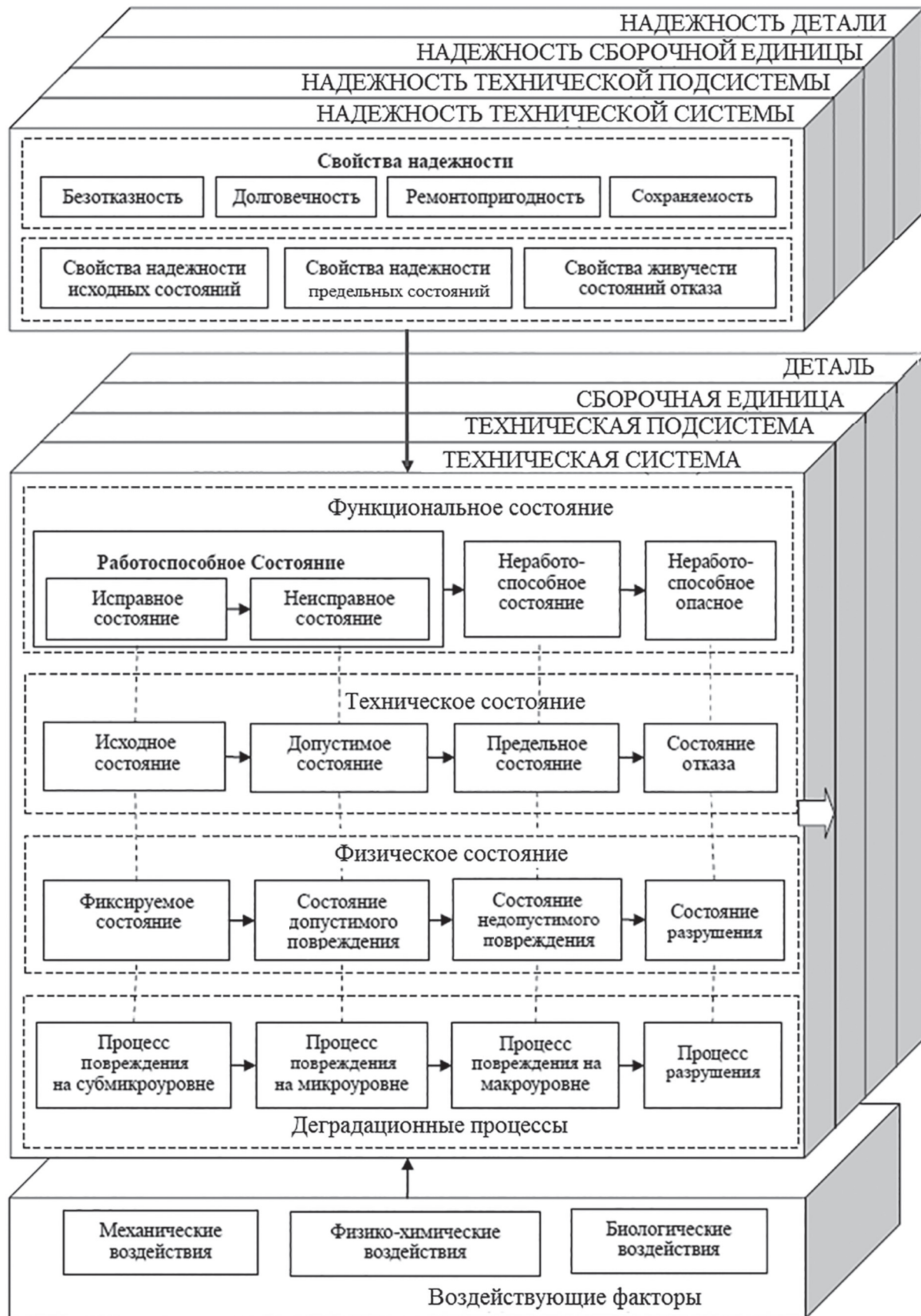


Рис. 1. Декомпозиция технического состояния по информационным уровням

Fig. 1. Decomposition of technical condition by information levels

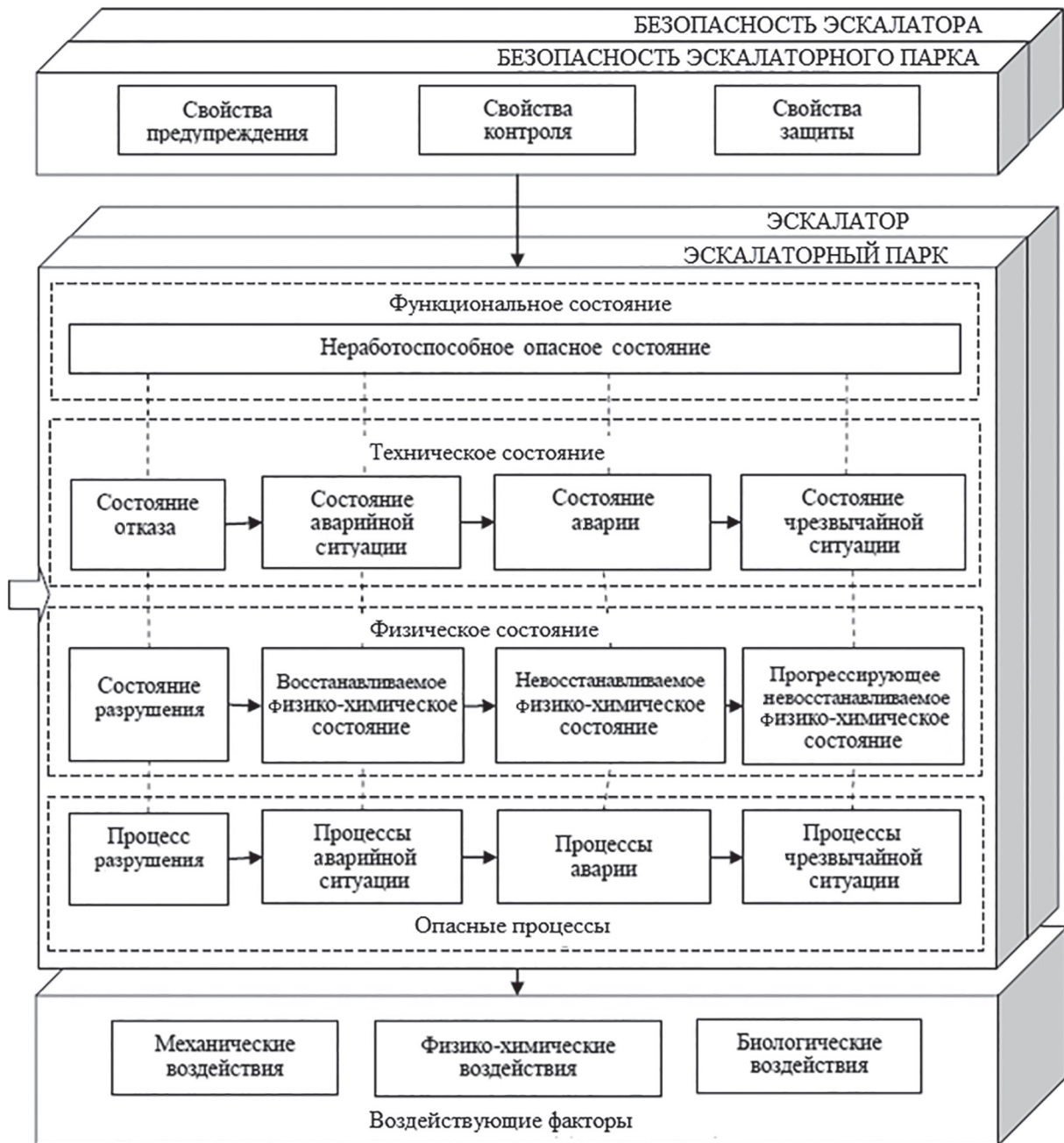


Рис. 2. Причинно-следственный комплекс технического состояния

Fig. 2. Causal complex of technical condition

Общая модель прогнозирования

С учетом работы [11] представим прогнозную модель в форме создания причинно-следственных связей из множества данных, полученных в результате испытаний, проверок и эксплуатационно-технической документации, характеризующих причины и следствия ситуаций, подобных той, в которой необходимо построить прогноз.

В процессе построения прогноза на основе оценки степени подобия, характеризующей

относительное количество совпадений определенных характеристик рассматриваемых ситуаций, делается предположение о наличии сходства по ряду параметров между двумя наблюдаемыми процессами.

