

Опыт обеспечения прочности несущих конструкций локомотивов и моторвагонного подвижного состава

В. В. КОЧЕРГИН¹, А. А. БУХАНЦЕВ¹, И. Г. ПАНКРАТОВА¹, О. А. РУСАНОВ^{2, 1}

¹ Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет» (ФГБОУ ВО «Московский политех»), Москва, 107023, Россия

Аннотация. Изложены основные положения методики, применяемой на железных дорогах Российской Федерации и странах СНГ для контроля требований к прочности несущих конструкций локомотивов и моторвагонного подвижного состава и допуска данных типов подвижного состава к эксплуатации.

Для обеспечения характеристик сопротивления усталости несущих элементов тягового подвижного состава реализован подход, не допускающий при штатной эксплуатации появления в конструкции циклических напряжений с амплитудами, превышающими предел выносливости. В статье изложены требования к прочности для данных типов подвижного состава, перечислены показатели прочности, указаны методы их определения, описаны динамико-прочностные испытания.

Ключевые слова: локомотив; моторвагонный подвижной состав; кузов; рама тележки; прочность; динамико-прочностные испытания

Введение. Обеспечение прочности конструкций подвижного состава является одной из главных составляющих общей проблемы безопасности железнодорожного транспорта. К прочности несущих элементов кузовов и тележек локомотивов и вагонов моторвагонного подвижного состава (МВПС) предъявляются особые требования из-за возможных серьезных последствий при разрушении, интенсивных циклических нагрузок в эксплуатации, длительных сроков службы. Наиболее вероятными зонами возникновения усталостных повреждений несущих конструкций экипажей локомотивов и вагонов МВПС являются сварные узлы рам тележек и кузовов. Случайный характер динамических воздействий на экипаж, статистическая изменчивость механических характеристик (характеристик сопротивления усталости) сварных несущих конструкций, качество их изготовления, значительная зависимость прочности от особенностей технологических процессов, разнообразие конструкций узлов экипажной части затрудняют задачу выполнения требований по показателям прочности (в особенности усталостной прочности).

Подходы к обеспечению усталостной прочности. Для обеспечения усталостной прочности металло-

конструкций в машиностроении практикуются различные подходы, один из которых допускает возможность появления в деталях циклических напряжений с амплитудами, превышающими предел выносливости. В таких деталях изначально заложена ограниченная долговечность, для оценки которой необходима полная информация о параметрах кривых усталости, включая статистические характеристики рассеивания. При нерегулярном динамическом воздействии долговечность определяют на основе кривой усталости с использованием гипотезы линейного суммирования повреждений и одного из методов схематизации случайных процессов нагружения (например, метода полных циклов или метода «дождя»). Если объект в течение назначенного срока службы испытывает количество циклов нагружения существенно меньше предельного, определяемого по кривой усталости значения, предполагают, что условия прочности (по критерию сопротивления усталости) выполнены. В противном случае объект имеет ограниченную долговечность. Соответственно, для него необходимо предусматривать регулярный контроль за состоянием и производить замену после определенной наработки, что следует учитывать при планировании комплекса операций технического обслуживания и ремонта.

Подход оправдан, как правило, там, где нагрузки имеют достаточно регулярный характер, существуют широкие возможности проведения испытаний на усталость, требование минимальной металлоемкости критически важно. Допуская циклические напряжения выше предела выносливости, можно получить преимущество, заключающееся в потенциальной возможности снижения металлоемкости конструкции. Однако имеются серьезные риски, обусловленные высокой зависимостью от степени достоверности оценки ограниченной долговечности конструкции. Параметры кривых усталости как стандартных образцов, так и натуральных изделий определяются со свойственным этим данным значительным статистическим рассеиванием, особенно по параметру долговечно-

■ E-mail: newmalina@mail.ru (О. А. Русанов)

сти объекта. Для обеспечения надежных прогнозов долговечности объем экспериментальных исследований должен быть велик, требует наличия стендов и оборудования, сопровождается высокими затратами, трудоемкостью, длительными сроками проведения испытаний. Часто перечисленное в совокупности является практически невыполнимым. Неполнота или недостоверный характер исходной информации (из-за недостаточного объема испытаний) при прогнозировании долговечности может иметь следствием преждевременное образование усталостных трещин, последующее их развитие, разрушение несущих элементов, повышенную вероятность аварий подвижного состава.

