

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Омского государственного технического
университета, к.т.н., доцент



Бекин Десимбаевич ЖЕНАТОВ

« 18 » мая 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Сызранцевой Ксении Владимировны

на тему «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

Актуальность темы диссертации

Основой разработанных сорок лет назад и используемых и в настоящее время методик расчета вероятности отказа деталей машин общепромышленного применения: зубчатых передач, валов, подшипников, корпусных деталей является предположение о подчинении действующих и допускаемых напряжений нормальному закону распределения. Определить фактические законы распределения действующих напряжений, даже при известных законах изменения внешних нагрузок, разработанных в рамках параметрической статистики методами, не представляется возможным вследствие сложности математических зависимостей прочностного расчета. Результаты оценки прочностной надежности деталей при таком предположении, условность которого отмечали авторы методик, достоверными не являются, что требует совершенствования методик определения вероятности безотказной работы деталей в направлении учета фактических законов распределения действующих и допускаемых напряжений.

При расчете долговечности деталей с допустимой вероятностью отказа необходимо знание функций плотности распределения чисел циклов до

разрушения. Эти функции, как показывают результаты обработки данных усталостных испытаний, законами, предложенными и исследованными в рамках параметрической статистики, не описываются, что не позволяет корректно определять границы доверительных интервалов кривой усталости, на основе которых осуществляется прогнозирование ресурса деталей с заданной вероятностью отказа. Более того, для прогнозирования долговечности деталей в условиях случайного нагружения необходимо количественно оценивать накопление усталостных повреждений, что в современных методиках расчета деталей и металлоконструкций машин учитывается приближенно.

Для экспериментального исследования характера распределения циклических напряжений на поверхностях деталей в процессе их натурных испытаний в течение последних десятилетий используются оригинальные средства, - датчики деформаций интегрального типа, обеспечивающие получение не только объективной информации о нагруженности деталей в эксплуатации, но и данных о накоплении усталостных повреждений в материале деталей. Распространение методик использования этих датчиков в практике экспериментальных исследований сварных соединений, зубчатых колес, металлоконструкций машин, прогнозирования остаточного ресурса требует разработки специальных методов тарирования датчиков и создания математического обеспечения обработки их реакции.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов и приложений, содержащих акты внедрения работы. Диссертация изложена на 281 странице машинописного текста, включает 110 рисунков, 15 таблиц, библиографический список из 345 наименований.

Сызранцевой К.В. критически проанализированы систематические ошибки методик расчета прочностной надежности деталей машин общепромышленного применения. Вскрыты проблемы статистической обработки результатов усталостных испытаний при использовании методов линейного регрессионного анализа. Показано, что для повышения

достоверности прогнозирования долговечности деталей с заданной вероятностью неразрушения необходимо учитывать процессы накопления усталостных повреждений на основе кинетической теории механической усталости и уточнять границы доверительных интервалов кривой усталости по результатам восстановления методами непараметрической статистики фактических законов распределения чисел циклов до разрушения.

Вскрыты проблемы реализации ранее разработанных процедур экспериментальных исследований характера распределения циклических напряжений с использованием оригинальных средств, - датчиков деформаций интегрального типа. Показано, что эффективным направлением решения проблем является использование датчиков деформаций переменной чувствительности.

Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы, подтверждают важность применения разработанных методов расчета надежности и долговечности деталей машин и новых методов их экспериментального исследования.

Основные научные результаты, полученные автором:

- Для деталей и металлоконструкций машин разработан алгоритм их конечно-элементного анализа, включающий как оценку качества сетки для требуемой точности расчетов их напряженно-деформированного состояния, так и верификацию расчетной схемы.
- На основе использования аппарата непараметрической статистики разработана методология оценки безотказности деталей машин, исключающая ошибки расчета, вносимые принятием для действующих и предельных напряжений нормального закона.
- Для оценки безотказности корпусных деталей, для которых аналитические зависимости расчета напряженно-деформированного состояния отсутствуют, в процессе эксплуатации подвергаемых внешнему воздействию

случайных нагрузок, разработан подход, обеспечивающий определение надежности деталей независимо от сложности законов внешних нагрузок.

- В рамках кинетической теории механической усталости построены математические модели расчета: исходной поврежденности материала, величины эквивалентных по повреждающему воздействию напряжений, границ доверительных интервалов кривой усталости с учетом фактических законов распределения чисел циклов до разрушения образцов.

