ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 62-519

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-129-134

© О. А. Бардышев, д-р техн. наук, профессор
(Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I)
E-mail: oab15@mail.ru

© O. A. Bardishev, Dr. Sci. Tech., Professor
(Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University)
E-mail: oab15@mail.ru

© П. В. Дружинин, д-р техн. наук, профессор
(Военный институт (Инженерно-технический
университет))

© P. V. Druginin, Dr. Sci. Tech., Professor
(Military Institute (Engineering University))

© С. В. Репин, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: repinserge@mail.ru

© S. V. Repin, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

© А. Н. Филин, канд. техн. наук
(ООО «СТЭК»)

E-mail: repinserge@mail.ru

E-mail: aleksandr.filinn@yandex.ru

© A. N. Filin, PhD in Sci. Tech.
(LLC "STEC")

© В. А. Попов, канд. техн. наук, доцент
(Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I)
E-mail: vpopov_58@mail.ru

E-mail: aleksandr.filinn@yandex.ru
© V. A. Popov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University)
E-mail: vpopov_58@mail.ru

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ)

METHOD OF SAFETY CONTROL OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES IN THE INITIAL PERIOD OF OPERATION (ON THE EXAMPLE OF TUNNEL ESCALATORS)

Рассмотрены вопросы обеспечения надежности и безопасности транспортно-технологических машин применительно к тоннельным эскалаторам в начальный период их эксплуатации. Обеспечение безопасности эксплуатации эскалаторов осуществляется на трех этапах: при проектировании и изготовлении, в период установки и сдачи в эксплуатацию и в начальный период работы. Рассматривается работа экспертных организаций по осуществлению контроля при пуске эскалаторов, а также по мониторингу их технического состояния после ввода в эксплуатацию, применяемые методики неразрушающего контроля.

Ключевые слова: тоннельный эскалатор, безопасность, экспертиза, мониторинг технического состояния.

The study is devoted to consideration of issues concerning the securing of reliability and safety of transport-technological machines in regard to tunnel escalators at the initial period of operation. Securing of operation safety of tunnel escalators is realized at three stages, namely, during the designing and production, during the period of putting into service, and at the initial period of operation. The work of expert organizations on implementation of control during the putting escalators in service, as well as on monitoring the technical condition after the operation start-up, and the methods of nondestructive control used is analyzed.

Keywords: tunnel escalator, safety, expertise, monitoring of technical condition.

Метрополитены в таких городах, как Москва и Санкт-Петербург, являются основным видом транспорта. Например, в Санкт-Петербурге метрополитен перевозит ежедневно более 3 млн пас-

сажиров. Важную роль в обеспечении безопасности пассажиров играют эскалаторы. В Санкт-Петербурге большинство станций имеют глубокое заложение (до 70 м), соответственно, в часы

пик на эскалаторе может находиться около ста пассажиров. Имевшиеся случаи аварий и инцидентов на тоннельных эскалаторах наших метрополитенов свидетельствуют, что неисправность эскалаторов и отсутствие должного контроля за их состоянием могут приводить к печальным последствиям.

Обеспечение безопасности пассажиров и обслуживающего персонала на эскалаторах является важной задачей, которая решается на этапах проектирования, изготовления, установки и эксплуатации эскалаторов. Тоннельные эскалаторы представляют собой одновременно и машину, и сооружение и относятся в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ¹ к третьему классу опасности (опасные производственные объекты средней опасности). Они не подлежат обязательной сертификации, поэтому в соответствии с законом должны проходить экспертизу промышленной безопасности при установке и пуске в работу.

В последние годы в метрополитенах Москвы и Санкт-Петербурга идет переход на новые конструкции эскалаторов при строительстве новых станций и при их замене при капитальном ремонте станций. Если по старым типам эскалаторов (ЭМ, ЭТ и аналогичным) вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации отработаны достаточно хорошо, то новые модели нуждаются в более тщательном контроле при установке и в начальный период эксплуатации для выявления возможных отказов, которые могут быть вызваны недоработкой конструкции, ошибками в технологии изготовления и эксплуатационными причинами. Для некоторых новых типов эскалаторов, например эскалаторов «Виктория» фирмы «ТиссенКрупп», предусмотрено проведение контроля и технического обслуживания из пассажирской зоны, что усложняет проведение этих операций.

