

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.298.09, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.06.2018 № 5

О присуждении Сызранцевой Ксении Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Совершенствование методологии оценки нагруженности и надежности деталей машин на основе учета особенностей их эксплуатационного деформирования» по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин» принята к защите 21.03.2018г., протокол № 3 диссертационным советом Д 212.298.09 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», 454080, г. Челябинск, проспект В.И. Ленина, д. 76, приказ о создании диссертационного совета Д 212.298.09 № 105/нк от 11 апреля 2012г.

Соискатель Сызранцева Ксения Владимировна, 1973 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Методическое и программное обеспечение измерения напряжений в деталях машин датчиками деформаций интегрального типа» по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин» защитила в 1998 году, в диссертационном совете Д064.18.01, созданном на базе Курганского государственного университета, работает доцентом в Федеральном государственном

бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» Института геологии и нефтегазодобычи ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (до 07.04.2016 – ФГБОУ ВО ТюмГНГУ).

Официальные оппоненты:

1. Тескер Ефим Иосифович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортные машины и двигатели» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград;

2. Плеханов Федор Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск;

3. Чернявский Александр Олегович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Техническая механика» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», в своем положительном заключении, подписанном Балакиным Павлом Дмитриевичем, д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Машиноведение», указала, что Сызранцева Ксения Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Соискатель имеет 172 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 57 работ, из них в Российских рецензируемых научных изданиях опубликовано 25 работ, в журналах, включенных в международные системы цитирования (SCOPUS и Web of Sciences), – 17 работ.

В монографии «Диагностика нагруженности и ресурса деталей трансмиссий и несущих систем машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа»

(Новосибирск : Наука, 2004. – 188 с) лично соискателем подготовлены главы 5-7: Разработка методик определения с помощью ДДИТ крутящих моментов на валах, Развитие методов оценки с помощью ДДИТ напряженно-деформированного состояния зубьев и Математическое и программное обеспечение методов измерения напряжений по информации с ДДИТ (авторское участие 40%).

В монографии «Компьютерный анализ нагруженности и деформативности элементов нефтегазового оборудования» (Тюмень : ТюмГНГУ, 2009. – 124 с) проведен анализ существующих численных методов теории упругости и особенности их программной реализации, а также рассмотрены разработанные автором расчетные схемы для реализации компьютерного анализа ряда деталей и узлов нефтегазового оборудования (авторское участие 100%).

В монографии «Расчет прочностной надежности деталей машин при случайном характере внешних нагрузок» (Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 92 с) предложены новые подходы к оценке вероятности отказа узлов и деталей машин, основанные на применении математического аппарата непараметрической статистики (авторское участие 100%).

В главе 7 монографии «Оценка безопасности и прочностной надежности магистральных трубопроводов методами непараметрической статистики» (Новосибирск: Наука, 2013. – 172 с.) соискателем разработан экспериментально-расчетный метод прогнозирования усталостной прочности трубопровода с коррозионными дефектами (авторское участие 15%).

В монографии «Обработка данных многоцикловых испытаний на основе кинетической теории усталости и методов непараметрической статистики» (Тюмень : ТюмГНГУ, 2015. – 135 с.) проведен критический анализ проблем статистической обработки данных усталостных испытаний, рассмотрены полуэмпирические модели для описания данных усталостных испытаний, выполнена оценка параметров моделей кинетической теории многоциклового усталости на основе методов непараметрической статистики (авторское участие 60%).

В работе «Непараметрический подход оценки прочностной надежности деталей сложной геометрической формы» (Вестник Ижевского государственного

технического университета. – 2008. – №4. – С. 26-29) изложен метод оценки вероятности отказа деталей сложной геометрической формы, подвергающейся в условиях эксплуатации воздействию двух случайных независимых нагрузок (авторское участие 100%).

В статье «Восстановление нагруженности деталей и металлоконструкций с применением датчиков деформаций интегрального типа» (Вестник Тюменского государственного университета. – 2008. – №6. – С. 4-9) разработан способ согласования результатов конечно-элементного анализа и показаний датчиков деформаций интегрального типа, позволяющий оценить нагруженность детали при ее эксплуатации (авторское участие 100%).

