

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертационную работу Сызранцевой Ксении Владимировны «Совершенствование методологии оценки нагруженности и надежности деталей машин на основе учета особенностей их эксплуатационного деформирования», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 –  
Машиноведение, системы приводов и детали машин**

Диссертационная работа К.В.Сызранцевой состоит из введения, шести глав, основных выводов. Работа написана на русском языке. Общий объем работы составляет 281 страницу машинописного текста, включает 110 рисунков, 15 таблиц, приложения и библиографический список из 345 наименований отечественных и зарубежных авторов.

В результате ознакомления с диссертационной работой, авторефератом и опубликованными в печати по теме проведенных исследований статьями соискателя мною установлено следующее.

### **1.Актуальность темы диссертации**

В числе важнейших эксплуатационно-технических характеристик, определяющих эффективность машин, показатели надежности безотказность и долговечность занимают особое место. Несмотря на то, что первые работы по теории надежности механических систем появились еще в конце 20-х годов прошлого столетия, ее развитие связывают потребностями управления сложными системами, имеющих большое число элементов электроники и автоматики. Со второй половины 70-х годов резко возросли исследования, связанные с решением задач прогнозирования технических изделий и оценки надежности сложных механических систем. Именно в этот период были созданы методики оценки вероятности безотказной работы различных деталей машин общепромышленного применения. При оценке надежности необходимо оперировать со случайными величинами, поэтому эти методики базировались на тех законах случайных величин, которые были описаны в рамках теории параметрической статистики. Основой методик являются зависимости прочностного расчета деталей, содержащие различные математические операции со случайными внешними нагрузками. В этом случае определить закон распределения напряжений, даже при известном законе нагружения деталей, методами параметрической статистики возможным не представляется. Созданные и используемые в настоящее время методики базируются на описании как действующих, так и допускаемых напряжений нормальным законом распределения. Условность данного подхода отмечали и авторы, которые разрабатывали методики расчета надежности деталей машин, проблемой здесь является невозможность определения систематических ошибок принятых допущений и достоверности результатов расчета отказов.

Подобная проблема имеет место и при оценке долговечности деталей

машин на основе регрессионных зависимостей, не имеющих физического наполнения, полученных путем обработки методом линейного регрессионного анализа данных испытаний образцов на усталость. Систематические ошибки использования здесь для определения границ доверительных интервалов нормального (логнормального) закона распределения чисел циклов деформирования до поломки образцов, на основе которых осуществляется прогнозирование долговечности с заданной вероятностью неразрушения, не оценивались, поскольку с помощью методов параметрической статистики описать функции плотности законов распределения чисел циклов до разрушения образцов не удастся.

В последние десятилетия как в нашей стране, так и за рубежом все шире для решения задач определения циклических напряжений, прогнозирования ресурса различных деталей и металлоконструкций машин используются оригинальные средства, - датчики деформаций интегрального типа (ДДИТ), изготавливаемые на основе гальванической металлической фольги. В то же время, критический анализ разработанных к настоящему времени методик использования ДДИТ свидетельствует, что кроме их авторов, реализовать методики другим исследователям крайне сложно. Ситуация принципиально изменяется, если использовать ДДИТ, подвергнутые предварительной наработке до появления на них реакции. Такие датчики (ДДПЧ) имеют переменную чувствительность к амплитуде циклических деформаций, они не имеют инкубационного периода и обеспечивают существенное упрощение процедуры регистрации реакции. Однако отсутствие методического обеспечения решения различных задач с помощью ДДПЧ не позволяет использовать эти перспективные средства экспериментального исследования в практике оценки нагруженности и долговечности деталей и конструкций машин.

Отмеченные выше проблемы определяют актуальность диссертационной работы К.В.Сызранцевой, в которой представлены научные исследования, направленные на совершенствование расчетных и экспериментальных методов оценки нагруженности, надежности и долговечности деталей общепромышленного применения (зубчатых передач, валов, подшипников качения, корпусных деталей), учитывающие реальные законы распределения случайных величин внешних эксплуатационных нагрузок, действующих и допускаемых напряжений, процессы накопления повреждений в материале деталей в условиях эксплуатационного нагружения.