Естественно, что безопасность эскалаторов закладывается на этапе проектирования и изготовления, где основной задачей является обеспечение соответствия нормам безопасности и требованиям надежности. Эти требования сформулированы в международном стандарте EN 115-1:2008+A1:2010, который является пере-

работкой предыдущих документов на основании опыта их действия. В России действуют вариант этого стандарта — ГОСТ 333066.1–2016 и Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности эскалаторов в метрополитенах», утвержденные Ростехнадзором в 2014 году (далее — ФНП). Последний документ в отличие от других Федеральных норм включает и требования к конструкции и установке эскалаторов, которые в ряде случаев расходятся с нормативами ГОСТ, например по числу ступеней в горизонтальных частях эскалатора, по требованиям к наличию проходов между эскалаторами и др., что вызывает сложности при сдаче эскалаторов после установки.

В последних конструкциях эскалаторов много сделано для повышения их надежности и безопасности в работе. Например, устанавливаются аварийные тормоза с постоянным моментом, надежность срабатывания которых существенно выше, чем на ранее используемых аварийных тормозах с переменным моментом. Широкое распространение нашли литые ступени из алюминиевых сплавов вместо сварных стальных ступеней, они легче и менее склонны к трещинообразованию. Предусмотренный стандартом минимальный набор приборов и устройств безопасности конструкторами дополняется новыми приборами, позволяющими отслеживать возможные неисправности эскалатора в автоматическом режиме или предупреждать появление неисправностей. Стандартами предусмотрены требования к прочностным характеристикам эскалаторов и конструкциям, обеспечивающим безопасность пассажиров при нахождении на эскалаторе, поэтому существенным требованием является расчет рисков в составе проекта.

Важным моментом являются требования к установке эскалаторов. Введение в 2004 году требования обязательного наличия четырех эскалаторов на одном из входов (см. СП 32-105–2004 «Эскалаторы в метрополитенах») поставило перед метрополитенами задачу встраивать в наклонный тоннель четыре машины вместо трех при капитальном ремонте станций. Особенно это создало проблемы для Санкт-Петербурга, где большинство станций имеет один выход. В этом случае приходится устанавливать при капитальном ремонте наклона четыре эскалатора

¹ Федеральный закон РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ (в редакции 2018 г.).

с уменьшением числа проходов или без проходов — с обслуживанием из пассажирской зоны, что приводит к противоречию с нормами ФНП. Кроме того, люк выхода из натяжной камеры попадает в зону выхода пассажиров из крайнего эскалатора, что не соответствует ни ФНП, ни ГОСТ. В ряде случаев существующие строительные конструкции не позволяют увеличить число ступеней в горизонтальной части эскалатора с трех до четырех, как этого требуют нормы ФНП.

До принятия технических регламентов Таможенного союза разрешение на применение на эскалаторы выдавалось Ростехнадзором после проведения экспертизы промышленной безопасности экспертной организацией, имеющей соответствующих специалистов и лицензию. Экспертиза проводилась на этапах как проектирования и изготовления, так и установки эскалатора. Экспертами рассматривалось соответствие эскалатора Правилам устройства и безопасной эксплуатации эскалаторов 1997 года, а также проверялась его работоспособность и безопасность при холостых и грузовых испытаниях после монтажа [1, 2].

В ряде случаев экспертиза отмечала недостатки конструкции. Например, при экспертизе эскалаторов ЭТХ, установленных на переходах станции «Сенная» Петербургского метрополитена, отмечались повышенная жесткость тяговой цепи за счет увеличения шага цепи до 400 мм, которая приводит к повышенным динамическим нагрузкам, сложность распределения усилий между приводами при использовании цевочного зацепления и др., из-за чего в дальнейшем происходят многочисленные отказы при эксплуатации.

Экспертиза эскалаторов ЭТХ на станции «Горьковская» в Нижнем Новгороде выявила в обкаточный период, кроме этих недостатков конструкции, и ряд других — повышенный износ направляющих в зоне перегиба, постоянные поломки подшипников катков ступеней, неудачную конструкцию привода поручня и др., в результате чего эскалаторы ЭТХ были признаны неработоспособными, демонтированы и заменены на эскалаторы фирмы «ТиссенКрупп».

В соответствии со ст. 7 Федерального закона № 116-ФЗ при отсутствии сертификации тон-

нельные эскалаторы подлежат экспертизе промышленной безопасности до начала применения на опасном производственном объекте, т. е. в период процесса сдачи-приемки смонтированного эскалатора. При этом экспертная организация участвует в испытаниях, которые проводит владелец эскалатора.