В работе «Экспериментально-расчетный метод прогнозирования долговечности изделий в условиях эксплуатации» (Омский научный вестник. – 2009. – №2(80). – С. 97-101) предложен метод оценки остаточного ресурса детали, подвергаемой в условиях эксплуатации случайной нагрузке, основанный на применении аппарата непараметрической статистики и регистрации накопления усталостных повреждений в материале детали с помощью датчиков деформаций переменной чувствительности (авторское участие 100%).

В статье «Оценка надежности зубчатых передач по сопротивлению контактной усталости при случайном режиме нагружения» (Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2009. – №4. – С. 23-25) описан способ оценки вероятности безотказной работы зубчатых передач по сопротивлению контактной усталости и его программная реализация (авторское участие 100%).

В работе «Компьютерное моделирование процесса гидравлических испытаний корпуса преентора» (Вестник Тюменского государственного университета. – 2009. – №6. – С. 27-34) рассмотрена расчетная схема для конечно-элементного анализа и проверка ее адекватности с целью оценки прочности и герметичности корпусных деталей (авторское участие 80%).

В статье «Оценка долговечности подшипников качения при случайном режиме их нагружения» (Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – №12. – С.8-11) разработан и реализован в программном продукте метод оценки

долговечности подшипников, основанный на применении методов непараметрической статистики и компьютерного моделирования (авторское участие 90%).

В работе «Оценка надежности валов по критерию усталостной прочности при случайном режиме нагружения» (Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – №5. – С. 34-38) предложен и реализован метод расчета вероятности безотказной работе валов, основанный на применении методов непараметрической статистики, приведены результаты его работы для различных режимов нагружения вала (авторское участие 90%).

В статье «Расчет эквивалентных по повреждающему воздействию напряжений» (Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – №10. – С. 30-35) предложен метод учета поврежденности материала детали на разных ступенях блока нагружения на основе математической модели кривой усталости Е.К. Почтенного (авторское участие 30%).

В работе «Расчет эквивалентных по повреждающему воздействию напряжений на основе кинетической теории многоциклового усталости» (Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – №4(31) . – С.35-39) предложены модели и алгоритмы, позволяющие рассчитывать накопленные усталостные повреждения в материале, с учетом которых определять эквивалентные напряжения, устанавливать соответствующую накопленным повреждениям кривую усталости и рассчитывать в заданных условиях эксплуатации остаточный ресурс детали (авторское участие 100%).

В работе «Contact load and endurance of cylindrical gearing with arch-shaped teeth» (ICMT'2001: proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions. – Chongqing, China, 2001. – Pp. 425-431) соискателем решена задача определения контактных напряжений в цилиндрических зубчатых передачах с арочной формой зуба (авторское участие 50%).

В статье «Development of a method to calculate the strength reliability of tooth gears based on the fatigue resistance when the teeth bend» (Journal of Machinery Manufacture and Reliability. –2009. – Vol.38. – Iss.6 (200912). – Pp. 552-556.)

разработан уточненный метод расчета прочностной надежности зубчатых передач по сопротивлению усталости при изгибе зубьев, основанная на методах компьютерного моделирования случайных величин и математическом аппарате непараметрической статистики (авторское участие 100%).

В работе «Predicting the failure of gear transmissions by nonparametric statistics» (Russian Engineering Research. –2009. –Vol.29. –Iss.2. – Pp. 1206-1208.) рассмотрено решение задачи прогнозирования отказов цилиндрических зубчатых передач, режим нагружения которых в условиях эксплуатации задан конкретным законом распределения крутящего момента, приведены результаты расчетов вероятности отказа для четырех режимов нагружения (авторское участие 100%).

В статье «The stress-strain condition estimation of detail in crack tip by integral strain gauges» (IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 127. – 012051.) разработан алгоритм и его программная реализация по оценке специальных компонент напряженно-деформированного состояния детали в вершине усталостной трещины для расшифровки показаний датчиков деформаций интегрального типа (авторское участие 70%).

