

ОТЗЫВ

на диссертацию 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 деталей машин

Диссертация посвящена совершенствованию методов расчетной и экспериментальной оценки надежности и долговечности деталей машин. Предлагаемое в диссертации уточнение оценок достигается за счет

- подробного анализа напряженно-деформированного состояния деталей при многопараметрическом нагружении, учитывающего возможность того, что максимальные напряжения при разных сочетаниях нагрузок достигаются в разных точках детали;
- учета реальной формы законов распределения действующих и предельных напряжений путем сбора уточненной информации и использования соответствующих математических методов (непараметрической статистики);
- получения более полной, чем ранее, информации о накопленных повреждениях за счет использования датчиков деформаций интегрального типа и разработанных методик их калибровки.

Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов и библиографического списка из 345 наименований.

Во введении приведены цель и задачи работы, сформулированы научная новизна, обоснование достоверности, практическая ценность и апробация работы. По тексту введения имеются следующие замечание:

- 1) Отсутствуют четкие формулировки границ применения разрабатываемых методов. Так, конструкции с вероятностью отказа 10^{-1} и 10^{-6} требуют принципиально разных методов анализа. В тексте можно встретить упоминание о вероятностях порядка $10^{-2} \dots 10^{-1}$, но в явном виде в постановке задачи это не присутствует. Можно догадаться также, что речь идет только о многоцикловой усталости и материал считается упругим – но это лишь догадки читателя. Видимо, эти ограничения кажутся автору естественными (и, возможно, являются таковыми для тех конструкций, о которых идет речь), но сформулировать их в явном виде в постановочной части работы следовало бы.

Первая глава посвящена анализу состояния методов расчета прочностной надежности деталей и методов экспериментального исследования нагруженности и долговечности. В методах расчета прочностной надежности, в свою очередь, анализируются возможности современных методов расчета напряженно-деформированного состояния конструкций и проблемы статистической обработки результатов. Обзор представляется достаточно подробным с учетом направления работы.

Вторая глава диссертации посвящена особенностям расчета напряженно-деформированного состояния деталей численными методами. Изложены известные теоретические положения метода конечных элементов и метода граничных интегральных

уравнений, на ряде практически важных задач продемонстрированы методические особенности применения МКЭ для рассматриваемых в диссертации классов конструкций. По этой главе имеются следующие замечания:

- 2) Не обсуждается влияние вариаций геометрии в поле допусков и влияние изменений геометрии вследствие износа. Для многоконтактных задач (винтовой забойный двигатель, в какой-то мере – подшипник) эти отклонения могут привести к заметным отличиям результатов от идеально однородной расчетной схемы.
- 3) Не обсуждается учет пластического деформирования, хотя рассчитанные напряжения в ряде случаев существенно превышают предел текучести.

Замечу еще, что до настоящего времени не создано универсального критерия, оценивающего качество КЭ-расчетов н.д.с. Меры качества (2.8, 2.9) (стр. 52 диссертации) не являются исчерпывающими: легко построить вполне реальные примеры, в которых малость этих мер не означает высокого качества решения. Поэтому проверка адекватности расчетной схемы (см., например, рис. 2.1, 2.7) на настоящем этапе развития МКЭ не может быть выполнена без привлечения эвристических соображений – своих для каждой задачи, это стоило бы отметить при обсуждении методических особенностей решения.

В третьей главе диссертации обсуждается методология расчета прочностной надежности деталей, подвергающихся неопараметрическому случайному нагружению. Подход использует построение передаточной функции, позволяющей определять максимальное напряжение в конструкции при произвольных комбинациях внешних нагрузок, и последующий анализ с использованием методов непараметрической статистики. Замечание по главе:

- 4) Для линейно-упругой конструкции при малых перемещениях передаточная функция будет, очевидно, кусочно-линейной (при наличии в конструкции нескольких потенциально опасных точек) и выпуклой. Использование в работе для ее описания полинома может быть удобным упрощающим приемом, но должно сопровождаться оценкой погрешности (тем более, что сравнение выпуклого многогранника с плоскими гранями и гладкой поверхностью, описываемой полиномом, не представляет большой сложности).

