

# Оценка остаточного ресурса и продление сроков службы вагонов Санкт-Петербургского метрополитена

С. В. БОРИСОВ, канд. техн. наук, заместитель руководителя лаборатории НК и ТД ОАО «НВЦ «Вагоны»

Е. А. ЖАРОВА, канд. техн. наук, начальник отдела маркетинга и технологии ремонта вагонов ОАО «НВЦ «Вагоны»

М. В. ЗИМАКОВА, аспирант ПГУПС, научный сотрудник ОАО «НВЦ «Вагоны»

**При обсуждении инновационных проектов, внедряемых сегодня в метрополитене, не следует забывать об оценке остаточного ресурса вагонов. Для этого необходимо применять современные численные методы расчета на базе метода конечных элементов (МКЭ) и средств неразрушающего контроля (НК) в сочетании с проведением экспериментальных исследований вагонов метрополитена.**

За многолетний период сотрудничества ОАО «НВЦ «Вагоны» и Петербургского метрополитена было разработано и апробировано «Положение о продлении сроков службы вагонов метрополитена», составлен и постоянно совершенствуется ремонтный бюллетень и типовые процессы диагностирования, которые включают следующие этапы:

- обследование технического состояния с учетом условий эксплуатации и обмер толщины основных несущих элементов конструкции вагонов неразрушающими методами контроля;
- оценка интенсивности эксплуатации вагонов;
- статический расчет с учетом эксплуатационного уменьшения толщины вследствие коррозии и износа для выявления наиболее нагруженных узлов конструкции;
- неразрушающий контроль (ультразвуковой и капиллярный) основных элементов вагонов;

- контрольные испытания обследуемой группы вагонов.

Электроподвижной состав метрополитена проходит регулярное техническое обслуживание, эксплуатируется в условиях защиты от внешних атмосферных осадков и не испытывает продольных нагрузок, превышающих 40–50 т, что указывает на возможный остаточный ресурс у единиц подвижного состава метрополитена, не подвергшихся аварийным сверхнормативным нагрузкам в процессе эксплуатации. Учитывая невозможность одновременного обновления всего парка вагонов и имеющийся остаточный ресурс у подвижного состава, было принято решение о проведении обследования технического состояния каждого вагона метрополитена для обоснования продления срока его службы или исключения из инвентарного парка. Техническое диагностирование выполнялось в соответствии с «Положением о продлении сроков

службы вагонов метрополитена», утвержденным службой подвижного состава Петербургского метрополитена по разработанным и согласованным программам и методикам.

В результате обследования металлоконструкций кузовов и рам вагонов выявлены многочисленные случаи коррозии продольных балок в консольной и средней части, в районе боковых дверей, величина которой достигала 40%. Кроме того, обнаружены случаи сквозной коррозии обшивки кузова на уровне рамы вагона в зоне концевой части, консольной части продольной балки и в зоне дверных порогов. Большая часть вагонов имела коррозию (до 10%) обшивки кузова в зоне накладного декоративного профиля, подоконного пространства и водостока. Коррозионные повреждения также наблюдались на концевых частях рамы вагона и на хребтовых балках.

Характерные неисправности кузова и рамы вагонов метро показаны на рис. 1–2. Также в ходе обследования были выявлены трещины нижней полки швеллера хребтовой балки в зоне сварного шва, что свидетельствует о высоких динамических напряжениях в локальных зонах несущих элементов конструкции.



Рис. 1. Сквозная коррозия обшивки концевой стены



Рис. 2. Коррозия продольной балки рамы вагона

Для оценки влияния коррозионного износа элементов рам и кузовов вагонов метрополитена на прочность выполнен расчет статической нагруженности вагона типа Е в соответствии с «Нормами для расчета и проектирования механической части новых и модернизируемых вагонов метрополитенов СССР колеи 1520 мм», 1987 г. (далее «Нормы...»).

Кузов вагона метрополитена представляет собой несущую металлическую конструкцию в виде тонкостенной оболочки с дверными и оконными вырезами. Оболочка подкреплена набором продольных и поперечных силовых элементов. К продольным элементам относятся: хребтовая балка, продольные балки рамы, продольные балки пола, гофры боковых стен и крыши. Поперечные элементы — дуги крыши, стойки боковых стен, поперечные балки рамы.

В соответствии с рекомендациями «Норм...» расчет проводился методом конечных элементов, с использованием конечно-элементного (КЭ) пакета ANSYS, версия 8.0. Для расчета использовалась пластинчато-стержневая КЭ-модель. Элементы балок, стоек и гофр имитировались балками КЭ-типа (6 степеней свободы в узле КЭ), листы обшивки кузова имитировались пластинчатыми элементами (6 степеней свободы в узле КЭ).