В работе «Reliability estimation of machine parts with complicated geometry on a base of methods of nonparametric statistics» (Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol.11. – Iss.2. – Pp. 204-209.) предложена методика оценки надежности деталей сложной геометрической формы, основанная на проведении двухфакторного эксперимента в 25 опасных точках и применении методов непараметрической статистики, выполнены расчеты прочностной надежности корпуса клиновой задвижки (авторское участие 70%).

В статье «Computer analysis of durability and leakproofness of multilateral junction of wells» (IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142. – 012118) разработан алгоритм конечно-элементного прочностного анализа конструкции многоствольной скважины с целью проверки ее прочности и герметичности, установлена функциональная зависимость параметров стыка скважины и степени его работоспособности (авторское участие 90%).

В работе «The application of finite element analysis during development of the

Integral Strain Gauges calibration method for the study of the welded construction» (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 177. – 012133.) предложен новый метод калибровки датчиков деформаций интегрального типа на сварных образцах оригинальной геометрической формы, выполнен конечно-элементный анализ различных форм образцов (авторское участие 60%).

В статье «Determination of parameters of endurance limit distribution law of material by the methods of nonparametric statistics and kinetic theory of high-cycle fatigue» (Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 736. – Pp. 52-57.) разработан алгоритм определения закона распределения предела выносливости материала и его программная реализация на основе использования уравнений многоциклового теории усталости и методов непараметрической статистики (авторское участие 60%).

В работе «Определение напряжений и остаточного ресурса по показаниям датчика деформаций интегрального типа переменной чувствительности» (Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – С.82-93) предложен метод определения остаточного ресурса детали на основе кинетической теории усталости и применения датчиков деформаций переменной чувствительности, имеющих предварительную наработку (авторское участие 60%).

В статье «Integral strain gauges application for gearing reliability estimation» (Materials Science Forum. – 2017. – Vol. 906. – Pp. 44-49) разработан способ учета поврежденности материала датчиков деформаций интегрального типа при построении для них тарировочных зависимостей с целью оценки прочностной надежности зубчатых передач (авторское участие 60%).

В работе «Determination of stresses in tooth roots of gears by Integral Strain Gauges» (Advances in Engineering Research.- 2017.-Vol.133.- Pp. 841-846.) построены эпюры распределения напряжений в основании зубьев колес передач Новикова ДЛЗ и арочных зубьев в зависимости от различных погрешностей их изготовления и сборки, полученных после испытания данных передач с датчиками деформаций интегрального типа (авторское участие 50%).

В статье «Estimation of Novikov gearing loading capacity on a base of Integral Strain Gauges application» (Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – Pp. 1081–1086.)

решена задача оценки распределения нагрузки между контактными зонами в передаче Новикова ДЛЗ с помощью согласования результатов конечно-элементного анализа и показаний датчиков деформаций интегрального типа, для чего разработан специальный макрос на языке программирования APDL (авторское участие 70%).

Программа «Расчет методами непараметрической статистики вероятности безотказной работы валов в условиях случайного процесса их нагружения» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ; правообладатель ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». – № 2018610392; заявл. 14.11.2017 ; опубл. 10.01.2018, Бюл. №1. – 1 с) реализует предложенные соискателем алгоритмы оценки вероятности безотказной работы валов для четырех основных режимов их случайного нагружения, базирующиеся на применении методов непараметрической статистики (авторское участие 100%).

Программа «Расчет методами непараметрической статистики вероятности безотказной работы подшипников качения в условиях случайного процесса их нагружения» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ; правообладатель ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». – № 2018610395; заявл. 14.11.2017 ; опубл. 10.01.2018, Бюл. №1. – 1 с) реализует предложенные соискателем алгоритмы оценки вероятности безотказной работы подшипников качения для четырех основных режимов их случайного нагружения, базирующиеся на применении методов непараметрической статистики (авторское участие 100%).

На диссертацию и автореферат поступило 22 отзыва, в том числе 3 отзыва от оппонентов, 1 отзыв от ведущей организации, 18 отзывов поступило на автореферат согласно списку рассылки. Все отзывы положительные. В отзывах отмечается, что тема диссертационной работы соответствует специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин, работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, соискатель заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Замечания, отмеченные в отзывах:

1) *Ведущая организация ФГБОУ ВО «Омский государственный технический*

университет». **Замечания:**

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 напряжений, когда их величина была больше предела текучести? 2. На рисунках 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]?