- Для датчиков деформаций переменной чувствительности получены математические зависимости изменения поврежденности по длине рабочей части, разработано математическое обеспечение решения задач по определению по показаниям этих датчиков напряжений, для заданного блока нагружения эквивалентных напряжений по повреждающему воздействию.

- На основе конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния деталей осуществлена верификация внешней реакции датчиков деформаций интегрального типа, в результате которой установлено, что граница реакции датчиков (первых «темных пятен») соответствует картине распределения деформаций сжатия.

- Для прогнозирования долговечности деталей с заданной вероятностью неразрушения, в процессе эксплуатации которых внешние нагрузки описываются случайным аддитивным процессом любой сложности, на основе аппарата непараметрической статистики, кинетической теории механической усталости и использования датчиков деформаций переменной чувствительности разработан расчетно-экспериментальный метод, позволяющий оценить остаточный ресурс детали во временном диапазоне.

Теоретическая значимость диссертации определяется разработанной методологией оценки прочностной надежности и долговечности деталей машин общепромышленного использования, учитывающей фактические законы распределения внешних нагрузок, действующих и допускаемых напряжений, чисел циклов до разрушения с заданной вероятностью отказов независимо от

сложности этих законов. Методология применима как на стадии проектирования машин, так и в процессе их эксплуатации.

Достоверность и обоснованность основных выводов и результатов диссертации подтверждается согласованием результатов расчета напряженно-деформированного состояния различных деталей с данными, полученными с использованием датчиков деформаций в процессе циклического деформирования деталей. Соответствием результатов расчета надежности деталей и конструкций машин в случае распределения действующих напряжений по нормальному закону. Корректным использованием основных положений и методов теории непараметрической статистики, теории упругости, кинетической теории усталости. Результаты диссертационной работы использованы для решения различных прикладных исследовательских задач для предприятий страны.

Практическая значимость.

- Программное обеспечение разработанных в диссертационной работе методик позволяет не только уточнить результаты расчета вероятности безотказной работы или отказов деталей машин для типовых режимов работы машин, но и оценивать эти параметры для фактических законов изменения внешних нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации машин.

- Разработанные математические модели, алгоритмы и программы обработки данных испытаний образцов на долговечность позволяют определить параметры медианной кривой усталости, границы ее доверительных интервалов с учетом фактических законов распределения чисел циклов до разрушения образцов, что исключает систематические ошибки прогнозирования долговечности и остаточного ресурса деталей машин, достигающие, как показано в работе, до десятков процентов.

- Созданное методическое и программное обеспечение экспериментальных исследований деталей машин на основе обработки реакции датчиков деформаций переменной чувствительности не только существенно упрощает регистрацию их реакции и обеспечивает ее обработку в любой

момент прерывания испытаний детали, но и обеспечивает эффективное решение задач определения напряжений в процессе циклического деформирования, эквивалентных напряжений по повреждающему воздействию при блочном режиме нагружения деталей, эквивалентных чисел циклов при случайном законе изменения внешней нагрузки.

- Предложенные оригинальные методики тарирования датчиков деформаций интегрального типа, основанные на согласовании их реакции с результатами расчета численными методами теории упругости напряженно-деформированного состояния образцов или деталей, значительно расширяют область использования датчиков при экспериментальных исследованиях деталей сложной геометрической формы, сварных соединений, зубчатых передач с многопарным зацеплением зубьев.

- Разработанный расчетно-экспериментальный метод прогнозирования долговечности деталей позволяет осуществлять оценку остаточного ресурса их эксплуатации по времени работы с вероятностью разрушения 1%...10%, соответствующей левой границе доверительного интервала кривой усталости.

Апробация работы. Материалы диссертации многократно докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях, опубликованы в шести монографиях, двух свидетельствах о государственных регистрациях программ для ЭВМ, в журналах, включенных в международные системы цитирования SCOPUS и Web of Sciences (17 статей), в журналах, рекомендованных ВАК РФ по группе специальностей 05.02.00 (13 статей), в журналах, рекомендованных ВАК по другим специальностям (5 статей).

По диссертации имеются следующие замечания и вопросы

1. На рис.2.3 показана конечно-элементная модель корпуса превентора, а на рис. 2.5, 2.6 поля распределения эквивалентных напряжений и распределения суммарных перемещений. Какая минимальная величина сетки в местах концентрации напряжений использовалась при расчетах? Как рассчитывались напряжения, когда их величина была больше предела текучести?