## **2. Степень обоснованности и достоверности исследований**

Автором критически проанализированы известные достижения отечественных и зарубежных ученых в области расчетов безотказности и долговечности деталей машин. Показано, что использование в методиках оценки вероятности отказов и прогнозирования долговечности деталей машин нормального (логнормального) закона распределения действующих и допускаемых напряжений приводит к систематическим ошибкам расчета, оценить ве-

личину которых в рамках используемых математических моделей не представляется возможным.

Обоснованность научных положений, сформулированных в диссертационной работе, обусловлена корректным использованием методов теории непараметрической статистики, кинетической теории механической усталости, численных методов теории упругости, методов прочностного расчета деталей машин, верификацией разработанных программ.

Достоверность результатов расчета вероятности отказа по разработанным алгоритмам и методикам подтверждена их соответствием данным расчета деталей машин, для которых распределение действующих напряжений подчиняется нормальному закону, результаты численного моделирования с использованием разработанных конечно-элементных моделей показали их соответствие экспериментальным данным исследования напряженно-деформированного состояния различных деталей, согласованием с экспериментально полученными с использованием ДДИТ картинами распределения деформаций при циклическом деформировании деталей.

### **3. Научная новизна и практическая значимость выводов и результатов исследований**

*Научная новизна работы заключается в следующем.*

1. Разработана методология совершенствования расчетов надежности деталей машин общепромышленного применения, впервые обеспечивающая учет любой сложности фактических законов распределения случайных величин действующих и предельных напряжений. Для деталей машин сложной геометрической формы, для которых отсутствуют аналитические методы расчета напряженно-деформированного состояния, для условий внешнего нагружения случайными нагрузками независимо от сложности законов их распределения, предложена методика определения мест, вероятности отказа которых наибольшая.

2. Выполнено развитие кинетической теории механической усталости в направлении разработки математических моделей для решения (на основе данных испытаний образцов на долговечность) задач определения имеющихся в материале начальных повреждений, расчета накопленных повреждений и напряжений, эквивалентных по повреждающему воздействию, расчета границ доверительных интервалов кривой усталости с учетом фактических законов распределения чисел циклов деформирования до поломки образцов.

3. Построены математические модели калибровки ДДПЧ, определения по показаниям ДДПЧ эквивалентных напряжений, эквивалентных чисел циклов нагружения и других задач методического обеспечения процессов экспериментальных исследований с использованием ДДПЧ нагруженности и долговечности деталей в условиях случайного воздействия внешних нагрузок.

4. Для условий случайного стационарного нагружения детали в эксплуатации, независимо от сложности спектра внешних нагрузок, разработан

расчетно-экспериментальный метод прогнозирования остаточного ресурса детали во времени с заданной вероятностью неразрушения.

*Практическая значимость результатов диссертационных исследований.*

1. Разработанные программы расчета прочностной надежности зубчатых передач, валов, подшипников и корпусных деталей исключают систематические ошибки определения вероятности безотказной работы связанные с принятием нормального, а не фактических законов распределения действующих и допускаемых напряжений, что уточняет результаты расчета при изменении режима эксплуатации деталей.

2. Предложенный подход к расчету надежности корпусных деталей, подвергаемых в условиях эксплуатации воздействию нескольких внешних случайных нагрузок, на этапе их конструкторско-технологической отработки, обеспечивает определение мест с минимальной надежностью независимо от сложности законов изменения внешних нагрузок.

3. Разработанные алгоритмы и реализующие их программы обработки данных многоцикловых испытаний образцов на долговечность при расчете границ доверительных интервалов кривой усталости исключают достигающие нескольких десятков процентов систематические ошибки, связанные с традиционным использованием при обработке данных линейного регрессионного анализа, реализация которого предполагает распределение чисел циклов до разрушения по логнормальному закону. Построенные математические модели кривой усталости при заданных параметрах блока нагружения позволяют строить для нее вторичные кривые и рассчитывать эквивалентные по повреждающему воздействию напряжения, - информация необходимая для прогнозирования ресурса детали в условиях, отличающихся от тех, при которых проводятся испытания образцов.

4. Рассмотренные алгоритмы решения задач тарирования ДДПЧ, определения по их показаниям напряжений, эквивалентных напряжений и эквивалентных чисел циклов деформирования не только расширяют область экспериментальных исследований деталей с использованием датчиков, но и упрощают процедуры их проведения, которые становятся доступными широкому кругу исследователей. В работе предложены оригинальные способы тарирования ДДИТ с учетом напряженно-деформированного состояния образцов, впервые позволившие исследовать характер распределения напряжений в сварных соединениях, распределение напряжений в передаче Новикова.