2) *Официальный оппонент Тескер Е.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 методикам по сравнению с традиционным? Наблюдается ли здесь тенденция, или для конкретных деталей машин данные разные?.

3) Официальный оппонент Плеханов Ф.И. Замечания:

1. Выполненные расчеты (подраздел 2.3) корпуса преентора ППГ-230x35 показали его недостаточную прочность при пробном давлении 70 МПа. Что было изменено в конструкции корпуса для обеспечения его прочности при этом давлении? 2. Зависимость (3.44) расчета напряжений в местах их концентрации на корпусе клиновой задвижки от величины давления и температуры, аппроксимирующая результаты проведенных численных экспериментов в соответствии с матрицей планирования (таблица 3.2), достаточно громоздка. Можно ли ее упростить, воспользовавшись статистическими критериями проверки значимости коэффициентов регрессионного уравнения? 3. Традиционно кривая усталости строится на основе данных испытаний партий образцов до разрушения на нескольких, фиксированных уровнях напряжений, что позволяет проверить для каждого уровня (в каждой партии) соответствие числа циклов до разрушения логнормальному закону распределения этой случайной величины. Именно для такого варианта экспериментальных данных (таблица 5.1) в диссертации рассмотрена процедура определения параметров кривой усталости в форме полуэмпирической модели и расчета границ доверительных интервалов кривой усталости. В то же время известны данные усталостных испытаний, когда результаты представлены в виде

совокупности экспериментальных точек, полученных при различных, не подлежащих группировке, уровнях напряжений. «Работает» ли в этом случае рассмотренная в диссертации методика обработки данных испытаний образцов на выносливость? 4. В подразделе 6.5 разработано методическое обеспечение использования датчиков деформаций переменной чувствительности (ДДПЧ). Описанная технология изготовления ДДПЧ предусматривает их предварительную наработку на образцах с конической рабочей частью (рисунок 6.28) в условиях циклического изгиба при вращении образца. Именно для этой технологии получена зависимость (6.11) изменения поврежденности датчика в любом его сечении, определяемом продольной координатой. Изменится ли эта зависимость, если предварительную наработку датчика выполнять, например, на плоском образце в процессе его циклического изгиба? 5. На рисунке 6.21а (в автореферате рисунок 11а) показана реакция датчика деформаций интегрального типа в вершине усталостной трещины. В диссертации не приведены ни размеры этой трещины, ни увеличение, при котором сделан снимок реакции датчика.

4) Официальный оппонент Чернявский А.О. Замечания:

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. 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. 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 поверхности, описываемой полиномом, не представляет большой сложности). 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. 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? 8. Не описаны особенности калибровки датчиков при сложном и/или неоднородном напряженном состоянии.

5) *ФГБУН НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, С.А. Тимашев, д.т.н., профессор, засл. деят. науки РФ, научный руководитель, гл.науч.сотр.* **Замечания:**

1. Неясно, восстановленная с использованием оценки Парзена-Розенблатта функция плотности распределения (3) описывает закон в пределах выборки

случайной величины или в более широком диапазоне ее изменения? 2. В реальных задачах оценки надежности функция плотности действующих напряжений часто цензурирована справа, а функция плотности распределения допускаемых напряжений цензурирована слева. Учитывается ли данное обстоятельство в разработанных методиках расчета прочностной надежности деталей?

6) *ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», А.И. Орлов, д.т.н., д.э.н, к.ф.-м.н, профессор, профессор кафедры «Экономика и организация производства», Г.А. Тимофеев, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Теория механизмов и машин».* **Замечания:**

1. На рисунке 1 автореферата показаны результаты расчета НДС корпуса прементора как сборочной конструкции. Каким образом моделировалось взаимодействие деталей в сборочной конструкции? 2. В автореферате описаны предложенные автором алгоритмы для обработки данных усталостных испытаний и результаты их отработки. В каком пакете реализованы данные алгоритмы и можно ли их использовать неподготовленному в области программирования инженеру для подобных расчетов? Имеется ли руководство пользователя к разработанным программам?

