

напряжения, реализуемый в бортовом цифровом вычислительном комплексе. При этом учитывались ограничения на пределы изменения напряжения и частоты тока в статических режимах работы в зависимости от изменения токов нагрузки и изменения частоты вращения авиадвигателя.

При разработке алгоритма регулирования напряжения в переходных режимах работы установлено, что использование лишь цифровых элементов не дает возможности обеспечить полную компенсацию указанных возмущений из-за наличия в реальных системах регулирования энергетических ограничений на управляющие воздействия и нелинейностей, определяющих ограничения координат системы электроснабжения. Поэтому предложено синтезировать систему регулирования напряжения в переходных режимах исходя не из приближенного выполнения условий инвариантности, а из условия получения оптимального переходного процесса. Для этого, учитывая требования к системам регулирования напряжения и к качеству электрической энергии систем электроснабжения воздушных судов, выбран критерий оптимальности, обеспечивающий минимум длительности переходного процесса [2–5].

Для проверки эффективности действия данного критерия разработана математическая модель бесконтактного синхронного генератора типа ГТ мощностью 120 кВ·А и синтезирован закон регулирования напряжения при действии управляющего воздействия в соответствии с критерием оптимальности. Для рассматриваемого генератора оптимальное по быстродействию управление содержит два интервала [2, 3, 5]. Определены моменты времени переключения сигнала управления с одного интервала на другой, при которых обеспечивается перевод объекта из начального состояния (обусловленного действием возмущения) в конечное за минимально возможное время. Моменты переключения оптимального управления определены из решения системы дифференциальных уравнений математической модели генератора для первого и второго интервала управления. При этом выявлено, что при переключении управления состояние объекта мгновенно не изменяется.

С учетом этих данных разработан алгоритм регулирования напряжения при коммутациях приемников электроэнергии (нагрузки) в переходном режиме работы системы электроснабжения.

Имитационное моделирование системы регулирования напряжения с учетом синтезированных алгоритмов позволило установить следующее: минимально возможная длительность переходного процесса по напряжению при коммутации номинальной нагрузки составляет $(18–21) \cdot 10^{-3}$ с; при оптимальном по быстродействию регулировании напряжения обеспечивается минимально возможное значение величины перерегулирования, которое на 25–35 % меньше, чем при использовании систем с регуляторами напряжения аналогового типа. При этом длительность переходных процессов уменьшается в 5–7 раз. Таким образом, применение цифровых вычислительных устройств с реализацией в них алгоритмов, синтезированных на основе методов теории инвариантности и оптимального управления, открывает широкие возможности дальнейшего повышения качества электрической энергии систем электроснабжения транспортных средств.

Список литературы

- 1 Данилова, Н. Н. Основы математической теории оптимальных процессов : учеб. пособие / Н. Н. Данилов, В. В. Мешечкин. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2004. – 218 с.
- 2 Васильев, Д. Системы автоматического управления / Д. Васильев, В. Чуич. – Рига : Палмарий, 2012. – 200 с.
- 3 Адкинс, Б. Общая теория электрических машин / Б. Адкинс. – М. : Госэнергоиздат, 1960. – 272 с.
- 4 Лайбль, Г. Теория электрической машины при переходных процессах / Г. Лайбль. – М. : Госэнергоиздат, 1965. – 168 с.
- 5 Фельдбаум, А. А. Методы теории автоматического управления / А. А. Фельдбаум, А. Г. Бутковский. – М. : Наука, 1971. – 744 с.