Другой подход обеспечения усталостной прочности не допускает в проектируемой конструкции возможность появления циклических напряжений с амплитудами, превышающими ее предел выносливости. Определение предела выносливости натурального изделия осуществляют исходя из значений предела выносливости стандартного образца при симметричном цикле, учитывая такие влияющие факторы, как концентрация напряжений, размеры конструкции, качество поверхности, асимметрия цикла, особенности технологии изготовления сварных узлов и другие. Оценка влияния каждого из перечисленных факторов сопряжена с возможными ошибками. Возникающие при пересчете погрешности в рамках данной методики исследования компенсируют назначением коэффициента запаса сопротивления усталости. Занижение величины этого коэффициента повышает риск усталостных повреждений конструкции, завышение приводит к увеличению металлоемкости. Нормативное значение коэффициента запаса сопротивления усталости для несущих конструкций тягового подвижного состава установлено на основе многолетнего опыта его эксплуатации.

Применительно к несущим элементам локомотивов и моторвагонного подвижного состава для обеспечения характеристик сопротивления усталости в России и странах СНГ реализован и много лет успешно практикуется второй из указанных подходов. Его целью является обеспечение отсутствия усталостных повреждений в деталях экипажной части и кузовов в течение назначенного срока службы. Соответствующие требования к прочности и динамическим качествам для данных типов подвижного состава, а также методика проведения динамико-прочностных испытаний в настоящее время закреплены в стандартах [1, 2, 3, 4].

Следует отметить, что имевшие место в практике обеспечения прочности рам тележек и кузовов тягового подвижного состава случаи отступления от данной методики (невыполнение требований относительно значений коэффициента запаса сопротивления усталости, обоснование прочности конструкции на основе

оценок долговечности при напряжениях выше предела выносливости), как правило, в эксплуатации после определенного времени сопровождались появлением в несущих конструкциях усталостных повреждений. В итоге требовалось проведение дорогостоящих и трудоемких мероприятий по ремонту и модернизации.

Отступления от принятой методики обеспечения прочности рам тележек и кузовов локомотивов и МВПС на сегодняшний день не должны допускаться по следующим причинам:

- в настоящее время практически невозможно в полном объеме проводить комплекс натурных усталостных испытаний кузовов и рам тележек для достоверного определения параметров кривых усталости, необходимых для прогнозирования циклической долговечности;
- длительный срок службы, широкий диапазон условий и полигонов эксплуатации обуславливают неопределенность факторов нагружения, затрудняют получение достоверных данных о распределениях амплитуд и циклах нагрузок, испытываемых конструкцией;
- реальные производственные условия не обеспечивают в серийном производстве стабильные характеристики сопротивления усталости сварных конструкций подвижного состава и не позволяют осуществлять прогнозы их циклической долговечности с приемлемой точностью.

Методика обеспечения прочности тягового подвижного состава. Данная методика, используемая для допуска к эксплуатации тягового подвижного состава, устанавливает ряд показателей прочности несущих элементов МВПС и локомотивов, определяет методы их контроля, базируется на трех основных видах испытаний:

- ходовые динамико-прочностные испытания для определения показателя n — коэффициенты запаса сопротивления усталости несущих элементов экипажной части, за исключением колесных пар, валов тягового привода, зубчатых колес и пружин рессорного подвешивания;
- стендовые вибрационные испытания для определения показателя сопротивления усталости рам тележек и промежуточных рам (балок, брусьев и т. п.) второй ступени рессорного подвешивания;
- испытания на соударение для определения прочности кузова порожнего вагона при действии нормативной силы соударения, приложенной по осям сцепных устройств применительно к моторвагонному подвижному составу, и прочности кузова (главной рамы) при действии нормативной силы соударения, приложенной по оси сцепного устройства применительно к локомотивам.

Оценку коэффициентов запаса сопротивления усталости n выполняют по результатам ходовых динамико-

прочностных испытаний локомотивов и МВПС (для порожнего и груженого состояний вагонов). Испытания проводят на участках магистральных путей протяженностью не менее 150 км со скоростями движения вплоть до конструкционной, с реализацией режимов тяги, выбега, торможения при движении в прямых и кривых участках пути и по стрелочным переводам.