7) *Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, В.Е. Старжинский, д.т.н., доцент, гл.науч.сотр. отдела «Технология композиционных материалов», В.С. Шилько, к.т.н., доцент, зав.лаб. «Механика композитов и биополимеров».* **Замечания:**

1. Не вполне ясно, в чем заключается новизна разрабатываемого расчетно-экспериментального метода прогнозирования долговечности (п.4 раздела научной новизны). 2. В списке публикаций указано 6 монографий в то время, как 2 из них являются главами. 3. При изложении материала второй главы отсутствует анализ результатов расчета элементов передач и корпусных деталей. 4. Таблица 1 не дооформлена. 5. Отсутствует анализ расчетов напряженного состояния в зоне концентрации (таблица 2, глава 6). 6. В подрисуночной подписи рис.9 отсутствует обозначение функции распределения. 7. Часть параметров не визуализировалась при печати автореферата (стр. 22 и т.д.). 8. Имеются стилистические и

терминологические дефекты. Например, «... деформаций, зафиксированных с помощью ДДИТ...» (стр.5); «...контактных напряжений в местах контакта...» (стр.10); «...задача распределения нагрузки...» (стр.25); «...экспериментальных моделей...» (стр.10); «... поля распределения...» (стр.10).

8) *ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», И.Ю. Быков, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности».* **Замечания:**

1. Третье положение научной новизны («Предложен способ...») следует отнести к практической значимости работы.

9) *ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», В.Н. Кузнецова, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве».* **Замечания:**

1. Неясно, какие допущения приняты автором в созданных математических моделях определения имеющихся в материале начальных повреждений и расчета эквивалентных по повреждающему воздействию напряжений. 2. Что является перспективами и направлениями дальнейших исследований автора

10) *ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет», Е.С. Трубачев, д.т.н., профессор кафедры «Конструкторско-технологическая подготовка машиностроительных производств».* **Замечания:**

1. В числовых примерах, демонстрирующих эффективность предложенной методологии хотелось бы видеть не только уточнение вероятности отказа при заданном уровне и режиме нагружения, но и, напротив, – оценку возможности увеличения нагрузочной способности или уменьшения размеров изделий при (обычно) задаваемой вероятности отказа. 2. Имеются ошибки оформительского плана: пропуск слов и символов (с. 16, 17, 18, 22); напротив, избыточные слова («ФПР распределения» (ФПР – уже распределение) – с. 14, 20); неточные термины («минимизация функции методом эмпирического риска», с. 14 – надо «минимизация эмпирического риска»; «с двумя линиями контакта», с. 25 – надо «с двумя линиями зацепления»).

11) *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», П.Н. Учаев, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование».* **Замечания:**

1. Надеюсь, что в диссертации приведены соответствующие исследуемым объектам математические модели, которые отсутствуют в автореферате. 2. Это касается и важных вопросов структурно-параметрического оптимального синтеза исследуемых объектов - важного для России нефтепромыслового оборудования (хотя бы оптимальных параметров галтелей - см. рис. 4). 3. Автору следовало бы внимательнее отнестись к оформлению документа (текста и иллюстраций).

12) *ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, В.Н. Ивановский, д.т.н., профессор, засл. работник высш. шк. РФ, заведующий кафедрой машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности.* **Замечания:**

1. На мой взгляд, не очень удачна формулировка Цели работы. «Создание», «совершенствование», «изучение» и т.д. являются процессом, но никак ни целью.