В соответствии с концепцией информационного пространства, в том числе реализованной наряду с допусками и их библиотеками, предложенной в работе [12] большинство процессов (экзогенных/эндогенных), протекающих при эксплуатации эскалатора, описыва-

ются объединением подмножеств причин $\{X\}$ и следствий $\{Y\}$:

$$\{S\} = \{X\} \cdot \{Y\}, \quad (1)$$

где $\{S\}$ – множество ситуаций; $\{X\}$ – подмножество причин; $\{Y\}$ – подмножество следствий.

Представленные подмножества отличаются друг от друга временем свершения.

Информационный массив, описывающий множества наблюдений и являющийся базой построения прогнозов, представим в виде:

$$\{\text{НД}\} = \bigcup_{i=1}^N \{S\}_i, \quad (2)$$

где $\{\text{НД}\}$ – множество нарядов-допусков – библиотека; N – количество ситуаций аналогичных ранее наблюдаемой, следствия которой необходимо спрогнозировать.

Для дальнейшего использования библиотеку нарядов-допусков запишем в векторной форме:

$$\text{БНД} = \langle X, Y^{i+1} \rangle = \langle Y_i^t, Z_i, K_i, Y_i^{t+1}, i = 1, \dots, N \rangle, \quad (3)$$

где $X = [Y^t, Z, K]$ – вектор причин предполагаемого состояния элементов подсистем эскалатора; $Y_i^t = [y_1^t, \dots, y_n^t]$ – вектор текущих значений контролируемых параметров (исходных данных), описывающих состояние конкретного эскалатора/типового представителя из конкретной группы эскалаторов; $Z_i = [z_1, \dots, z_m]$ – вектор факторов прогнозного фона текущей ситуации (интегральный (средневзвешенный) показатель прогнозного фона предшествующего периода (ситуаций)); $K_i = [k_1, \dots, k_l]$ – вектор воздействий (ремонтных и управляющих) на элементы эскалатора в конкретной зафиксированной ситуации (интегральный (средневзвешенный) показатель воздействий предшествующего периода); $Y_i^{t+1} = [y_1^{t+1}, \dots, y_n^{t+1}]$ – вектор выходных параметров элементов подсистем эскалатора (следствия в i -ой зафиксированной ситуации).

Каждый наряд-допуск представляет собой множество ситуаций S , описанных векторами Y, Z и K , которые являются фрагментами накопленных знаний, приобретенных в результате имеющегося эксплуатационного опыта системы прогнозирования.

Для оптимального представления информации, описанной в наряде-допуске, (2) используем форму, приведенную в таблице. Для наглядности данный подход также можно представить в виде диаграммы на рис. 3.

Таблица

Представление модели прогнозирования

Table. Forecasting model representation

Ситуация S	Причина			Следствие
	Y^t	Z	K	Y^{t+1}
S_1	Y_1^t	Z_1	K_1	Y_1^{t+1}
...
S_i	Y_i^t	Z_i	K_i	Y_i^{t+1}
S_{i+1}	Y_{i+1}^t	Z_{i+1}	K_{i+1}	Y_{i+1}^{t+1}
...
S_N	Y_N^t	Z_N	K_N	Y_N^{t+1}

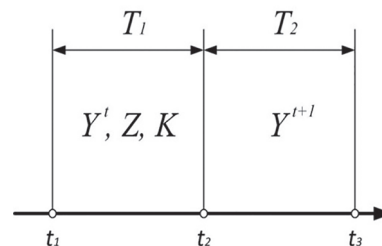


Рис. 3. Диаграмма прогнозирования

Fig. 3. Forecasting chart

На рис. 3 интервал $T_1 = [t_1; t_2]$ является основой прогноза, в пределах которого значения компонента векторов Y, Z и K могут быть получены в момент измерения интегрально или дискретно. Временной интервал $T_2 = [t_2; t_3]$ является периодом упреждения прогноза. В момент $t_3 \in T_2$ предполагается получение прогнозных характеристик. Характеристики диаграммы (длительность интервалов T_1 и T_2 и др.) зависят от требований к параметрам прогноза и особенностей постановки задачи прогнозирования.