5. На базе научных разработок автора в области восстановления фактических законов распределения напряжений в местах их концентрации при эксплуатации деталей, описания границ доверительных интервалов кривой усталости и методик восстановления по показаниям ДДПЧ эквивалентных чисел циклов нагружения разработан метод оценки долговечности деталей, позволяющий определять во временном диапазоне остаточный срок ее работы при эксплуатации с вероятностью разрушения 1%...10%.

#### **4. Соответствие содержания диссертационной работы требованиям ВАК РФ, замечания по работе**

Диссертация К.В.Сызранцевой «Совершенствование методологии оценки нагруженности и надежности деталей машин на основе учета особенностей их эксплуатационного деформирования» является научно-квалификационной работой, отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным п.п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 02.08.2016), и содержанию паспорта специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Содержание диссертации с достаточной полнотой отражено в автореферате и в 57 публикациях автора (в том числе шести монографиях, двух свидетельствах о государственных регистрациях программ для ЭВМ, в 17 журналах, включенных в международные системы цитирования (SCOPUS, Web of Sciences), 13 в журналах, рекомендованных ВАК РФ по группе специальностей 05.02.00, пять в журналах, рекомендованных ВАК по другим специальностям).

Основные положения апробированы на научно-технических конференциях и семинарах, в том числе международного уровня. Оформление диссертации и автореферата требованиям ВАК соответствуют.

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания.

1. В работе на стр. 79...87 рассмотрены два подхода восстановления неизвестной функции плотности распределения случайной величины: на основе оценок Парзена-Розенблатта и методом структурной минимизации эмпирического риска. Имеются ли у автора рекомендации, в каком случае целесообразно применять каждый из описанных способов? Тем более, что программная реализация способов существенно различна.

2. В подразделах 4.2 и 4.3 (стр. 111-135) диссертации на основе применения аппарата непараметрической статистики усовершенствованы методики расчета вероятности безотказной работы зубчатых передач по критериям контактной прочности и изгибной прочности зубьев колес. В то же время известно, что для закаленных колес важнейшим критерием выхода передач из строя является глубинная контактная прочность, обеспечение которой гарантирует и контактную прочность передач. Считаю целесообразным предложенный подход распространить и на данный вид разрушения передач.

3. Помимо рассмотренных в диссертационной работе деталей машин известны и другие, - конические передачи, передачи червячного типа, цепные передачи и т.д. Насколько сложно распространить предлагаемый подход расчета вероятности отказов на эти детали машин. Где могут возникнуть сложности?

4. Для каких режимов работы деталей машин получено наибольшее расхождение в результатах расчета вероятности отказа по предложенным ме-

тодикам по сравнению с традиционным? Наблюдается ли здесь тенденция, или для конкретных деталей машин данные разные?

### **Заключение**

Отмеченные недостатки при оценке работы в целом определяющими не являются. Выполненное **Сызранцевой Ксенией Владимировной** диссертационное исследование представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные решения совершенствования методов оценки нагруженности, надежности и долговечности деталей машин общепромышленного применения, учитывающих реальные законы распределения случайных величин внешних нагрузок, действующих и допускаемых напряжений, чисел циклов до разрушения независимо от сложности законов, использование которых повышает достоверность расчета безотказности и долговечности деталей машин как на этапе их проектирования, так и в эксплуатации.

По научному уровню проведенных исследований, новизне результатов, практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор, Ксения Владимировна Сызранцева, заслуживает присуждения ей учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

#### **Официальный оппонент**

Тескер Ефим Иосифович,  
доктор технических наук (по специальности  
05.02.02 – машиноведение, системы приводов и  
детали машин), профессор,  
профессор кафедры «Транспортные машины и двигатели»  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Волгоградский государственный  
технический университет»  
Тел. (8442) 24-81-71, 8-(917)3392006  
E-mail: ts@vstu.ru  
400005, Волгоград, ул. Советская 31.

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

07.06.2018  
Е.И.Тескер  
  
Тескер Е.И.  
де.г. [подпись] | [подпись]  
(подпись)