13) *ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения» СО РАН, С.В. Панин, д.т.н., профессор, зам. директора ИФМП СО РАН по НР, заведующий лабораторией механики полимерных композиционных материалов, М.В. Бурков, к.т.н, научный сотрудник лабораторией механики полимерных композиционных материалов.* **Замечания:**

1. На стр. 10 представлена ссылка на Рис.10 и отмечено, что «...элементы, в которых зафиксирована пластическая деформация, выделены белым цветом...». Однако использованная шкала эквивалентных напряжений на этом рисунке (от светло-серого до черного) очень сильно усложняет восприятие результатов: практически весь корпус детали выглядит светло-серым, что согласно шкале, соответствует нулевым напряжениям. 2. На стр.21 в описании рис.8 написано, что «... кривая усталости, построенная... на шести уровнях напряжений», однако на самом рисунке уровней напряжений- семь. 3. В автореферате достаточно много недочетов: - по оформлению: ошибки в таблице 1, неполная подпись к рис.9, неверная подпись к рис.10 (очевидно, что речь идет не о числах циклов, а о тысячах

или десятках тысяч циклов), множество математических символов пропущено в печатной версии автореферата; - присутствуют стилистические и грамматические ошибки; 4. В п.4 раздела «Основные выводы и результаты работы» написано, что «предложен новый способ..., исключающий роль субъективного фактора». Не совсем понятно, в чем заключался этот фактор в методах обработки, используемых ранее. 5. В п.5 раздела «Практическая значимость» не понятно к чему относится фраза «с вероятностью 1%...10%»: к оценке срока службы или к вероятности отказа детали.

14) *ФГБУН Институт вычислительных технологий СО РАН, А.М. Лепихин, д.т.н., гл. науч. сотр. Красноярского филиала. Замечания:*

1. Из текста автореферата не ясна концепция совершенствования методологии оценки нагруженности и надежности деталей машин (схема на стр.13 представляет алгоритм действий, который может быть реализован с использованием разных концепций). Отсутствие концепции привело к слабой идеологической связке разделов автореферата между собой. 2. В автореферате не описаны модели сложных спектров нагружения, анализируемые методами непараметрической статистики. Не ясно, какова точность этих моделей и насколько эта точность соответствует постановке задачи оценки надежности. 3. При оценке малых вероятностей отказов (стр. 21, вероятность отказа 1%) существенное значение имеет точность аппроксимации хвостов распределений вероятностей случайных величин. Из автореферата не ясно, какова точность таких аппроксимаций при использованных методах непараметрических оценок. 4. Из автореферата не ясно, что понимается под распределением допускаемых напряжений (стр.18). В нормах расчета деталей машин на прочность допускаемые напряжения рассматриваются как детерминированные величины. Случайными рассматриваются напряжения разрушения деталей при заданных условиях нагружения. 5. В тексте автореферата имеются многочисленные пропуски символов, снижающие качество восприятия текста.

15) *ФГБУН Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Ф.Г. Нахатакян, д.т.н., ведущий научный сотрудник. Замечания:*

1. На стр.19 для верификации предлагаемого подхода проводится

сопоставление результатов расчета вероятности отказа со статистикой и методов Серенсена и Казака. В таблице 1 сопоставляются результаты предлагаемого метода с результатом Решетова-Снесарева... Было бы интересно с научной стороны также сопоставление результатов Решетова-Снесарева со статистикой. 2. На стр.25 приведены (рис.12) результаты расчетов и экспериментальных исследований зубьев колес Новикова. Хотелось бы больше комментариев к рисунку для пояснения этого сопоставления.

16) *ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»*», А.Э.Волков, д.т.н., профессор, профессор кафедры Теоретической механики и сопротивления материалов. **Замечания:**

1. Автор часто использует слово «сложный». Например, на стр.10 «Во второй главе работы рассмотрены особенности расчета напряженно-деформированного состояния деталей сложной геометрической формы численными методами», на стр.12 «Предлагаемый в данной работе подход к обработке случайных величин основан на методах непараметрической статистики, которые обеспечивают описание ФПР независимо от ее сложности...», на стр.14 «Изложенный алгоритм генерирования случайных величин, независимо от сложности функции $\Phi(x)$, реализован ...» и т.д. Этот термин скорее отражает динамику исследований автора от простого к сложному, а не характеризует форму детали или вид функции. Во втором и третьем случаях более уместной была бы фраза «независимо от вида функции».