Для элементов бокового пояса рамы с коррозионным износом, превысившим 30%, предусмотрено их восстановление с помощью ремонтных накладок. Поэтому в КЭ расчетной схеме учитывалось наихудшее возможное сочетание параметров технического состояния элементов рамы — коррозионный износ 50% бокового пояса и концевой части рамы.

Результаты расчетов вагонов метрополитена позволили сделать вывод, что прочность элементов вагонов метрополитена серии Е, подвергшихся коррозии (бокового пояса и концевой части рамы), при всех расчетных режимах удовлетворяет требованиям «Норм...». Учитывалось, что коррозионный износ не должен превысить 50% от номинальной толщины за суммарный срок службы 50 лет.

По результатам проведения технического диагностирования и расчетов из группы вагонов Петербургского метрополитена был выбран один для проведения восстановительных работ, разработки на его базе технологии восстановления рамы и кузова других вагонов метрополитена и проведения

дальнейших испытаний. Отобранный вагон имел самое плохое техническое состояние и наибольшую наработку из группы обследованных вагонов. По результатам проведенного расчета НВЦ «Вагоны» была разработана конструкторско-технологическая документация по ремонту вагонов с выявленными дефектами.

Ремонту подлежат вагоны, у которых коррозионное повреждение (утонение) несущих элементов кузова составляет более 30% от номинальной толщины; вагоны с ранее установленными накладками на кузове вагона, у которых в результате коррозии обшивки имеются разрывы по сварному шву, соединяющему накладку с обшивкой кузова. Усиление утоненных элементов боковой или концевой балок до 30% при сквозной коррозии обшивки кузова проводится с помощью установки вставок толщиной 2 мм. Ремонту не подлежат несущие элементы кузова, коррозионный износ которых составляет менее 30%, если нет сквозной коррозии. При утонении элементов рамы вагона более чем на 30% со сквозной коррозией обшивки участок сквозной коррозии вырезается и устанавливается накладка толщиной 4 мм, а при несквозной — 2 мм. Все работы проводятся с внешней стороны кузова вагона.

На следующем этапе исследований для подтверждения правильности назначения нового срока службы после истечения нормативного были проведены натурные испытания отремонтированного вагона согласно разработанным и согласованным программам и методикам на растяжение-сжатие, сбрасывание с клиньев и на остаточный ресурс. На основании полученных результатов было установлено, что в целом конструкция вагона метрополитена, прошедшего ремонт для продления срока службы, удовлетворяет условиям прочности. Исключение составляют расколы хребтовой балки. Эта область требует дополнительного усиления, чтобы ликвидировать зоны концентрации напряжений.

На следующем этапе исследований был выполнен расчет на прочность и устойчивость элементов кузова вагона типа Е с усиленной накладкой на расколы хребтовой балки, в зоне заднего упора автосцепки. Затем были проведены испытания на статическую прочность при продольных нормативных квазистатических нагрузках.

По результатам расчета было установлено, что устойчивость и прочность элементов вагона метрополитена серии Е, в том числе и подвергшихся



Рис. 3. Эксперт Лаборатории НК и ТД ОАО «НВЦ «Вагоны» С. В. Борисов проводит толщинометрию кузова вагона метрополитена.

коррозии (бокового пояса рамы и лобовой части рамы), если коррозионный износ не превышает 33% от номинала, при всех расчетных режимах нагружения удовлетворяет требованиям «Норм...». Элементы бокового пояса рамы, коррозионный износ которых (по результатам технического диагностирования) не превысил 33% от номинала (толщина полок швеллера должна быть не менее 6 мм, толщина основания — не менее 3 мм), ремонту не подлежат.

Сопоставление результатов проведенных теоретических исследований и экспериментов по оценке статической прочности вагона до и после выполнения ремонта позволило установить, что максимальное расхождение между ними не превышает 18% — для продольной балки рамы, 10% — для хребтовой балки рамы, что подтверждает правильность теоретических и практических методов исследований. На рис. 3 представлен процесс технического диагностирования вагона метрополитена в депо.

Практическим результатом описанных работ стало продление срока службы более 600 вагонов Санкт-Петербургского метрополитена с 2003 по 2010 г. в соответствии с остаточным ресурсом и с соблюдением всех требований и норм безопасности. За весь период эксплуатации вагонов с продленным сроком службы случаев отказа выявлено не было.



ОАО «Научно-внедренческий центр «Вагоны»

190031, Санкт-Петербург,  
Московский пр., д. 9  
Тел./факс (812) 314-47-81  
www.nvc-vagon.ru