Постановка задачи прогнозной модели

Опишем задачу прогнозной модели технического состояния элементов подсистем эскалатора как оценку вектора следствий Y_{N+1}^{t+1} по данным векторов Y_{N+1}^t, Z_{N+1} и K_{N+1} , отражающих причины и содержащихся в библиотеке и наряде-допуске. Исходя из этого формализуем задачу построения прогнозной модели в следующем виде:

Исходные данные:

- 1) множество ситуаций $\{S\}_{i=1}^N$, упорядоченных нарядом-допуском;

2) дополнительная информация из библиотеки D к наряду-допуску;

3) совокупность векторов $X_i, i \in D$, описывающих причину наблюдаемой ситуации;

4) множество структур прогнозной модели $\Theta = \{\xi\}_{q=1}^Q$;

5) множество значений параметров прогнозной модели $\Psi = \{v\}_{r=1}^{\alpha}$;

6) ограничение снизу ε на абсолютную величину показателя G правильного прогноза вектора следствий Y_{N+1}^{t+1} на множестве D из библиотеки;

7) ограничение сверху δ на относительную погрешность H восстановления следствия Y^{t+1} ситуаций S ;

8) максимально допустимая относительная погрешность e' восстановления функционального параметра y ;

9) максимально допустимая относительная погрешность e° прогнозирования функционального параметра y .

Множество допустимых структур Θ и параметров прогнозной модели Ψ определяется экспертно.

Результат

В качестве результата необходимо получить прогнозную модель P , описанную структурой ζ и множеством параметров $\{V\}$, способную соотносить множества причин $\{X\}_{i=1}^N$ и множества следствий $\{Y^{t+1}\}_{i=1}^N$ с заданной погрешностью H :

$$H = \left| Y_i^{t+1} - P(Z_i, K_i, Y_i^t) \right| = \frac{1}{n} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N h_j^i \leq \delta, \quad (4)$$

удовлетворяющую условию:

$$\begin{cases} G \geq \varepsilon \\ G = \max \{G_k\}, \end{cases} \quad (5)$$

где k – количество синтезированных прогнозных моделей, удовлетворяющих условию (4); h – относительное количество совпадений признаков вектора Y_i , наряда-допуска НД и восстановленного вектора $(Y_i^{t+1}) = P(X_i), i = 1, \dots, N$ относительно длительности формирования наряда-допуска:

$$h = \begin{cases} 0, & \text{при } \Delta y > e' \\ 1, & \text{при } \Delta y' \leq e', \end{cases} \quad (6)$$

где n – размерность вектора параметров технического состояния элементов подсистем эскалатора; N – количество примеров наряда-допуска; $\Delta y = \frac{|y - y'|}{y}$ – относительная погреш-

ность восстановления компоненты вектора параметров технического состояния обучающей выборки (библиотеки нарядов-допусков); y' – восстановленное значение компоненты вектора параметров технического состояния; y – истинное значение компоненты вектора параметров технического состояния и зафиксированное в наряде-допуске.

При получении k прогнозных моделей удовлетворяющих (4) берется модель с минимальным H .

G – относительное число совпадений признаков истинного вектора $Y_i, i \in D$ из библиотеки и спрогнозированного вектора Y_i° параметров технического состояния элементов подсистем эскалатора, $(Y_i^{t+1})^{\circ} = P(X_i), i \in D$, относительно периода верификации прогнозной модели.

$$G = \left| Y_i^{t+1} - P(Z_i, K_i, Y_i^t) \right| = \frac{1}{n} \frac{1}{M} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^M h_j^i \leq \delta; \quad (7)$$

$$g = \begin{cases} 0, & \text{при } \Delta y^{\circ} > e^{\circ} \\ 1, & \text{при } \Delta y^{\circ} \leq e^{\circ}, \end{cases} \quad (8)$$

где n – размерность вектора параметров технического состояния элементов подсистем эскалатора; M – количество примеров наряда-допуска; $\Delta y^{\circ} = \frac{|y - y^{\circ}|}{y}$ – относительная погрешность восстановления компоненты

вектора параметров технического состояния обучающей выборки; y° – спрогнозированное значение компоненты вектора параметров технического состояния элементов подсистем эскалатора; y – истинное значение компоненты вектора параметров технического состояния элементов подсистем эскалатора.