За последние пять лет ООО «Санкт-Петербургская техническая экспертная компания» провело экспертизу новых моделей эскалаторов на десяти станциях Московского метрополитена и семи станциях Петербургского метрополитена. Основным объемом составляли эскалаторы серии ЭС, разработанные ЗАО «Эссервис» (Санкт-Петербург). Серия состоит из трех типоразмеров с разными интервалами высоты подъема (ЭС-02, ЭС-03 и ЭС-04). Эскалаторы имеют уменьшенный боковой габарит, что позволяет при капитальном ремонте станций устанавливать в наклонном тоннеле с определенными ограничениями вместо трех четыре машины. Наличие частотных преобразователей позволяет экономить электроэнергию. Эти эскалаторы устанавливались как на новых станциях (станции «Новокрестовская» и «Беговая» в Санкт-Петербурге, «Жулебино» в Москве), так и при замене эскалаторов старых типов на восьми станциях в Москве.

В числе новых моделей, на которых была выполнена экспертиза, следует отметить эскалаторы «Виктория» фирмы «ТиссенКрупп» на втором выходе станции «Спортивная» (Санкт-Петербург) и эскалаторы КТП-VI, разработанные СМУ-9 Петербургского Метростроя для строящейся станции «Проспект Славы» (Санкт-Петербург).

Экспертиза эскалаторов при сдаче их в эксплуатацию предусматривает проверку соответствия их установки и конструкции требованиям ГОСТ и ФНП, при этом за основу берутся нормы ФНП. Основной вопрос — обеспечение безопасности работы эскалатора.

При оценке установки проверяется наличие и состояние проходов, нормируемые размеры машинного зала, доступность и освещенность помещений, наличие розеток и т. п. При этом могут выявляться отступления от норм, которые требуют разработки обоснований безопасности. Например, отсутствие боковых проходов, нали-

чие колонн и сужений проходов (станция «Бауманская», Москва) и т. п.

Визуальным осмотром проверяется качество монтажа, состояние сварных соединений каркаса, наличие требуемых нормами приборов и устройств безопасности. При проведении холостых и грузовых испытаний эскалатора проверяется его работоспособность и проводятся замеры его электродинамических характеристик. Особое внимание обращается на срабатывание приборов и устройств безопасности, в том числе при имитации неисправностей. Из этих характеристик основными являются нормируемые параметры — время и путь разгона и торможения, время срабатывания рабочего и аварийного тормоза, величина выбега, коэффициент запаса тормозного момента рабочего тормоза.

Полностью проверить работоспособность и безопасность эскалаторов можно только путем мониторинга их технического состояния на определенном отрезке их работы. При этом первый год работы эскалатора вряд ли можно принимать во внимание, поскольку в этот «обкаточный» период проявляются недостатки конструкции или изготовления, которые не были выявлены в период обкатки перед сдачей в эксплуатацию.

В этом случае целесообразно проводить мониторинг технического состояния в течение последующих лет работы эскалатора с использованием средств неразрушающего контроля. Особенно важно проводить мониторинг для перспективных моделей эскалаторов, который позволяет прогнозировать возможный срок службы эскалатора и выявлять недостатки конструкции или технологии изготовления. Формы мониторинга могут быть различными как по времени, так и по организации.

Для металлоконструкций эскалаторов, подвергающихся динамическим нагрузкам в течение длительного времени, основными показателями износа являются коррозия и изменение напряженно-деформированного состояния металла. Коррозия появляется через несколько лет эксплуатации, ее интенсивность во многом зависит от условий работы эскалатора и влажности. Появление трещин вызвано динамическими нагрузками и концентраторами напряжений, возникшими при изготовлении. Усталостные

трещины наблюдаются в металлоконструкциях преимущественно в зонах верхнего и нижнего перегибов (зоны И и А).

