

$$N_{\text{деп.}i} = N_i z_{\text{деп.}i}; \quad (1)$$

$$N_{\text{кап.}i} = N_i z_{\text{кап.}i}, \quad (2)$$

где N_i – инвентарный парк вагонов; $z_{\text{деп.}i}$, $z_{\text{кап.}i}$ – коэффициент потребности вагонов инвентарного парка в деповском и капитальном ремонтах соответственно.

Коэффициенты потребности в деповском и капитальном ремонтах определяются по следующим зависимостям:

$$z_{\text{деп.}i} = \frac{D_k S_{\text{ср.}i}}{[nl]_i}; \quad (3)$$

$$z_{\text{кап.}i} = \frac{\alpha_{i-1}}{T_{\text{сл}}} + \frac{\gamma_i}{T_{\text{сл}}}, \quad (4)$$

где D_k – число календарных дней в году; $S_{\text{ср.}i}$ – среднесуточный пробег i -го типа вагона, км, $[nl]_i$ – нормативный межремонтный пробег i -го типа вагонов, км; α_i – общее количество межремонтных циклов за период, равный сроку службы вагона i -го типа; γ_i – доля вагонов i -го типа со сверхназначенным сроком службы; $T_{\text{сл}}$ – нормативный срок службы вагона i -го типа.

Тогда зависимость (1), с учетом того, что межремонтный норматив определяется не только пробегом, но и календарной продолжительностью, можно записать так:

$$N_{\text{деп.}i} = N_i \frac{D_k S_{\text{ср.}i}}{[nl]_i} K_i, \quad (5)$$

где K_i – коэффициент, учитывающий ненаработку i -типа вагонов, $K_i > 1$.

Экономико-математические методы расчета позволили установить коэффициенты, обосновать потребность в выполнении деповского и капитального ремонта вагонов инвентарного парка и рассчитать производственная мощность вагоноремонтной базы:

$$\sum_{i=1}^n M_{\text{вчд}} = (N_{\text{деп.}i} + N_{\text{кр.}i}) \varphi, \quad (7)$$

где φ – коэффициент, учитывающий наличие (резерв) производственной мощности.

Полученные результаты научных исследований имеют практическую значимость при решении вопросов, связанных с эффективностью выделяемых средств на выполнение плановых видов ремонта вагонов и планированием расходов на развитие вагоноремонтной базы, что обеспечивает качественное и своевременное проведение ремонта и в целом ведет к повышению эффективности работы вагонного хозяйства.

Список литературы

1 **Гридюшко, В. И.** Вагонное хозяйство: учеб. пособие для вузов / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.

3 **Сенько, В. И.** Информационные модели в управлении вагонными парками: [монография] / В. И. Сенько, Е. П. Гурский. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 296 с.

УДК 621.869.88 : 629.463.3

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТАНК-КОНТЕЙНЕРОВ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НАГРУЖЕНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. И. СЕНЬКО, С. В. МАКЕЕВ, П. М. БУЙЛЕНКОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Танк-контейнеры (контейнеры-цистерны) являются интермодальными транспортными единицами, то есть не требующими осуществления перегрузки продукции на специальных терминалах

при смене вида транспортировки (морской, железнодорожной, автомобильной). Подобная универсальность повышает рентабельность перевозок – задействовано меньшее количество логистических операций, а следовательно, и меньшая величина тарифов за перевозку.

Учитывая свою универсальность, конструкции танк-контейнеров по прочности должны выдерживать нагрузки, возникающие при эксплуатации на железнодорожном, морском и автомобильном транспорте. Каждый танк-контейнер для допуска к эксплуатации должен получить сертификат соответствия требованиям безопасности Российского морского регистра судоходства согласно нормативным документам.

Помимо статических испытаний новые контейнера подвергаются динамическим испытаниям на стенде-горке с построением кривой спектра ударного отклика (СУО). Методика ударных испытаний регламентирует установку загруженного танк-контейнера на платформу, при этом ограничиваются перемещения танк-контейнера во всех направлениях и минимизируются зазоры между фитинговыми упорами и фитингами. Оценка прочности контейнера проводят при помощи двух акселерометров, сигнал от которых служит данными для построения кривой СУО. Сила удара считается достаточной, если кривая спектра ударного отклика, полученная при испытаниях, будет превышать минимальную кривую спектра ударного отклика на всех частотах от 3 до 100 Гц. Обычно положительный результат достигается после проведения нескольких ударов. При этом должны отсутствовать остаточные деформации или повреждения.

Этот подход к оценке прочности танк-контейнера разнится с тем подходом, который реализует расчетчик, когда оценивает прочность конструкции по напряжениям. При этом задание граничных условий в рассчитываемой модели осуществляется согласно нормативным документам Российского морского регистра судоходства и не учитываются режимы эксплуатации железнодорожного транспорта.

Наиболее жесткий и экстремальный по нагрузкам режим эксплуатации контейнера-цистерны является спуск вагонов с сортировочных горок. В этом случае, согласно [1], продольная нагрузка, приходящаяся в автосцепку вагона с закрепленным на нем танк-контейнером, может достигать 3,5 МН.

Целью данной статьи была оценка прочности прототипа танк-контейнера и изменения напряжений по опасным зонам при различных эксплуатационных режимах, основываясь на результатах расчета конечно-элементной модели и проведения натурного эксперимента.