В случае если получена совокупность векторов причин $X_i^{\circ} = [Y^t, Z, K]^T, i \in D$ из состава нарядов-допусков, хранящихся в библиотеке, расположенной в информационном пространстве, следствие которых необходимо спрогнозировать, и при этом в текущем наряде-допуске присутствует идентичный ему вектор $X_i, i \in \text{НД}$, то функция прогнозной модели заключается в ассоциативном поиске данного наряда-допуска и представлении его в части следствия $Y_i, i \in \text{НД}$ в качестве искомого прогноза $Y_i^{\circ}, i \in D$.

Но если в результате спрогнозированная совокупность векторов X_i° не совпадает ни с одной из причин X_i , описанных в текущем наряде-допуске, то для обучения исходного

информационного массива применим алгоритм нейросетевой пространственной экстраполяции, позволяющий отнести полученное значение X_i^o к ближайшему X_i , $i \in \text{НД}$ на основании выбранной меры близости в информационном пространстве.

Заключение

Описанная выше модель прогнозирования (см. формулу (1)) предоставляет возможность рассмотреть эскалатор с нескольких ракурсов с учетом разных областей знаний, формируя, таким образом, целостное представление о техническом состоянии. При этом форма отображения данных, предложенная в таблице 1, обеспечивает интеграцию с современными информационными технологиями.

В качестве носителя прогнозной модели предлагается использовать специальное информационное пространство, каркас которого формируется через информационные уровни, данные для которых черпаются из конструкторско-технологической, нормативно-технической и эксплуатационно-производственной документации, информации о надежности элементов (при ее наличии), а также логике работы подсистем. В основе указанных информационных уровней лежит структура эскалаторной службы метрополитена, представленная эксплуатационными подразделениями (ЭСЧ), между которыми распределены участки (эскалаторные станции), которые в свою очередь включают группы эскалаторов. Эскалатор состоит из подсистем, содержащих элементы, которые могут включать блоки контроля и/или управления, мониторинга и/или диагностики, непосредственно собирающие информацию о контролируемых эксплуатационных параметрах. Таким образом, структура эскалатора принимает вид древовидного графа с началом в виде элемента, узлом верхнего уровня для которого является сам эскалатор.

Динамика информационного каркаса реализуется через информационные потоки, которые, циркулируя между информационными уровнями от элемента подсистемы эскалатора к оператору (лицу принимающему решение) и обратно, переносят информацию, создавая при этом эффективные обратные связи.

В основе информационного потока лежит специальный документооборот, содержащий наряды-допуски. Общее представление наряда-

допуска, описанного формулой (2), в приложении к эскалатору примет вид:

$$\text{НД} = (\text{К}, \text{ВР}, \text{УПР}, \text{ККП}, \text{КП}, \text{ЗН}, \text{ОП}, \text{С}, \text{ДПР}, \text{МПР}, \text{ЗАВН}, \text{ЧПР}, \text{В}, \text{ПОС}, \text{Н}, \text{РПР}, \text{ДИ}, \text{Р}), \quad (9)$$

где К – классификатор (код идентификатор); ВР – вид работ; УПР – уровень проведения работ, включающий: 1 уровень – заводские, стендовые или иные испытания (тесты/проверки); 2 уровень – выборочный контроль параметров из группы параметров конкретной подсистемы эскалатора; 3 уровень – сплошной сбор параметрической информации о техническом состоянии элементов эскалатора; ККП – класс контролируемых параметров (согласно работе [8]); КП – контролируемый параметр (согласно работе [8]); ЗН – значение контролируемого параметра; ОП – выполняемая операция; С – статус; ДПР – дата проведения работ; МПР – место проведения работ; ЗАВН – заводской номер проверяемого элемента; ЧПР – число проведенных работ, оформленных конкретным нарядом-допуском; ЧППР – число положительно проведенных работ; В – вес (оценка) – определяется в диапазоне от 1 до 10; ПОС – параметры окружающей среды; Н – информация о надежности (при ее наличии); РПР – рекомендации к производству работ; ДИ – дополнительная информация; Р – ресурс.

Для аккумуляции информационных потоков используются библиотеки нарядов-допусков, описанные в общем виде формулой (3), которая в приложении к эскалатору примет вид:

$$\text{БНД} = (\text{НД}, \text{ЗАВНЭС}, \text{МСЭ}, \text{ЭЭ}, \text{ДПО}, \text{МПО}, \text{ЧЗП}, \text{О}), \quad (10)$$

где НД – набор нарядов-допусков; ЗАВНЭС – заводской номер эскалатора; ПСЭ – подсистема эскалатора; ЭЭ – элемент эскалатора; ДПО – дата последнего обновления библиотеки; МПО – место последнего обновления библиотеки (IP-адрес с которого выполнено последнее обновление); ЧЗП – множества числовых значений параметров, полученных на соответствующем уровне проведения работ; О – ограничитель.