Показатель n находят для несущих элементов тележки, кузова и элементов связи кузова с тележками по результатам тензометрирования наиболее напряженных мест конструкций, расположение которых определяют по опыту проведения аналогичных испытаний и из расчетов напряженно-деформированного состояния. Значения коэффициентов запаса сопротивления усталости вычисляют по формуле

$$n = \frac{\sigma_{-1p}}{K_\sigma \sigma_a + \psi_\sigma \frac{\sigma_m}{\alpha_\sigma}} \quad (1)$$

или

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_a + \psi_\sigma \frac{\sigma_m}{\alpha_\sigma}}, \quad (2)$$

где σ_{-1p} , σ_{-1} — значения пределов выносливости стандартного образца при растяжении-сжатии и при изгибе с симметричным циклом нагружения соответственно; σ_a , σ_m — амплитуда цикла напряжений и среднее значение цикла напряжений (максимальных в зоне концентрации) соответственно; ψ_σ — коэффициент, характеризующий влияние асимметрии цикла; K_σ — коэффициент, характеризующий понижение предела выносливости конструкции по отношению к пределу выносливости стандартного образца; α_σ — теоретический коэффициент концентрации напряжений.

Значение коэффициента α_σ принимают равным: 1,4 — для зон концентрации на границах сварных швов (кроме стыковых), в выточках и переходах с радиусами не более 150 мм; 1,1 — на границах сварных стыковых швов; 1,0 — для других зон.

В качестве σ_a используют максимальные амплитудные значения динамических процессов напряжений в элементах конструкций, зафиксированные в испытаниях тензометрированием несущих элементов тележки, кузова. Тензорезисторами оборудуют высоконагруженные зоны несущих деталей, зоны концентрации напряжений (сварные швы, выточки, участки конструкции с радиальными переходами). В зонах сварных соединений тензорезисторы с базой 5 мм устанавливают частично на деталь, частично на сварной шов. Середину тензорезистора следует совмещать с границей сварного шва. В результате тензорезисторами фиксируют напряжения, учитывающие эффект геометрической концентрации напряжений. В других

зонах возможна установка тензорезисторов с большей базой (10 или 20 мм).

В качестве σ_m принимают значения напряжений от постоянно действующих вертикальных статических нагрузок (получают по результатам статических испытаний тележки и расчетов).

При определении σ_a тензорезисторы наклеивают непосредственно в зонах концентрации напряжений. Поэтому величины σ_a и σ_m уже учитывают эффект геометрической концентрации напряжений. В то же время значения коэффициента K_σ рассчитывают, не учитывая данный эффект. Этим объясняется использование коэффициента α_σ в приведенных формулах для определения величин коэффициентов запаса сопротивления усталости.

Значения коэффициента K_σ рассчитывают по формуле

$$K_\sigma = \frac{K_1 K_2}{\gamma K_m} K_3, \quad (3)$$

где K_1 , K_2 , K_m , γ — коэффициенты, учитывающие влияние неоднородности материала, влияние внутренних напряжений в детали, состояние ее поверхности, влияние масштабного фактора соответственно; K_3 — корректирующий коэффициент, используемый для сварных соединений несущих конструкций экипажной части, за исключением несущих конструкций надрамного строения кузова (боковых стенок кузова, крыши кузова, лобовой и торцевой стенок и др.).

Для сталей и сплавов, свойства сопротивления усталости которых хорошо изучены и которые уже длительное время применяют при изготовлении конструкций тягового подвижного состава, эксплуатируемого на железных дорогах Российской Федерации, значения K_3 находятся в диапазоне от 1,0 до 1,4. В частности, значения K_3 принимают равными: 1,4 — для сплавов на основе алюминия; 1,0 — для малоуглеродистых прокатных сталей типа Ст15, Ст20, Ст3сп5; 1,2 — для низколегированных прокатных сталей типа 09Г2, 09Г2Д, 09Г2С, 09Г2СД и для коррозионно-стойких прокатных сталей.

Для новых марок прокатных сталей, не используемых ранее при изготовлении тягового подвижного состава для отечественных железных дорог, коэффициент K_3 определяют по результатам испытаний на усталость типовых сварных образцов, изготавливаемых из этих сталей. Корректирующий коэффициент позволяет одновременно учесть в методике особенности сварочных технологий конкретного производителя и свойства сопротивления усталости новых сталей в сравнении со сталью Ст3сп5, которая хорошо изучена в результате многолетней практики ее использования в конструкциях подвижного состава.