2. На рисунке 2.12 и 2.15 диссертации показана деформированная форма двух подшипников. Как в таком случае распределяется нагрузка по телам качения? Сильно ли расходятся результаты расчетов с общепринятыми данными, приведенными в справочниках по подшипникам?

3. Методология оценки надежности изделий (рис. 3.1) включает генерирование выборки напряжений с помощью непараметрических датчиков. Каким образом формируется выборка напряжений, на основе которой строится непараметрический датчик, и с какой целью необходимо эту выборку расширять?

4. В диссертации на примере обработки полученных в работе [81] данных усталостных испытаний образцов из стали 50, рассмотрена реализация разработанной на основе кинетической теории механической усталости методика определения кривой усталости и границ ее доверительных интервалов с учетом фактических законов распределения чисел циклов до поломки образцов. В то же время, в работе [81] было принято, что на каждом уровне напряжений при испытаниях образцов их долговечность подчиняется логнормальному закону. Как согласуются Ваши результаты с [81]?

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Соответствие диссертации научной специальности

Диссертационная работа Сызранцевой К.В. является научно-квалификационной работой, в которой автором представлена научно обоснованная методология оценки надежности и прогнозирования ресурса деталей машин как на этапе их расчета и конструирования, так и при эксплуатации, обеспечивающая учет фактических законов распределения случайных величин действующих и предельных напряжений, накопление усталостных повреждений, оцениваемых в процессе эксплуатации деталей с помощью оригинальных средств, - датчиков деформаций переменной чувствительности.

Отраженные в диссертации результаты соответствуют паспорту специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин, а именно:

пункту 2 (Теория и методы проектирования машин и механизмов, систем приводов, узлов и деталей машин);

пункту 3 (Теория и методы обеспечения надежности объектов машиностроения);

пункту 4 (Методы исследования и оценки технического состояния объектов машиностроения, в том числе на основе компьютерного моделирования).

Общее заключение.

Диссертация Сызранцевой Ксении Владимировны «Совершенствование методологии оценки нагруженности и надежности деталей машин на основе учета особенностей их эксплуатационного деформирования» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. В работе представлены результаты, имеющие важное научное и практическое значение для специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин. Результаты исследований, представленные в диссертации, обеспечивают повышение достоверности результатов оценки надежности и долговечности деталей машин общепромышленного применения в условиях эксплуатации вследствие исключения систематических ошибок, связанных с использованием в методиках расчета нормального, а не фактического закона распределения случайных величин действующих и допускаемых напряжений.

Результаты работы будут полезны в применении в конструкторских организациях и подразделениях, проектирующих технику, работающую при различных условиях эксплуатации включая ненормируемые режимы с возможными внезапными перегрузками. Это относится к машинам и агрегатам

добывающего комплекса, строительным и дорожным машинам, транспорту, технике военного назначения и др.

Расчетно-экспериментальный метод прогнозирования остаточного ресурса агрегатов, узлов и деталей машин особенно востребован при создании сложных машин, имеющих длительный срок эксплуатации при комплексном внешнем нагружении, носящим случайный характер.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации, ее научную новизну и практическую значимость.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 02.08.2016), а ее автор, К.В. Сызранцева, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Диссертация и отзыв обсуждены на расширенном заседании кафедры «Машиноведение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ).

Голосовали «за» - 15 чел.; «против» - нет; «воздержались» - нет.

Протокол № 10 от 18 мая 2018 г.

Заведующий кафедрой «Машиноведение»

д.т.н., (по специальности 05.02.18 – Теория

механизмов и машин), профессор  Балакин Павел Дмитриевич

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ),

Почтовый адрес: Пр. Мира, д.11, Омск, Омская область, Сибирский федеральный округ, 644050. Телефон (3812) 65-34-07 Факс: (3812) 65-26-98

E-mail: info@omgtu.ru <http://www.omgtu.ru>

Балакин Павел Дмитриевич
заведующий кафедрой «Машиноведение» ФГБОУ ВО «Омский
государственный технический университет» (ОмГТУ),
д.т.н. по специальности 05.02.18 –Теория механизмов и машин.

Адрес: 644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11

Телефон: 8(3812) 65-21-26

e-mail: tmm@omgtu.ru

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



П.Д.Балакин