17) *ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»*», А.П. Комиссаров, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Горные машины и комплексы», Ю.А. Лагунова, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Горные машины и комплексы». **Замечания:**

1. Не понятно, какие законы вариации механических характеристик материала детали (с.6) учитываются (наклеп, усталость и др.) 2. В автореферате следовало бы привести условия использования каждого из подходов восстановления неизвестной функции плотности распределения случайной величины (с.14)

18) *ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»*», М.П. Шишкарев, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Металлорежущие станки и

инструменты». **Замечания:**

1. Следовало бы поменять местами предмет и объект исследования. Объект исследования относится к процессам и явлениям, которые необходимо изучить, в данном случае применительно к деталям машин, которые и должны являться предметом исследования. 2. В автореферате не отражены сведения о личном вкладе соискателя в проведенные исследования. 3. На с.18 автореферата приведена вероятность отказа подшипника качения при переходе от легкого к тяжелому режиму работы. Автор при этом не дает пояснения, почему подшипник соответствующей серии может работать в любом из указанных режимов.

19) *ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Б.П. Тимофеев, д.т.н., профессор, профессор кафедры Мехатроники, М.Ю. Сачков, к.т.н., ст.преп. кафедры Мехатроники.* **Замечания:**

1. На рисунке 1 автореферата показаны результаты расчета НДС корпуса превентора. Насколько сильно будет отличаться расчетная схема для моделирования нагружения корпуса редуктора? 2. Не совсем понятна подрисуночная подпись рисунка 10 в части чисел циклов наработки датчиков деформаций интегрального типа. 3. Автор утверждает: «в работе разработаны алгоритмы определения эквивалентного по повреждающему воздействию напряжения и эквивалентного по повреждающему воздействию чисел циклов деформирования», т.о. не каждый цикл можно считать повреждающим применительно к усталостным испытаниям, с чем сложно не согласиться и следует пояснить как данный факт влияет на значение числа циклов до поломки.

20) *ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Н.Д. Шишкин, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование».* **Замечания:**

1. Из рисунка 5 на стр. 16 автореферата видно, что ФПР напряжений имеет 2 максимума, однако не дается объяснения их наличия. 2. В автореферате отсутствует технико-экономическая оценка результатов исследования.

На все замечания, указанные в полученных отзывах, диссертантом даны

исчерпывающие ответы и пояснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований по теме диссертационной работы и соответствует требованиям постановления правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 30.07.2014) «О порядке присуждения ученых степеней». Выбранные оппоненты и ведущая организация являются признанными специалистами и компетентны в области исследования, выполненного соискателем, а также имеют публикации в соответствующем направлении. Работы оппонентов и ведущей организации, представленные в информационной справке, опубликованы в рецензируемых изданиях за последние 5 лет с 2013 по 2018 гг., что свидетельствует об актуальности и новизне выполненных научно-исследовательских работ, а также об их осведомленности в современных тенденциях развития в области машиноведения и деталей машин.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана методология расчета вероятности безотказной работы деталей машин, подвергающихся в условиях эксплуатации воздействию одной или нескольких независимых случайных нагрузок, свободная от ограничений по виду функции плотности распределения действующих и предельных напряжений, основанная на использовании аппарата непараметрической статистики.

Предложены математические модели определения эквивалентных по повреждающему воздействию напряжений, основанные на кинетической теории механической усталости и на обработке информации, полученной с помощью датчиков деформаций интегрального типа.

Доказана перспективность применения датчиков деформаций переменной чувствительности для решения задач исследования характера распределения напряжений в местах их концентрации на поверхности деталей машин, определения эквивалентного числа циклов деформирования для условий случайного нагружения деталей в рамках расчетно-экспериментального метода прогнозирования их долговечности с заданной вероятностью неразрушения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказана целесообразность учета фактических функций плотности распределения действующих и предельных напряжений, отражающих реальные законы изменения внешних нагрузок и механических свойств материала деталей, при оценке вероятности безотказной работы деталей общепромышленного применения по критерию прочности.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован конечно-элементный программный комплекс ANSYS, математический аппарат непараметрической статистики и кинетической теории механической усталости, методики экспериментального исследования нагруженности различных деталей машин на основе информации, полученной с помощью датчиков деформаций интегрального типа.

