

гом колец подшипников на шейках осей колесных пар во многих случаях обуславливают преждевременный (до установленной наработки по пробегу) выход из строя буксовых узлов вагонов. Их беззатратное функционирование и осуществление установленных (нормативной документацией) ремонтов зависит от качества получаемых при сборке тепловых поперечно-прессовых соединений колец подшипников. Исходя из актуальности освоения новых прогрессивных технологий в вагостроении и в вагоноремонтном производстве, изыскания рациональных конструктивных и технологических решений (с целью повышения межремонтного пробега подвижного состава и безопасности движения поездов) в отраслевой научно-исследовательской лаборатории «ТТОРЕПС» БелГУТа проводятся работы по созданию и исследованию эффективного метода контроля качества сборки тепловых напрессовок колец подшипников колесных пар вагонов и демонтажа колец с шеек осей с использованием маслосъема, совершенствованию механической распрессовки соединений с гарантированным натягом цельнокатаных колес и осей вагонных колесных пар.

Отсутствие эффективного выходного контроля получаемых тепловых соединений с натягом при изготовлении и ремонте роликовых колесных пар обуславливает достаточно высокую вероятность получения посадок с завышенными и заниженными величинами натягов по сравнению с установленными (согласно ТНПА) в сопряжениях «шейка оси – кольцо подшипника». Это вызывает повышение трещинообразования у внутренних колец буксовых роликовых подшипников и ослабление посадки колец с их проворачиванием на шейках осей. Отмеченные дефекты зачастую являются причиной интенсивного грения буксовых узлов колесных пар вагонов в эксплуатации с тяжелыми последствиями. Требуется не допускать на стадиях изготовления и ремонта вагонных колесных пар получения упомянутых напрессовок, реализуя в производстве неразрушающий эффективный контроль прочности формируемых соединений с гарантированным натягом. Целесообразными являются технические разработки систем контроля механических и тепловых напрессовок колесных пар вагонов и локомотивов на основе ЭВМ для специализированных поточных технологических линий. Это позволяет автоматизировать и оптимизировать процессы оценки работоспособности получаемых соединений (буксовых подшипников колесных пар, цельнокатаных колес, шестерен тяговых двигателей и пр.).

Проведено патентно-информационное исследование, выполнены разработки по обоснованию эффективного способа контроля прочности сопряжения тепловых поперечно-прессовых соединений колец буксовых подшипников с шейками осей по уровню напряженно-деформированного состояния (НДС) напрессованной детали. Новизна и полезность предложенного способа технической диагностики и технологической оснастки для его осуществления подтверждается рядом полученных патентов РБ и РФ на изобретения и полезные модели. Разработана методика оценки прочности соединений по показателям НДС, в основу которой заложен базовый принцип тензометрического контроля по замерам: а) оценочных нормальных растягивающих напряжений на поверхности чувствительного элемента измерительного устройства, устанавливаемого концентрично относительно контролируемого кольца подшипника, б) деформаций на наружной поверхности напрессованного кольца подшипника.

Предложенная методика осуществления контроля прочности, проверенная в производственных условиях вагонного депо при тепловой напрессовке колец подшипников, может быть использована и при оценке прочности механической напрессовки цельнокатаных колес на оси колесных пар. Дано научное обоснование и разработана методика по технической диагностике соединений для оценки прочности напрессовки колец подшипников с применением гидрораспора (ГПРТ) в зоне их сопряжения с шейками осей колесных пар. Признаны изобретениями новый способ неразрушающего контроля прочности напрессовки и устройства для его осуществления (RU 2329478 C1; RU 2415391 C1; BY 13116 C1; BY 15308 C1). Научная и практическая значимость проделанной работы в целом заключается в разработке и теоретическом обосновании принципиально нового способа контроля прочности сопряжения соединений с натягом колесных пар вагонов. Разработаны способ прямого контроля прочности напрессовки колец подшипников на относительный аксиальный сдвиг и устройства для его осуществления, а также рациональные устройства для распрессовки колец подшипников (BY 16667 C1; BY 7009 U; BY 8197 U).

УДК 623.486

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ПОДВИЖНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ВВТ**

*Н. В. ЧЕРНЫЙ, С. С. СТЕПАНОВ*

*Академия сухопутных войск МО Украины, г. Львов*

*Д. Н. ШЕВЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Успешное решение боевой задачи в значительной степени зависит от исправности вооружения и военной техники (ВВТ), которыми оснащены подразделения, части и соединения. В условиях ресурсных ограничений задача поддержания образцов ВВТ в готовности к использованию стоит особенно остро.