Опыт испытательного центра железнодорожного транспорта «СЕКО» проведения работ по испытаниям грузовых танк-контейнеров показывает, что в ходе проведения ударных испытаний из-за сочетания особенностей конструкции фитинговых упоров и продольных нагрузок большой величины происходит их износ. Отсутствие жесткого закрепления контейнера на платформе, наличие зазора между фитингом танк-контейнера и фитинговым упором на вагоне, а также износом в эксплуатации самих фитинговых упоров приводит к тому, что при соударении вагонов контейнер воспринимает ударную нагрузку не всегда одинаково. То есть нагрузка при ударе передается не на все четыре фитинга одинаково, как моделируют расчетчики. Наблюдается значительное подпрыгивания контейнера сразу после удара. При этом подпрыгивать могут как передние, так и задние фитинги. Часто нагрузку от удара воспринимают только диагональные фитинги или фитинги с одной стороны контейнера.

В таблице 1 приведены сочетания нагрузок и граничных условий при расчете танк-контейнера, учитывающие поведение его при ударе.

Таблица 1 – Сочетания нагрузок и граничных условий при расчете танк-контейнера модели Т11

	Вариант расчета				
	1	2	3	4	5
Поперечные связи	Во всех нижних фитингах				
Вертикальные связи					
Продольные связи	В двух нижних фитингах с ударной стороны	В двух нижних фитингах с ударной стороны	Во всех нижних фитингах	В двух нижних фитингах по диагонали танк-контейнера	
Продольная нагрузка	–	В двух нижних фитингах с ударной стороны	–	–	

В рамках проводимой на полигоне ИЦ ЖТ «СЕКО» работы произведены натурные испытания с целью анализа поведения танк-контейнера на платформе при ударе. Для регистрации напряжений, возникающих в конструкции, танк-контейнер оборудовался тензорезисторами. Согласно скриншо-

там видеозаписи с высокой частотой кадров, в момент удара контейнера-цистерны фитинги с ударной стороны приподнимаются над площадкой фитингового упора, при этом вся нагрузка передается на дальние фитинги.

Проведенная серия расчетов конечно-элементной модели контейнера-цистерны с различными вариантами нагрузок и закрепления, а также натурный эксперимент показали, что возникающие напряжения в элементах рамы в одном и том же месте могут меняться на величину 50 %. Поэтому на стадии проектирования, при оценке прочности танк-контейнеров необходимо проводить серию расчетов с различными вариантами граничных условий и нагрузок.

При ударе контейнер ведет себя по-разному на платформе, что ведет к перераспределению напряжений в конструкции контейнера. При проведении прочностных расчетов на стадии проектирования необходимо это учитывать.

УДК 625.143

ОСОБЕННОСТИ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В. И. СЕНЬКО, С. В. МАКЕЕВ, В. В. КОМИССАРОВ, ЛЮ ПИН, У СЯОЛУ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Датунский локомотивостроительный завод,

Производственное унитарное предприятие «Куэк-Дтлоко», Китайская Народная Республика

Одним из основных механизмов обеспечения безопасности и повышения качества производимой железнодорожной продукции на территории Таможенного союза является система технических регламентов, которые содержат обязательные для применения и исполнения требования к создаваемой (в том числе модернизируемой) продукции. Такая система, с учетом постоянно обновляемой нормативной базы и создаваемой инновационной продукции, требует постоянного совершенствования применяемых методик испытаний и подходов в практике подтверждения соответствия объектов железнодорожного транспорта.

В настоящее время Белорусская железная дорога обновляет парк электровозов китайского производства тип БКГ. В рамках проводимых работ по сертификации данной продукции возникла необходимость оценки надежности зубчатых колес привода первого уровня БКГ-2. Известно (в том числе и в соответствии с требованиями ГОСТ 30803–2014), что основными видами разрушения зубчатых колес является усталостный излом зубьев, происходящий у основания ножки зуба, и усталостное выкрашивание рабочей поверхности зуба. При перегрузках возможно развитие пластических деформаций и излом зубьев. При неудовлетворительных условиях смазки возможно развитие заедания. В связи с этим для зубчатых колес на практике используются два основных метода испытаний: на усталостный изгиб зубьев и на контактную выносливость их рабочих поверхностей.

Усталостные испытания зубьев на изгиб позволяют оценить влияние конструктивных особенностей, материала, характера термообработки и упрочнения поверхности на предел выносливости и (или) долговечность зубчатых колес. В конечном итоге это позволяет обнаружить причины преждевременного разрушения.

В соответствии с п. 4.15 ГОСТ 30803–2014 критерием предельного состояния по контактной выносливости колеса принимается износ его зубьев, характеризуемый степенью уменьшения толщины зуба не более 0,3 модуля. Поэтому несмотря на большую распространенность в эксплуатации контактного выкрашивания поверхностей и изменения формы зубьев это не приводит к внезапным отказам в их работе. Главная опасность состоит в изломе зубьев, так как в результате происходит моментальный отказ, что может вызвать большие сбои графика движения поездов, а также привести к перекрытию целой железнодорожной магистрали.

Определение долговечности зубчатых передач обычно осуществляется на нагрузочных стендах с замкнутым и разомкнутым энергетическим контуром. В этом случае испытанию подвергается в целом зубчатая передача или редуктор, что требует дорогостоящего и нестандартного оборудования и значительных затрат времени и средств на испытания. Так как в реальных условиях эксплуатации нагрузка, испытываемая зубьями при работе зубчатой передачи, изменяется от нуля до мак-