УДК 629.4.027.2

К ВОПРОСУ РЕСУРСА БОКОВЫХ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ И ИХ КОНСТРУКТИВНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

С. В. КАРА

Филиал «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця», г. Киев

Трехэлементные тележки типа 18-100 и их аналоги являются основным типом тележек для железнодорожных грузовых вагонов в Украине и других странах СНГ. Кроме того, что данный тип тележек грузовых вагонов является морально устаревшим с точки зрения динамических качеств и

осевых нагрузок, долгое время актуальными являлись ежегодные изломы боковых рам в зоне радиусного перехода R55 буксового проема. Сейчас данная проблема отдельно рассматривается в связи с продлением в Украине сроков службы литых (боковых рам и надрессорных балок) тележек грузовых вагонов для специальных вагонов, а в скором времени и для других типов вагонов. При этом во многих странах мира введены тележки типа Y25 и активно разрабатываются принципиально новые конструкции, в то время как в Украине основные виды модернизаций связаны с увеличением межремонтных пробегов, увеличением срока службы, а поэтому вопросу прочности и сопротивления усталости боковых рам следует уделять особое внимание.

За последние годы разработан ряд новых тележек грузовых вагонов для колеи 1520 мм, которые достаточно близки по конструкции к тележке типа 18-100, например модернизации по проектам М1698, С03.04, С14.01 (использование износостойких материалов для опорных поверхностей буксового проема, фрикционной планки и клиньев, проточка колес по профилю ИТМ73: 18-2128, 18-9801, 18-9845, 18-9841, 189770, 18-1750, 18-578 и др.), модернизации с установкой кассетных подшипников (18-7020 и др.), тележки с диагональными тягами (ZK1 и др.), тележки со значительными геометрическими различиями несущих элементов (тип 18-9810 и др.). Следует отметить, что при значительном количестве модернизаций тележек и известной статистике изломов в зоне R55 конструкция зоны буксового проема боковой рамы не претерпевала значительных изменений. При исследовании причин изломов боковых рам кроме известных выявленных дефектов литья был установлен ряд факторов дополнительного нагружения зоны R55: сверхнормативные продольные силы, действующие на челюсти во время ударов вагонов на сортировочных горках, большие значения крутящего момента, действующего от буксы на боковую раму при перекосах колесных пар при забеганиях боковых рам, сверхнормативные нагрузки внешних челюстей боковых рам при одновременных ударных нагрузках на перекосах колесных пар.

Исследования по продлению срока службы свыше 40 лет для боковых рам и надрессорных балок проводились в «Научно-исследовательском и конструкторско-технологическом институте железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця» в 2016 г. По результатам работы был установлен срок службы 42 года для литья, которое используется под вагонами служб пути и имеет значительно меньшую интенсивность эксплуатации по сравнению с основным парком грузовых вагонов. Продлить срок службы с 40 до 42 лет необходимо с применением дополнительных мер контроля.

Аккредитованной лабораторией Научно-внедренческого центра – структурного подразделения «Научно-исследовательского и конструкторско-технологического института железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця» (далее – НВЦ) – был проведен комплекс ходовых прочностных и динамических испытаний с определением уровней динамической нагруженности для расчета показателей прочности, коэффициентов запаса сопротивления усталости, а также расчета ресурса расчетно-экспериментальным методом с применением системы автоматизированного проектирования SolidWorks Simulation 2020 боковых рам и надрессорных балок со сроком службы 38–40 лет после прохождения магнитопорошкового и акустико-эмиссионного методов контроля. По результатам испытаний литье тележек грузовых вагонов после реальной эксплуатации 40 лет при проведении вышеуказанных методов контроля имеет достаточные запасы сопротивления усталости для дальнейшего продления срока службы. Дополнительно по заказу АО «Укрзалізниця» был проведен комплекс стендовых ресурсных испытаний боковых рам и надрессорных балок со сроком службы 38–40 лет, которые подтвердили достаточный ресурс для продления срока службы свыше 40 лет. На основе проведенного комплекса испытаний рассматривается возможность установления срока службы литью 1975–1983 гг. постройки 45 лет с применением дополнительных методов контроля.

Дополнительно НВЦ было проведено исследование трехосных тележек типа 18-102, которые используются под несоответствующими вагонами. По результатам комплексной научно-исследовательской работы установлен граничный ресурс тележек типа 18-102, которые используются под несоответствующими вагонами – 60 лет от даты изготовления с периодическим продлением срока службы аккредитованными организациями (проведение технического диагностирования), при этом для тележек со сроком службы 55 и более лет установлено ограничение скорости движения на уровне 60 км/ч.