Для оценки такого важного показателя работы металлоконструкций, как напряженно-деформированное состояние металла, применяется магнитный контроль с помощью магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М с преобразователем на постоянном токе с датчиком Холла. По данным [3] при обследовании эскалаторов специалистами ПГУПС получены для эскалаторов ЭМ-4, отработавших 25–30 лет, значения коэрцитивной силы H_c 4,8–4,9 А/см для зоны И и 5,3–5,6 А/см для зоны А (для применяемой на эскалаторах ЭМ-4 стали ВСтЗпс «контролируемое» значение H_c 4,6–5,5 А/см, «критическое» значение H_c — 5,6–7,0 А/см). Это показывает, что напряжения в металле наиболее нагруженных зон эскалаторов находятся в пределах контролируемых значений, что позволяет прогнозировать возможный ресурс эскалаторов в пределах 20–30 лет (нормативный ресурс эскалаторов ЭМ-4 — 50 лет).

По договору с эскалаторной службой Петербургского метрополитена специалистами кафедры ПТПСМ ПГУПС начиная с 2012 г. в течение ряда лет проводился мониторинг восьми эскалаторов ЭТХ, установленных на переходах станции «Сенная». Все эскалаторы проходили ежегодные обследования, которые позволили выявить причины возникновения неисправностей и отказов ряда элементов эскалаторов. Для получения точных данных о состоянии металлоконструкций этих эскалаторов был применен магнитоакустический метод контроля их текущего состояния в режиме мониторинга [4, 5].

Для этого использовался измерительный комплекс на основе трехкомпонентных вибронзондов, построенных на преобразователях Холла ПХЭ606 117В производства научно-производственной фирмы «Сенсор» (Санкт-Петербург), и комплекса АСК-3117 с усилителем. Виброконтроль производился с применением векторного вибропреобразователя абсолютной вибрации типа ВТК, усилителя заряда трехканального УТК-2 и комплекса АСК-3117. При этом использовались пакеты прикладных программ. Датчики устанавливались как на элементах ферм секций, так и на вертикальных листах

в местах крепления криволинейных направляющих, где получают наибольшие нагрузки.

Методом мониторинга был пространственный анализ напряженности собственных магнитных полей рассеяния металла в зоне развивающихся повреждений объекта посредством проведения вейвлет-анализа для идентификации локальных источников собственных магнитных полей рассеяния в отдельных узлах контроля [4]. Это позволило, в частности, выявить участки интенсивного износа криволинейных направляющих, в том числе с развитием микротрещин. Результаты обработки полученных данных показывают, что применение магнитоакустического мониторинга металлоконструкций эскалаторов позволяет делать прогноз об их техническом состоянии и планировать упреждающие ремонтные мероприятия.

Важнейшим элементом эскалаторов является привод. При мониторинге технического состояния эскалаторов диагностика приводов вызывает определенные трудности в связи с необходимостью вскрытия редукторов. Для исключения этого А. Н. Филиным была предложена методика контроля привода эскалатора на основе комплексного применения методов виброакустического диагностирования [6, 7]. Привод эскалатора состоит из электродвигателя, тормоза, редуктора и механизмов на главном валу — приводных звездочек и аварийного тормоза, каждый из которых дает свой сигнал вибрации. Величина вибрации зависит от степени дебаланса вращающихся элементов, состояния подшипников и др. Основной задачей является идентификация сигнала вибрации и получение на этой основе данных о техническом состоянии элементов привода.

Для оценки технического состояния элементов привода был применен метод спектрального анализа виброакустического сигнала, позволяющий давать качественную и количественную оценку сигнала, получаемого от приводной группы. Для проведения замеров использовался виброанализатор КОН.ТЕСТ С9000 производства ЦНИИ МФ с пьезоэлектрическими датчиками СТС АС102-1А. Установка датчиков проводилась креплением под болты или с применением магнитного основания.

Для отработки методики был выбран эскалатор ЭТ-2, на котором были получены опорные (эталонные) спектры вибросигналов при отсутствии дефектов и спектры вибросигналов при наличии различного вида дефектов. Вид дефекта уточнялся при разборке элемента. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований был сформирован ряд информативных диагностических признаков различных дефектов, который в дальнейшем использовался при мониторинге технического состояния и при обследовании эскалаторов, отработавших нормативные сроки.

Выводы

В заключение можно сказать, что системный подход к обеспечению контроля технического состояния тоннельных эскалаторов на начальном периоде их эксплуатации — при вводе в эксплуатацию и мониторинг в течение определенного времени их работы позволяют своевременно выявить возможные дефекты и таким образом повысить их надежность и безопасность работы. Особенно это важно при введении в эксплуатацию новых моделей эскалаторов, по которым информация об их надежности и безопасности может быть ограниченной или отсутствовать.