С целью определения состояния образцов вооружения для принятия соответствующих решений предлагается усовершенствованная методика оценки показателей надежности образцов ВВТ на основе наблюдений, которая учитывает особые требования к содержанию и эксплуатации образцов ВВТ, обусловленные недопустимостью доводить образцы до отказа и необходимостью поддерживать постоянную готовность к использованию.

С помощью предлагаемой методики, в которой реализован ранговый подход к построению оценок вероятности безотказной работы, обеспечена возможность обработки не только данных о наработке образцов до отказа функционирования, но и до параметрических отказов. Использование данных о моментах отказов объектов в период наработки, начало которого отлично от начала эксплуатации (или после ремонта) приводит к получению оценки условной вероятности безотказной работы образцов ВВТ, которая имеет меньшую информативность по сравнению с безусловной вероятностью безотказной работы. При таких условиях целесообразен переход к другому показателю безотказности – параметру потока отказов – учитывая, что образцы ВВТ находятся в установившемся режиме эксплуатации. Оценку параметра потока отказов производят посредством аппроксимации полученных оценок условной вероятности безотказной работы образцов ВВТ с подбором регрессионной зависимости вероятности безотказной работы от наработки и численным решением уравнения Вольтерра.

Для апробации предлагаемой методики выбран пример системы, которая обеспечивает подвижность ВВТ и состоит из трех подсистем (двигатель, трансмиссия, ходовая часть) с различающимися значениями параметра потока отказов. Подобная система является нерезервированной с восстанавливаемыми элементами, ее функционирование организовано по принципу «слабого звена» (с последовательным соединением блоков на структурной схеме надежности).

Компьютерное моделирование надежности ВВТ выполняется в пакете автоматизации имитационного моделирования «СМ-ДЭС». Работа модели начинается с генерирования значений наработки до отказа элементов системы. Предварительно для генератора случайных величин задаются начальные данные: оценка параметра потока отказов (полученная способом, упомянутым выше) и необходимое количество реализаций.

Генерируемые величины наработки до отказа каждого элемента системы определяют общую матрицу наработки до отказа системы в соответствии со структурной схемой надежности. Поиск наработки модели системы на отказ выполняется для  $K$  последовательных отказов. При этом выполняется  $N$  независимых имитационных экспериментов, что обеспечивает расчет средней наработки на каждый 1, 2, ...,  $K$ -й отказ системы.

Наряду с генерацией наработок элементов системы до отказа, моделируется и время их восстановления. Оценивается среднее время восстановления системы. По средней наработке на отказ и среднему времени восстановления определяется коэффициент готовности образцов ВВТ. Анализ изменения коэффициента готовности позволит оценить готовность образцов ВВТ к использованию и спланировать мероприятия по поддержанию ее определенного уровня.

УДК 629.114.2

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПЕРЕГОРОДОК НА КОЛЕБАНИЯ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРАХ АВОЦИСТЕРН

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, М. Г. КУЗНЕЦОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Колебания жидкого груза внутри резервуара автоцистерн приводят к существенному снижению продольной и поперечной устойчивости и управляемости и увеличивают нагрузки на конструкцию. Основным мероприятием по снижению влияния колебаний жидкости внутри резервуаров на динамику транспортных средств является установка внутренних перегородок. Цель представленной работы – разработка методики анализа влияния формы перегородок на демпфирование колебаний жидкости в резервуаре.

Моделирование процессов перетекания жидких грузов в цилиндрическом резервуаре выполнено с помощью программного комплекса конечноэлементного анализа ANSYS Workbench. С целью выяснения особенностей поля скоростей и распределения давлений жидкости в резервуаре рассмотрены случаи движения цистерн, имеющих длину 4 м и диаметр 2 м, с постоянным замедлением 0,6g. Начальная скорость движения принималась равной 15 м/с. Шаг по времени изменялся в пределах 0,01–0,015 с. Уровень заполнения цистерн принимался равным 50 и 60 %, что соответствует наименее безопасным условиям движения автоцистерн. Физические характеристики транспортируемой жидкости соответствовали воде.

Первая модель (с перегородкой высотой 1 м, что составляет половину высоты резервуара) включала 123962 конечных элементов. Результаты расчета показали, что в процессе торможения гидродинамическое давление в торцевой части резервуара достигает  $1,1 \cdot 10^6$  Па, что на 25–30 % больше значений для других об-