

ханической системы и доказал свою эффективность для задач оптимизации по критерию повреждаемости, значительно сократив вычислительные затраты по сравнению с традиционным анализом локальных напряженно-деформированных состояний.

5 Новая постановка контактной задачи для системы «колесо – рельс». Разработана трибофатическая модель, впервые учитывающая как контактное взаимодействие с трением, так и неконтактное деформирование рельса на упругом основании под нагрузкой от подвижного состава. Такой подход позволяет учесть полную объемную повреждаемость системы, величина которой примерно на 40 % превышает оценки, полученные в рамках классической трибологии. Это открывает новые возможности для решения проблемы аномально высокого износа («колесно-рельсовый вирус») в условиях тяжеловесного движения.

6 Инновационный материал. Разработан принципиально новый конструкционный материал МОНИКА, сочетающий уникальные свойства: прочность высоколегированных сталей (до 1500 МПа); технологичность и литейные качества чугуна; повышенную пластичность (относительное удлинение до 4 %); высокую контактную выносливость и самосмазываемость. Особенностью материала является аномальная зависимость механических характеристик – рост прочности при увеличении пластичности. Материал успешно применяется для замены сталей в ответственных узлах: зубчатых передач, режущих органов сельхозтехники, железнодорожных рельсов.

7 Передовые методы моделирования. Создана и реализована модель взаимодействия множества деформируемых тел, основанная на системе граничных интегральных уравнений. Метод позволяет моделировать сложные контактные взаимодействия, определять неизвестные поверхности контакта, учитывать зоны проскальзывания и сцепления.

8 Высокопроизводительные вычисления. Внедрены квантоподобные вычисления, использующие концепцию суперпозиции полей состояний. Применение графических ускорителей позволило достичь ускорения расчетов в 600 раз.

9 Медицинские приложения. Разработана методика моделирования зубочелюстной системы человека, обеспечивающая анализ контактных взаимодействий элементов; определение напряженно-деформированного состояния; оптимизацию биомеханической системы; персонализированный подход на основе томографических данных.

10 Нанотехнологии. Создан метод электромагнитно-силового управления нанообъектами, позволяющий осуществлять макроперемещения на расстояния до нескольких метров; использовать токопроводящий посредник и силы Ван-дер-Ваальса; учитывать магнитное сопротивление и диэлектрическую проницаемость среды.

В перспективе дальнейшее развитие трибофатики и механотермодинамики может осуществляться по следующим направлениям: совершенствование методологии решения контактных задач множественных тел; развитие теории определения объемной повреждаемости; создание методов анализа многокритериальных предельных состояний; учет сложного комбинированного нагружения.

Разработанная обобщенная теория эволюции систем по повреждаемости создает основу для прогнозирования долговечности и надежности сложных технических систем в условиях экстремальных эксплуатационных нагрузок.

Список литературы

1 Щербаков, С. С. Механотермодинамика и трибофатика: достижения и перспективы / С. С. Щербаков // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. – Минск : ОИИ НАНБ, 2018. – Вып. 7. – С. 18–26.

УДК 625.143

ПРЯМОЙ И ОБРАТНЫЙ ЭФФЕКТЫ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО – РЕЛЬС»: КАК УПРАВЛЯТЬ НАДЕЖНОСТЬЮ ЧЕРЕЗ ТРИБОФАТИКУ

В. В. КОМИССАРОВ, Е. С. ТАРАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Со второй половины XX века ключевым вектором технического прогресса является повышение производительности машин и оборудования, что выражается в росте нагрузок, скоростей и температур в различных элементах, узлах и системах. Для решения вопросов обеспечения надежности и

безопасности, возникающих в связи с этим, требуется реализация дополнительных мероприятий, что вступает в противоречие с жесткими требованиями рыночной экономики по минимизации издержек. Это противоречие делает задачу оптимизации ключевым приоритетом, что особенно актуально для системы «колесо – рельс» в эпоху развития тяжеловесных железнодорожных перевозок.

В рамках работ научной школы «Трибофатика» отмечается, что, несмотря на фундаментальную важность системы «колесо – рельс» для железнодорожного транспорта и активное обсуждение проблемы как на региональном, так и на международном уровне, на практике всё равно имеют место масштабные убытки от контактно-усталостных повреждений, а задача ее оптимизации до сих пор не только не решена, но и не получила четкой формулировки. В работах ученых данного направления предлагается концепция восполнения наблюдаемого пробела, путем постановки данной задачи с позиции трибофатики, т. е. с позиции многокритериальной оптимизации системы «колесо – рельс» для существующих условий движения [1].

Это стало возможным в связи с тем, что со второй половины XX века сформировалось понимание о силовых системах (в частности, «колесо – рельс»), процессы трения в которых протекают на фоне циклического объемного деформирования, по крайней мере, одного из взаимодействующих элементов (например, рельса). Проведенные всесторонние исследования и работы других авторов показали, что неконтактные циклические нагрузки (растяжение, сжатие, изгиб, кручение) в зависимости от условий эксплуатации могут существенно влиять на силу и коэффициент трения в силовой системе. В частности, установлено, что износ в силовых системах способен как значительно снижать (до двух раз), так и повышать (примерно на 10–20 %) усталостную прочность ее элементов. Это явление, известное как **прямой эффект в трибофатике**, показало, что традиционно считавшийся вредным износ может служить инструментом для управления надежностью силовых систем. С другой стороны, было показано, что усталостные повреждения также оказывают двунаправленное влияние: они могут, как снижать (в 1,5 раза и более), так и повышать (на 10–30 %) износостойкость системы, формируя другой – **обратный эффект**.

Ключевым выводом проведенных исследований явилось то, что трение/износ и усталость являются не просто взаимовлияющими факторами, но и тесно взаимодействующими явлениями. На этой основе была предложена новая методология расчета и проектирования, ориентированная не на отдельные элементы, а на механические системы в целом. Такая методология построена на теории диалектических Λ -взаимодействий повреждений, вызванных нагрузками различной природы.

На сегодняшний день методология расчета силовых систем, изготовленных из соответствующих материалов, несмотря на наличие научных публикаций, не получила должного нормативного оформления, и как следствие, конструкторские бюро не имеют официально утвержденных методик расчета конкретных силовых систем. Поэтому необходимо ставить и решать задачи по формированию соответствующего банка данных для реальных силовых систем машин и оборудования, и их последующему должному нормативному обеспечению. Внедрение данного подхода позволит перейти от реагирования на повреждения к активному управлению ресурсом наиболее нагруженных узлов и систем.

Список литературы

- 1 Трибофатическая система колесо / рельс для тяжеловесного движения: повышение нагрузок и... снижение затрат? / Л. А. Сосновский, В. А. Гапанович, В. И. Сенько [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 1 (32). – С. 219–226.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ДЕТАЛИ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

У. Д. КОСИМОВ, Н. К. ТУРСУНОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

При изготовлении изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) большое внимание уделяется процессу укладки тканей и дальнейшей термической обработке на пути к получению высоко-технологичных узлов с достаточно высокими физическими и механическими свойствами.