Типовой сварной образец представляет собой полую сварную балку прямоугольного сечения с наклад-

кой прямоугольной формы [1]. Образцы должны быть изготовлены на том же предприятии, которое выпускает конструкции, контролируемые по коэффициентам запаса сопротивления усталости. Накладку приваривают после изготовления и полного остывания балки. Не допускается после приварки накладки выполнять сглаживающую механическую обработку по границам ее сварных швов, а также применять способы упрочняющей и термической обработки.

Для определения корректирующего коэффициента изготавливают серию (не менее 10 шт.) типовых образцов сварных балок. Балки испытывают при различных амплитудах циклической нагрузки с коэффициентом асимметрии $R = 0,25$ на базе испытаний 10 млн циклов, что позволяет с достаточной точно-

стью определить предел выносливости балки. Вибрационный стенд АО «ВНИИЖТ» для испытаний типовых образцов сварных балок показан на рис. 1.

Основываясь на результатах испытаний, вычисляют величину корректирующего коэффициента по формуле

$$K_3 = \frac{\sigma_{-1} \sigma_{R(\text{СтЗсп5})}}{\sigma_R \sigma_{-1(\text{СтЗсп5})}}, \quad (4)$$

где σ_{-1} , $\sigma_{-1(\text{СтЗсп5})}$ — значения пределов выносливости (при изгибе с симметричным циклом нагружения) стандартных образцов из применяемой стали и из стали СтЗсп5 соответственно (принимают $\sigma_{-1(\text{СтЗсп5})} = 195$ МПа); σ_R , $\sigma_{R(\text{СтЗсп5})}$ — значения пределов выносливости типовых сварных образцов балок соответственно из применяемой стали (σ_R определяют при проведении стендовых вибрационных испытаний) и из стали СтЗсп5 (принимают $\sigma_{-1(\text{СтЗсп5})} = 90$ МПа) при изгибе с асимметричным циклом нагружения с коэффициентом асимметрии $R = 0,25$.

Значения коэффициентов запаса сопротивления усталости несущих элементов экипажной части, за исключением колесных пар, валов тягового привода, зубчатых колес и пружин рессорного подвешивания, найденные по данной методике, должны быть для стальных конструкций не менее 2,0 и для конструкций из алюминиевых сплавов не менее 2,2.

Для определения **показателя сопротивления усталости рам тележек и промежуточных рам** (балок, брусков и т. п.) второй ступени рессорного подвешивания проводят стендовые вибрационные испытания данных объектов на базе 10 млн циклов нагружения. К установленной на стенде раме прикладывают статические (постоянные) и циклические (переменные) нагрузки. Стенд АО «ВНИИЖТ» для проведения вибрационных испытаний с установленной на нем рамой тележки электровоза показан на рис. 2.

При нагружении рамы учитывают величины статических нагрузок (сил тяжести), а также величины основных циклических нагрузок на раму. Динамические составляющие вертикальных сил от веса над-рессорного строения и рамные силы принимают по результатам ходовых динамико-прочностных испытаний исследуемого подвижного состава (или по результатам математического моделирования его движения, если ходовые испытания не проводились). При стендовых вибрационных испытаниях воспроизводят одновременное нагружение рамы вертикальными и горизонтальными поперечными (рамными) силами, имеющими нормативные значения, определенные стандартами [1, 2, 3, 4]. В необходимых случаях нагружению подвергают кронштейны крепления тяг тяговых электродвигателей и другие кронштейны.



Рис. 1. Стенд для проведения вибрационных испытаний типовых образцов сварных балок
Fig. 1. Stand for vibration testing of type samples of welded beams

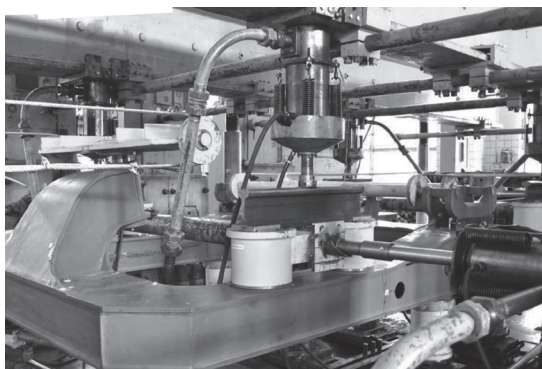


Рис. 2. Стенд для проведения вибрационных испытаний с установленной на нем рамой тележки электровоза
Fig. 2. Stand for carrying out vibration tests with mounted frame bogie of an electric locomotive

При возникновении усталостных трещин в процессе циклического нагружения регистрируют место возникновения трещины, ее длину и число циклов, при котором она была зафиксирована. В случае обнаружения усталостной трещины до 10 млн циклов нагружения по возможности и по согласованию с изготовителем проводят ремонт поврежденных мест и продолжают испытания до достижения базы нагружения. Таким образом выявляют все места конструкции с недостаточной прочностью для последующей доработки.