Изложен метод определения на основе данных испытаний образцов на долговечность параметров модели кинетической теории многоциклового усталости, включая исходную поврежденность материала, обеспечивающий восстановление функции плотности распределения предела выносливости. Расчет границ доверительных интервалов медианной кривой усталости выполнен с учетом фактических законов распределения чисел циклов до разрушения, который исключает систематические ошибки статистической обработки.

Раскрыты несоответствия принятия нормального закона распределения напряжений при расчете вероятности отказа деталей машин и распределения числа циклов до разрушения при определении границ доверительных интервалов кривой усталости.

Изучены взаимосвязи реакции датчиков деформаций интегрального типа с данными напряженно-деформированного состояния деталей в процессе их циклического деформирования.

Проведена модернизация математической модели кинетической теории усталости путем ее развития и дополнения алгоритмами определения: исходной поврежденности материала; функции плотности распределения предела выносливости; границ доверительных интервалов с учетом фактических законов

распределения числа циклов до разрушения образцов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и приняты к внедрению методики и расчетные схемы для выполнения компьютерного моделирования нагруженности подшипников, работающих без установки в корпусной детали; методики расчета прочностной надежности зубчатых передач, валов и корпусных деталей;

определена оригинальная геометрическая форма образцов, позволяющая для исследования работоспособности сварных соединений с помощью датчиков деформаций интегрального типа сократить и упростить процесс их калибровки;

созданы программные комплексы для оценки вероятности отказа деталей машин, позволяющие рекомендовать предельные нагрузки на детали в зависимости от режимов их эксплуатации;

на основе программной реализации оценки надежности деталей сложной геометрической формы представлены рекомендации по оптимизации этих деталей на этапе проектирования с учетом условий их эксплуатации.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные результаты работы получены при использовании оригинальных запатентованных средств экспериментального исследования – датчиков деформаций интегрального типа, применявшихся ранее при определении нагруженности и прогнозировании долговечности различных деталей и металлоконструкций машин в условиях их стендовых и эксплуатационных испытаний;

теоретические методы оценки вероятности отказа деталей машин согласуются с опубликованной статистикой;

идея базируется на использовании численных методов теории упругости совместно с результатами оценки распределения деформаций по поверхности детали, зафиксированных с помощью датчиков деформаций интегрального типа в процессе эксплуатации. Восстанавливаемая на основе развития кинетической теории

усталости и аппарата непараметрической статистики фактическая нагруженность деталей является исходной для прогнозирования их долговечности.

Использованы современные методы непараметрической статистики, апробированные ранее в других областях знаний и кинетическая теория механической усталости, применявшаяся для оценки долговечности деталей.

Установлено, что адекватность разработанных расчетных схем для конечно-элементного моделирования подтверждается путем сопоставления результатов расчета и выполненных стендовых испытаний подшипников и превенторов.

Использованы представительные выборочные совокупности, полученные в процессах функционирования нефтегазовых трубопроводов и усталостных испытаний образцов на выносливость.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке методологии и комплекса программ для оценки прочностной надежности деталей машин для условий их случайного нагружения в эксплуатации; развитии кинетической теории многоциклового усталости в части определения параметров моделей кривых усталости на основе разработанных алгоритмов и комплекса программ; развитии экспериментальных методов оценки нагруженности и долговечности деталей по показаниям датчиков деформаций интегрального типа; разработке метода определения эквивалентных по повреждающему воздействию напряжений и эквивалентного числа циклов нагружения детали; создании расчетно-экспериментального метода прогнозирования долговечности с заданной вероятностью неразрушения, позволяющего оценить остаточный ресурс детали; в подготовке публикаций по выполненной работе. Все результаты, приведенные в диссертации, получены либо самим автором, либо при его непосредственном участии.

На заседании 27.06.2018г. диссертационный совет принял решение присудить Сызранцевой Ксении Владимировне ученую степень доктора технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22

человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 22, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета



[Signature]
Ю.В. Рождественский

Ученый секретарь диссертационного совета

[Signature]
Е.А. Лазарев

27.06.2018 года