Библиографический список

1. Попов В. А. Экспертиза промышленной безопасности тоннельных эскалаторов Петербургского метрополитена // Материалы III междунар. науч.-практ. конф. «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте — ТЭБТРАНС-2012». Санкт-Петербург, 21–23 ноября 2012 г. СПб.: ПГУПС, 2012. С. 224–229.
2. Bardyshev O., Gordienko V. Some Aspects of Maintaining Inclined Tunnel Escalators in St. Petersburg // World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 23 (Problems of Architecture and Construction).
3. Бардышев О. А., Попов В. А., Дружинин П. В., Бардышев А. О. Экспертиза безопасности эскалаторов в метрополитенах // Материалы 12-й междунар. науч.-практ. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». Санкт-Петербург, 28–30 сент. 2016 г.
4. Попов В. А., Бардышев О. А., Ватулин Я. С., Щербаков А. В. Оценка ресурса тоннельных эскалаторов Петербургского метрополитена // Механизация строительства. 2015. № 1 (847). С. 35–39.
5. Ватулин Я. С., Коровина Т. С., Коровин С. К., Попов В. А. Мониторинг эскалаторов метрополитена

при оценке их остаточного ресурса на основе магнитных методов контроля // Транспорт Российской Федерации. 2013. № 1 (44). С. 6–9.

6. Филин А. Н. Спектральный анализ вибросигнала для определения технического состояния эскалаторных редукторов // Механизация строительства. 2016. № 1. С. 21–24.

7. Бардышев О. А., Попов В. А., Филин А. Н. О безопасности эскалаторов в метрополитенах // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. 2018. Т. 23, № 3. С. 10–14.

References

1. Popov V. A. *Ehkspertiza promyshlennoy bezopasnosti tonnel'nykh ehskalatorov Peterburgskogo metropolitena* [Examination of industrial safety of tunnel escalators in St. Petersburg underground railroad system]. *Trudy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Tekhnosfer-naya i ehkologicheskaya bezopasnost' na transporte – TEhBTRANS-2012»* [Proc. of the III mezhdunar. scientific.-prakt. Conf. “Technosphere and environmental safety in transport – TEBTRANS-2012”]. St. Petersburg, November 21–23, 2012 g. S PGUPS Publ., 2012, pp. 224–229.

2. Bardyshev O., Gordienko V. Some Aspects of Maintaining Inclined Tunnel Escalators in St. Petersburg. *World Applied Sciences Journal*, 2014, vol. 23 (Problems of Architecture and Construction).

3. Bardyshev O. A., Popov V. A., Druzhinin P. V., Bardyshev A. O. *Ehkspertiza bezopasnosti ehskalatorov v metropolitenakh* [Examination of the escalators safety provi-

sion in subways]. *Trudy12-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh»* [Proc. of 12-th Intern. sci.-pract. conf. “Organization and safety of traffic in large cities”]. St. Petersburg, September 28–30, 2016.

4. Popov V. A., Bardyshev O. A., Vatulin Ya. S., Shcherbakov A. V. *Otsenka resursa tonnel'nykh ehskalatorov Peterburgskogo metropolitena* [Assessment of tunnel escalators' service life in St. Petersburg underground rail-road system]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva – Mechanization of construction*, 2015, no. 1 (847), pp. 35–39.

5. Vatulin Ya. S., Korovina T. S., Korovin S. K., Popov V. A. *Monitoring ehskalatorov metropolitena pri otsenke ikh ostatochnogo resursa na osnove magnitnykh metodov kontrolya* [Monitoring of the metro escalators in evaluation of their residual life based on magnetic control methods]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2013, no. 1 (44), pp. 6–9.

6. Filin A. N. *Spektral'nyy analiz vibrosignala dlya opredeleniya tekhnicheskogo sostoyaniya ehskalatornykh reduktorov* [Spectral analysis of the vibration signal to determine the technical condition of escalator gearboxes]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva – Mechanization of construction*, 2016, no.1, pp. 21–24.

7. Bardyshev O. A., Popov V. A., Filin A. N. *O bezopasnosti ehskalatorov v metropolitenakh* [On the safety of escalators in metro]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii nauk ehkologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the International Academy of ecology and environmental sciences)]. 2018, vol. 23, no. 3, pp. 10–14.