Как видно из описания формул (9) и (10), переменные НД и БНД включают все компоненты вектора причин и вектора следствий, необходимые для построения прогноза технического состояния эскалатора.

Взаимодействие между подразделениями метрополитена и сторонними исполнителями, организованное с учетом предложенной модели, реализованной через специальный электронный документооборот, обеспечивает постоянное накопление и обновление знаний о текущем состоянии эскалаторного парка, способствуя принятию оптимальных и актуальных управленческих решений в конкретной эксплуатационной ситуации.

Принятые таким образом управленческие решения обеспечивают:

- выделение эксплуатационного персонала в достаточном количестве и с достаточным уровнем квалификации;

- выделение необходимого и достаточного объема материально-технического снабжения, позволяющего выполнять трудоемкие ремонтно-ревизионные работы необходимым количеством рабочих групп;

- коррекцию и оптимизацию режимов работы эскалаторов и их групп за счет оценки соответствия установленным нормам текущих измеренных эксплуатационных и спрогнозированных параметров;

- сквозное планирование основных производственных процессов, ремонтов, реконструкции и замены эскалаторов, включая планирование потребности в запасах;

- рациональное распределение имеющихся ресурсов между потребителями;

- формирование более сбалансированного бюджета эскалаторного хозяйства метрополитена.

Использование предложенного подхода позволит обеспечить достаточную безопасность перевозки пассажиров и перевести системы эскалатора на более высокий уровень культуры эксплуатации.

Литература

1. Макаров К.В. Проблемы и перспективы развития подземного строительства в Санкт-Петербурге // *Аллея науки*. 2018. Т. 6, № 5 (21). С. 326–330.
2. Инструкция по техническому обслуживанию эскалаторов типа ЭТ-2, ЭТ-2М, ЭТ-3 [Текст]. СПб.: ГУП «Петербургский метрополитен», 2005.
3. Руководство по ремонту эскалаторов: РР-ЭМ 002-17. СПб.: ГУП «Петербургский метрополитен», 2017. 96 с.
4. Разработка норм межремонтного пробега эскалаторов типа ЭТ: отчет о НИР (промежуточ.):

Часть 2 ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: коллект. авторов. Л., 1988. Инв. № С24362р.

5. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. История формирования системы технического обслуживания и ремонта эскалаторного хозяйства метрополитена // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 5. С. 98–104.
6. 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.
7. Берман А.Ф. Информатика катастроф // *Пробл. безопас. и чрезв. Ситуаций*. ВИНТИ РАН. 2012. Но 3, С. 17–37.
8. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2009. 9 с.
9. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Анализ параметров // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 3. С. 61–69.
10. Еланцев В.В. К вопросу о повышении эффективности и безопасности тоннельных эскалаторов. Информационный комплекс оперативного мониторинга состояния эскалатора // *Инновационные внедрения в области технических наук [Текст]: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. № 5, Москва, 25 января 2020 г.*: НН: Изд-во Арел, 2020. С. 10–16.
11. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. Под ред. М.В. Финкова. СПб.: Наука и Техника, 2003. 384 с.
12. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Анализ пассажиропотока // *Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2020. № 3 (62).

References

1. Makarov K.V. Problems and prospects for the development of underground construction in St. Petersburg. *Alleya nauki*. 2018. Vol. 6. No 5 (21), pp. 326–330 (in Russ.).