На основе проведения анализа проблематики изломов боковых рам тележек типу 18-100 и аналогов разработано техническое решение по конструктивному усовершенствованию боковой рамы тележки грузового вагона, которое заключается в замыкании буксовой стружкой буксового проема боковой рамы. Проведены прочностные расчеты боковой рамы типа 18-100 с двутавровым и короб-

чатым сечением надбуксовой зоны с учетом продольной силы в размере 120 кН, а также с учетом продольной силы в размере 120 кН и момента силы 4,5 кН·м, без применения и с применением буксовой струнки сечением 20 см². На основе проведенных расчетов с использованием программного комплекса SolidWorks установлено, что использование буксовой струнки способствует уменьшению уровня максимальных эквивалентных напряжений в R55 с 213 и 221 МПа (для двутаврового и коробчатого сечения соответственно) до 128–129 МПа. При использовании буксовой струнки с предварительным натяжением в размере 30 кН максимальные напряжения в зоне R55 составляют 100 МПа. На основе проведенных исследований сделан вывод об эффективности использования буксовой струнки для повышения прочности боковых рам. Снижение уровня напряжений в данной зоне способствует повышению безопасности движения опасных и особо опасных грузов.

Данное техническое решение было представлено в рамках научно-исследовательской работы по заказу Министерства науки и образования Украины ДН-01-15 «Разработка концепции и технических решений инновационного транспортного средства на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий на этапах жизненного цикла (№ государственной регистрации 0115U000645), исследовано в рамках диссертационной работы «Повышение прочности и улучшение показателей динамики элементов ходовой части грузовых вагонов путем конструктивного совершенствования» (Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Северодонецк) и защищено патентами Украины № 104539 «Боковая рама тележки грузового вагона», 104542 «Тележка грузового вагона», 104543 «Боковая рама тележки грузового вагона», 105480 «Способ повышения прочности и улучшения динамики трехэлементных тележек грузовых вагонов».

УДК 629.4.083

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА КРЫШЕК ЛЮКОВ ПОЛУВАГОНОВ В ЖЛОБИНСКОМ ВАГОННОМ ДЕПО

С. С. КАРАНДЕЕВ, Д. П. СОРОКИН
Белорусская железная дорога, г. Жлобин

И. Ю. КУШКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Отличительной особенностью современного парка грузовых вагонов является большое разнообразие. С одной стороны, следует отметить общее старение вагонного парка, вместе с тем в ремонт поступают относительно новые вагоны улучшенной конструкции.

Увеличение межремонтного периода для деповского ремонта универсальных полувагонов с одного года до трех, в соответствии с Положением о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении, принятым Советом по железнодорожному транспорту государств-участников СНГ (протокол № 57 от «16–17» октября 2012 г.) [1], приводит к возникновению ряда специфических неисправностей.

В Жлобинское вагонное депо для ремонта поступает большое количество полувагонов с такими характерными дефектами как неисправности крышек люков. Данные по Жлобинскому вагонному депо за период 2019–2020 гг. показывают, что более четверти всех неисправностей вагонов составляют неисправности крышек люка.

Особенно часто такие повреждения отмечаются у вагонов, являющихся собственностью ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Данные повреждения связаны с особенностями конфигурации перевозимого груза, а также с нарушениями правил погрузки и выгрузки груза. Анализ статистических данных по отцепкам полувагонов, отремонтированных в Жлобинском вагонном депо, показал, что в период с 01.2019 по 08.2020 г. ежемесячно в ремонт по причине неисправности люков поступало от 194 до 244 вагонов.

К техническому состоянию крышек люка вагонов предъявляются особые требования. Оно является определяющим и при обосновании ремонта подвижного состава.

Трещины и изломы, обрыв петли люка возникают из-за значительных нагрузок, скрытых литиевых дефектов, усталости металла, забоин и ожогов от электросварки (на поверхности деталей), явля-