Считается, что рама соответствует нормативному требованию по рассматриваемому показателю, если в результате стендовых вибрационных испытаний после 10 млн циклов нагружения в ней отсутствуют усталостные трещины. Наибольшая вероятность их появления характерна для сварных соединений, содержащих технологические дефекты сварки (подрезы, раковины, поры, непровары и др.), являющиеся источниками концентрации напряжений. За счет совершенствования технологии можно улучшить качество сварных соединений и сократить количество дефектов сварки, но исключить их полностью в условиях серийного производства практически невозможно. Прочность сварных узлов зависит от конструкторских решений на этапе проектирования. Рациональный выбор таких параметров, как форма соединяемых деталей, размеры и схема расположения сварных швов, виды разделки под сварку соединяемых деталей, позволяет снизить общий уровень напряженного состояния в зонах сварных соединений и, соответственно, уменьшить влияние эффекта концентрации напряжений, создаваемого дефектами сварки. Стендовые вибрационные и ходовые испытания рам тележек локомотивов и вагонов электропоездов позволяют своевременно выявить узлы рам, имеющие технологические и конструктивные недостатки.

В испытаниях на соударение определяют показатель прочности кузова порожнего вагона при действии нормативной силы соударения, приложенной по осям сцепных устройств для МВПС, прочности кузова (главной рамы) при действии нормативной силы соударения, приложенной по оси сцепного устройства для локомотивов. Нормативная сила соударения составляет: 1500 кН — для одновагонного МВПС (электромотриса, автомотриса, одновагонный рельсовый автобус); 2000 кН — для МВПС, имеющего более одного вагона (дизель-поезд, электропоезд, рельсовый автобус); 2000 кН (минимальное значение) — для пассажирского локомотива; 2500 кН (минимальное значение) — для грузового локомотива.

Для МВПС в случае изготовления кузовов вагонов из некоррозионностойких сталей нормативную силу



Рис. 3. Испытания на соударения:
1 — головной вагон электропоезда «Сапсан»; 2 — вагон-боек
Fig. 3. Impact tests:
1 — head car of the Sapsan EMU train; 2 — car striker

соударения для передней консоли головного вагона увеличивают на 500 кН. Этим компенсируется деградация прочностных характеристик несущих конструкций вследствие коррозии в течение длительного срока службы подвижного состава. Однако при оснащении головных вагонов МВПС устройствами поглощения энергии аварийной крэш-системы такого увеличения нормативной силы не осуществляют.

Для локомотивов при предъявлении специальных требований заказчика сила соударения также может быть увеличена на 500 кН (до максимального значения).

В испытаниях воспроизводят столкновение единиц подвижного состава, при котором сила удара на конструкцию кузова испытываемого вагона (локомотива) передается через сцепное устройство. Применяют следующие схемы испытаний: испытываемый вагон (локомотив) отдельно (или в сцепе с другими вагонами) накатывают на заторможенный состав; вагон-боек накатывают на испытываемый вагон (локомотив), стоящий в голове заторможенного состава. Накат осуществляют с помощью вспомогательного локомотива или в результате спуска с горки ударной единицы подвижного состава.

При испытаниях измеряют силу удара в сцепное устройство, для чего оборудуют штатное сцепное устройство испытываемого вагона тарированной тензометрической схемой. При соударении осуществляют записи процессов напряжений в несущих элементах кузова, оборудованных тензорезисторами. Тензорезисторы устанавливают в зонах конструкции, в которых предварительными расчетами получены высокие напряжения, или в зонах, выбранных по опыту испытаний аналогичных типов подвижного состава.

Проводят несколько опытов на соударение с реализацией сил различной величины. Поскольку в каждом опыте реализуется своя сила, которая, как правило, отличается от точного значения нормативной

силы, проводят процедуру экстраполяции. Фактическое значение напряжения, соответствующее нормативной силе соударения, определяют по линейной зависимости, построенной методом наименьших квадратов на основе опытных данных.