Четвертая глава диссертации посвящена применению методологии, разработанной автором и описанной в главе 3, к анализу надежности деталей общепромышленного назначения – зубчатых колес, валов, подшипников, корпусных деталей (на примере рамы тележки локомотива). Демонстрируется преимущество разработанного подхода, связанное с более точным учетом реального характера распределения нагрузок и характеристик прочности. Однако некоторые особенности методик изложены не полностью, что делает главу трудной для понимания. Например, при анализе вероятности безотказной работы тележки локомотива (п.4.6) только анализ литературы, на которую ссылается автор диссертации, позволяет установить, что при расчетах используется гипотеза линейного суммирования повреждений и гипотеза о том, что наклон кривой усталости можно считать постоянным (кривые, соответствующие разным вероятностям разрушения, параллельны друг другу). В диссертации значение этого наклона даже не упоминается. По этой главе имеется следующее замечание:

- 5) В примере, рассмотренном в п.4.6, результаты, полученные в диссертации, отличаются от результатов других авторов, хотя все авторы используют одни исходные данные и одни законы распределения действующих и предельных напряжений. Следовало бы не ограничиваться констатацией того, что результаты расчетов по разным методикам различны, а сформулировать в явном виде причины этих различий.

В 5-й главе рассматриваются особенности определения характеристик многоциклового усталости материала на основе данных испытаний образцов. Для этого используется кинетическая теория многоциклового усталости (разработанная Е.К.Почтенным) и методы непараметрической статистики. В результате автору удается построить процедуру оценки распределений долговечностей при заданных уровнях напряжений и оценки распределения предела выносливости. По главе имеется замечание и вопрос

- 6) К сожалению в главе нет подробного сравнения с существующими методами. Предлагаемый метод проиллюстрирован на специфическом примере, характеризующимся большим объемом исходных данных. Существующие методы (см., например, книгу М.Н.Степнова «Статистические методы обработки результатов механических испытаний») работают и в случаях, когда данных гораздо меньше – за счет использования определенных предположений. Было бы полезно дать сравнение результатов разными методами, показав решение задач с разным объемом исходной информации.
- 7) В выводах по главе упоминается «математическая модель определения ... исходной поврежденности материала образцов». Позволяет ли эта модель определять уровень начальных (технологических) повреждений в материале конструкции после изготовления? Какой объем испытаний для этого нужен?

Заключительная – 6-я – глава диссертации описывает совершенствование методов регистрации повреждений, накапливаемых в деталях машин при эксплуатации, с помощью датчиков деформаций интегрального типа. Автору удалось путем цифровой обработки изображений датчиков повысить достоверность получаемой информации, исключив влияние субъективного фактора. Однако изложение и здесь вызывает вопрос:

- 8) Не описаны особенности калибровки датчиков при сложном и/или неоднородном напряженном состоянии.

По работе в целом можно сделать следующие **выводы**:

- **Актуальность** работы связана с повышением требований к определению ресурса (в том числе остаточного ресурса) деталей с одной стороны и появлением новых расчетных и экспериментальных методов анализа – с другой.
- **Новизна** полученных результатов заключается в создании подхода к оценке вероятности безотказной работы деталей общепромышленного применения, отличающегося более точным и полным учетом информации о статистических характеристиках эксплуатационной нагруженности, более точным статистическим описанием усталостных характеристик материала, улучшенными средствами сбора экспериментальной информации о нагруженности деталей.

- **Достоверность** полученных результатов обосновывается использованием апробированных математических методов и прямым использованием экспериментальной информации.
- **Ценность результатов для теории и практики** состоит в разработанных методах оценки ресурса, их программном и аппаратном (датчики) обеспечении. Методы могут быть применены как на стадии проектирования – для определения проектного ресурса, так и на стадии эксплуатации для решения задач мониторинга и уточнения остаточного ресурса. Практическая ценность подтверждается применением разработанных методов для совершенствования ряда реальных конструкций, выполнения научно-практических и научно-исследовательских работ.
- Результаты работы **опубликованы** в 18 статьях по теме диссертации в журналах, рекомендованных ВАК, 16 статьях в международных журналах, входящих в системы цитирования SCOPUS и WebOfScience, 6 монографиях. Результаты апробированы путем многочисленных докладов на конференциях различного уровня.

Заключение: отмеченные выше вопросы и замечания не изменяют общего положительного мнения о работе. Считаю, что рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное экономическое значение: разработана методология оценки прочностной надежности деталей машин с учетом особенностей их нерегулярного нагружения в эксплуатации. Диссертация удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор – Ксения Владимировна Сызранцева – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент
 доктор технических наук, профессор,
 профессор кафедры технической механики
 федерального государственного автономного учреждения высшего образования
 «Южно-Уральский государственный университет
 (национальный исследовательский университет)»

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76
 тел. (+7-351)-267-92-61
 e-mail cherniavskii@susu.tu

Е.В.

29.05.18

Чернявский Александр Олегович



Верно
 Ведущий Д.Т.

О.В. Трикина