2. Instruktsiya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu eskalatorov tipa ET-2, ET-2M, ET-3 [Instructions for the maintenance of ET-2, ET-2M, ET-3 type escalators]. SPb.: GUP «Peterburgskiy metropoliteN», 2005.
3. Rukovodstvoporemontueskalatorov:RR-EM002-17 [Repair manual for escalators: RR-EM 002-17]. SPb.: GUP «Peterburgskiy metropoliteN» Publ., 2017. 96 p.
4. Razrabotka norm mezhremontnogo probega eskalatorov tipa ET [Development of standards for the overhaul of ET escalators]: otchet o NIR (promezhutoch.) : Chast' 2 LIIZHT; ruk. A.V. Karakulev; ispoln.: kolekt. avtorov. Leningrad, 1988. Inv. No S24362r.
5. Yelantsev V.V. Improving the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. The history of the formation of the system of maintenance and repair of the escalator facilities of the subway. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2020. No 5, pp. 98–104 (in Russ.).
6. Yelantsev V.V. Improving 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. [Issues of modern technical sciences: a fresh look and new solutions: collection of articles of International scientific and practical conference] No 7, Yekaterinburg, 11 marta 2020 g.: NN: Izd-vo Areal Publ., 2020, pp. 19–26 (in Russ.).
7. Berman A.F. Disaster informatics. Probl. bezopas. i chrezv. situatsiy. VINITI RAN. 2012. No 3, pp. 17–37 (in Russ.).
8. GOST 20911-89. Technical diagnostics. Terms and definitions. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 2009. 9 p.
9. Yelantsev V.V. Improving the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Parameter analysis. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2020. No 3, pp. 61–69 (in Russ.).
10. Yelantsev V.V. Improving the efficiency and safety of tunnel escalators. Information complex for operational monitoring of the escalator condition. Innovatsionnyye vnedreniya v oblasti tekhnicheskikh nauk: sb. nauch. tr. po itogam mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Innovative implementations in the field of technical sciences: collection of articles of International scientific and practical conference] No 5, Moscow, 25 yanvarya 2020 g.: NN: Izd-vo Areal Publ., 2020, pp. 10–16 (in Russ.).
11. Nazarov A.V., Loskutov A.I. Neyrosetevyye algoritmy prognozirovaniya i optimizatsii system [Neural network algorithms for predicting and optimizing systems]. Pod red. M.V. Finkova. SPb.: Nauka i Tekhnika Publ., 2003, 384 p.
12. Yelantsev V.V. Improving the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Analysis of passenger traffic. Vestnik moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2020. No 3 (62).

IMPROVING THE EFFICIENCY AND SAFETY OF OPERATION OF UNDERGROUND TUNNEL ESCALATORS. FORECASTING MODEL

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

The subways of Moscow and St. Petersburg are the oldest in Russia. Its infrastructure includes a diverse fleet of equipment. The fleet of rolling stock in the last decade was mainly renewed, while due to the peculiarities of operation and mainly for financial reasons, the escalator fleet will not be replaced for a long time. In this connection, the main task of the departments responsible for the operation of escalators is to maintain the rapidly aging fleet in good condition. Thus, a situation, when the escalator economy is a source of costs to meet the constantly increasing demand for resources is formed. At the same time, the limited allocation of all types of resources only aggravates the current situation.

The above circumstances contribute to the actualization of the issue of selection of tools, which makes it possible to increase the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. According to the authors of the paper, one of such tools can be the forecasting of the technical state of the elements of the escalator subsystems, made on the basis of special routing of information flows, designed for the optimal distribution of allocated resources.

Since an escalator is a complex technical object of increased danger, the routing of information flows for it characterizing its technical condition is possible only on the basis of a preliminary decomposition into information levels.

For this reason, the beginning of the paper is devoted to the decomposition of the technical state of the escalator into four information levels, covering all aspects of the technical state from the micro-level of the state of materials from which the elements of the escalator subsystems are made, ending with the functional state of the entire escalator.

The purpose of the work is further revealed. It consists in describing a general mathematical model for predicting the technical state of the elements of the escalator subsystems and the requirements for its construction. The work describes the main task that solves the proposed forecast model. In conclusion, the options for using the proposed model are considered.

The scientific novelty of the proposed approach lies in the use of the modern mathematical apparatus of the fuzzy set theory for processing parametric information, elements of artificial intelligence, as well as a precedent approach in analyzing the operational situation, which, in combination, are necessary to build a predictive model of the technical state as applied to the escalator facilities of the subway. From a practical point of view, it should be noted that the proposed mathematical model, implemented on the basis of modern information technologies, will make it possible to more rationally adjust the mechanisms for allocating resources, while ensuring the necessary level of safety for passenger transportation.

Keywords: escalator, forecasting, maintenance and repair, precedent, neural network, technical condition.

Cite as: Popov V.A., Yelantsev V.V. Improving the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Forecasting model. *Izvestiya MGТУ «МАМИ»*. 2021. No 1 (47), pp. 12–22 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-12-22.