Требование к прочности по данному показателю считают выполненным, если напряжения σ , измеренные в несущих элементах конструкции при действии нормативной силы соударения, не превышают предела текучести $\sigma_{0,2}$ материала, из которого изготовлена конструкция, $\sigma \leq \sigma_{0,2}$.

На рис. 3 показан момент проведения испытаний на соударение головного вагона электропоезда «Сапсан».

Перечисленные виды испытаний в совокупности позволили решить проблему прочности несущих элементов конструкции тягового подвижного состава на отечественных железных дорогах. Применение данных испытаний следует рассматривать в комплексе, в рамках единой методики обеспечения прочности, которая проверена многолетним опытом безаварийной эксплуатации. Вносимые изменения должны сопровождаться научным обоснованием, экспериментальными исследованиями, наблюдениями за спроектированными по новым требованиям опытными машинами. Как правило, производители не имеют стремлений проводить подобные затратные исследования. С появлением новых типов подвижного состава могут возникать потребности совершенствования требований прочности, их адаптации к новым условиям. Этот естественный процесс также должен проходить с большой осторожностью и при проведении соответствующих исследований.

Основные положения изложенной в настоящей статье методики оценки прочности экипажной части локомотивов и МВПС, а также виды динамико-прочностных испытаний, выполняемые в рамках данной методики, сформированы эволюционным путем на протяжении более чем полвека проведения работ по обеспечению прочности отечественного тягового подвижного состава. Основные положения используемой методики первоначально сформулированы в [5] для локомотивов. Документ содержит требования по назначению коэффициентов запаса сопротивления усталости для деталей несущих конструкций из стали не менее 2. Требования испытаний на усталость типовых образцов сварных балок первоначально появились в [6].

Заключение. В статье приведены основные положения методики, применяемой в настоящее время на железных дорогах Российской Федерации и стран СНГ для контроля требований к прочности несущих

конструкций локомотивов и МВПС, а также допуска данных типов подвижного состава к эксплуатации. Описаны виды динамико-прочностных испытаний, перечислены показатели прочности, указаны методы их определения. Изложенные требования прочности и методы контроля в настоящее время закреплены в ГОСТ 33796–2016, ГОСТ Р 55496–2013, ГОСТ Р 55513–2013, ГОСТ Р 55514–2013. На сегодняшний день описанная методика успешно решает проблему прочности несущих конструкций тягового подвижного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 33796–2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. М.: Стандартинформ, 2016. 36 с.
2. ГОСТ Р 55496–2013. Моторвагонный подвижной состав. Методика динамико-прочностных испытаний. М.: Стандартинформ, 2014. 48 с.
3. ГОСТ Р 55513–2013. Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам. М.: Стандартинформ, 2014. 42 с.
4. ГОСТ Р 55514–2013. Локомотивы. Методика динамико-прочностных испытаний. М.: Стандартинформ, 2014. 14 с.
5. Технические требования к проектируемым локомотивам по условиям прочности, динамики и воздействия на путь. М.: Трансжелдориздат, 1964. 157 с.
6. Основные технические требования к перспективной прокатной стали для несущих сварных конструкций подвижного состава. М.: МПС, 1978. 27 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОЧЕРГИН Виктор Васильевич,

канд. техн. наук, заведующий комплексным отделением «Транспортная механика», АО «ВНИИЖТ»

БУХАНЦЕВ Андрей Александрович,

канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Экспериментальные исследования динамики и прочности экипажей тягового подвижного состава», комплексное отделение «Транспортная механика», АО «ВНИИЖТ»

ПАНКРАТОВА Ирина Герасимовна,

ведущий инженер, отдел «Центр испытаний и сертификации», отделение «Испытательный центр железнодорожной техники», АО «ВНИИЖТ»

РУСАНОВ Олег Александрович,

д-р техн. наук, профессор, кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов», ФГБОУ ВО «Московский политех»; главный научный сотрудник, лаборатория «Теоретические исследования и математическое обеспечение испытаний», комплексное отделение «Транспортная механика», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 25.06.2018 г., принята к публикации 17.10.2018 г.

Experience in ensuring the strength of the supporting structures of locomotives and electric multiple units

V. V. KOCHERGIN¹, A. A. BUKHANTSEV¹, I. G. PANKRATOVA¹, O. A. RUSANOV^{2, 1}

¹ Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

² Federal State Budgetary Establishment of Higher Education "Moscow Polytechnic University" (FGBOU VO "Moscow Polytech"), Moscow, 107023, Russia

Abstract. To ensure fatigue strength of metal structures in mechanical engineering, various approaches are practiced. One of them allows for the appearance of cyclic stresses in details with amplitudes exceeding the fatigue limit. Typically, this approach is justified where the loads are fairly regular and ample opportunities for fatigue testing exists, but the requirement of a minimum metal consumption is critically important as well. Another approach to ensuring fatigue strength does not allow the possibility of cyclic stresses with amplitudes exceeding its endurance limit in the designed structure. With regard to the supporting elements of locomotives and electric multiple units (EMU) to ensure the fatigue resistance characteristics in Russia and the CIS countries, the second of these approaches has been implemented and successfully practiced for many years. Its purpose is to ensure the absence of fatigue damage in the parts of the carriage and the body during the designated service life. Relevant requirements for strength and dynamic qualities for these types of rolling stock, as well as the method of conducting dynamic strength tests are currently formalized in the standards. The article presents the main provisions of the methodology currently used on the railways of the Russian Federation and CIS countries to control the strength requirements of load-bearing structures of locomotives and EMUs, as well as the admission of these types of rolling stock to operation. Types of dynamic strength tests are described, strength indicators are listed, methods for their determination are indicated. Today, this technique successfully solves the problem of the strength of load-bearing structures of traction rolling stock.

Keywords: locomotive; EMU; body; bogie frame; strength; dynamic strength tests

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-2-67-73>

REFERENCES

1. GOST 33796–2016. *Motorized rolling stock. Requirements for strength and dynamic qualities*. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 36 p. (in Russ.).

■ E-mail: newmalina@mail.ru (O. A. Rusanov)

2. GOST R 55496–2013. *Motorized rolling stock. Methods of dynamic strength tests*. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 48 p. (in Russ.).

3. GOST R 55513–2013. *Locomotives. Requirements for strength and dynamic qualities*. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 42 p. (in Russ.).

4. GOST R 55514–2013. *Locomotives. Methods of dynamic strength tests*. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 14 p. (in Russ.).

5. *Technical requirements for designed locomotives under the terms of strength, dynamics and impact on the track*. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1964, 157 p. (in Russ.).

6. *Main technical requirements for prospective rolling steel for bearing welded structures of rolling stock*. Moscow, MPS Publ., 1978, 27 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Viktor V. KOCHERGIN,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the Complex Department "Transport mechanics", JSC "VNIIZhT"

Andrey A. BUKHANTSEV,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory "Experimental studies of the dynamics and strength of the carriages of the rolling stock", Complex Department "Transport mechanics", JSC "VNIIZhT"

Irina G. PANKRATOVA,

Leading Engineer, Department "Center for Testing and Certification", Department "Testing Center of Railway Engineering", JSC "VNIIZhT"

Oleg A. RUSANOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department "Dynamics, durability of machines and resistance of materials", FGBOU VO "Moscow Polytech"; Chief Researcher, Laboratory "Theoretical studies and mathematical support of tests", Complex Department "Transport mechanics", JSC "VNIIZhT"

Received 25.06.2018

Accepted 17.10.2018

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Научное сопровождение развития высокоскоростных магистралей в России: коллективная монография / под ред. А. Б. Косарева, О. Н. Назарова. М.: РАС, 2018. 119 с. (Труды АО «ВНИИЖТ»).

Рассмотрены вопросы научно-технического сопровождения работ, связанных с созданием, испытаниями, вводом в эксплуата-

Певзнер В. О. Научные основы системы управления состоянием пути. М.: РАС, 2018. 272 с.

Рассмотрены цели и задачи систем управления состоянием пути, организации технического обслуживания пути, методы оценки воздействия подвижного состава на путь и возможности их совершенствования, вопросы работы пути в условиях повышения осевых нагрузок подвижного состава, опыт унификации ширины колеи на «Российских железных дорогах» и оптимизации возвышения наружного рельса в кривых, перспективные направления совершенствования системы оценки состояния пути и его технического обслуживания.

цию систем инфраструктуры и высокоскоростного подвижного состава отечественных железных дорог.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта, а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

Книга предназначена для работников железных дорог, сотрудников научных и научно-технических организаций, связанных с эксплуатацией и строительством железнодорожного пути; может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам транспортных вузов.

По вопросам приобретения книг обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.