

ИННОВАЦИЯМ
ЛЬНОГО
го политехнического



ических наук, профессор
Коротаяев Владимир Николаевич

«5» октября 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Модель комплексного оценивания прочностных свойств металлических материалов на основе системного анализа зеренно-фазовой структуры» выполнена на кафедре «Вычислительная математика, механика и биомеханика».

В период подготовки диссертации соискатель Батин Сергей Евгеньевич работал в АО «Геликон Консалтинг» в должности специалиста по тестированию в отделе управления качеством.

В 2017 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению «Прикладная математика и информатика». С 01.10.2017 по настоящее время обучается в аспирантуре очной формы обучения Пермского национального исследовательского политехнического университета, по направлению подготовки 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Столбов Валерий Юрьевич, работает заведующим кафедрой «Вычислительная математика, механика и биомеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета (до июня 2019 года научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Гитман Михаил Борисович).

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- соискатель выявил наличие проблем при создании новых функциональных материалов со сложными связями между параметрами

зеренно-фазовой структуры и механическими свойствами на примере термоупрочненных сталей;

- выполнил аналитический обзор и анализ различных методов установления системных закономерностей между микро- и макросвойствами металлических материалов;

- предложил оригинальную модель оценивания прочностных свойств материала, отличающуюся возможностью оценки заданного комплекса макросвойств на основе системного анализа микроструктуры посредством применения теории нечетких множеств;

- разработал алгоритм определения представительности цифровых данных о микроструктуре для оценки макроскопических свойств материала, позволяющий генерировать модельную объемную зеренную структуру кристаллического материала и вычислять размеры представительного изображения на основе статистического критерия;

- реализовал предложенную модель и алгоритмы в виде программного продукта и провел его апробацию на реальных данных при создании арматурной стали с заданными прочностными свойствами;

- провел серию вычислительных экспериментов, которые показали адекватность разработанных модели и алгоритмов и позволили выявить новые закономерности между параметрами микроструктуры стали и ее макросвойствами, полезные для теории и практики в области металловедения и термообработки сталей.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке модели комплексного оценивания прочностных свойств металлических материалов, учитывающей их сложную микроструктуру, выборе эффективного алгоритма оценки представительности цифровых изображений микроструктуры и разработке методики определения минимального числа экспериментов и значимых параметров микроструктуры при проведении оценки прочностных свойств металлических материалов, что представлено совокупностью следующих положений:

- предложена оригинальная модель оценивания прочностных свойств материала, отличающаяся возможностью оценки заданного комплекса макросвойств на основе системного анализа микроструктуры с помощью теории нечетких множеств;

- разработан алгоритм определения представительности цифровых данных о микроструктуре для оценки макроскопических свойств материала, отличающийся способом генерации модельной объемной зеренной структуры и вычислением размеров представительного изображения на основе статистического критерия;

- разработана методика определения минимального числа экспериментов и значимых параметров микроструктуры при проведении оценки прочностных свойств металлических материалов в рамках предложенной модели

комплексного оценивания, позволяющая получать оценки с допустимым значением погрешности на основе меньшего числа экспериментальных данных;

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается близостью полученных результатов решения тестовых задач к экспериментальным данным, а также практическим применением как на демонстрационных, так и на реальных задачах проектирования и создания функциональных сталей с заданными прочностными свойствами.

4. Теоретическая и практическая значимость исследования. Теоретическая значимость заключается в разработке универсальных моделей и алгоритмов, позволяющих проводить комплексное оценивание эксплуатационных характеристик различных металлических материалов на основе компьютерного анализа их зеренно-фазовых структур, а их использование на практике в виде программного обеспечения «Нечеткий определитель комплексных свойств материалов (НОКСМ)» позволяет повысить эффективность процесса проектирования новых материалов при малых объемах данных натуральных экспериментов.

Предложенные модели и алгоритмы, а также программное обеспечение внедрены в производственную и исследовательскую практику предприятия ООО «Research and Development MGTU», что подтверждается актом внедрения от 20.11.2019. Применение разработанных моделей и алгоритмов позволяет в среднем сократить затраты при создании функционального материала на 7 % за счет обоснованного уменьшения числа экспериментов.

Разработанные в диссертации модели, алгоритмы и программное обеспечение также используются в учебном процессе в Пермском национальном исследовательском политехническом университете при реализации образовательных программ магистратуры по направлению 09.04.04 Информационные системы и технологии, что подтверждено соответствующими актом внедрения.

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 17 работах, из них 4 работы в журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых изданий (общий объем публикаций составляет 5,6 п.л.):

Публикации в изданиях, индексируемые в международных реферативных базах и системах цитирования

1). Методика комплексного оценивания эксплуатационной долговечности функционального материала при эндопротезировании

тазобедренного сустава. Сообщение 1. / М.Б. Гитман, В.Л. Скрябин, А.В. Сотин, В.Ю. Столбов, **С.Е. Батин** // Российский журнал биомеханики. – 2017. – №4. – С. 365-375. (**Scopus**)

*В данной работе группой соавторов приведена методика комплексного оценивания эксплуатационной долговечности функционального материала (ФМ) при эндопротезировании тазобедренного сустава. В качестве ФМ рассматривается сложная конструкция в виде системы кость-эндопротез, состоящая из металлического импланта, кости человека и условий их взаимодействия при заданной эксплуатационной долговечности. С.Е. Батиным были предложены частные биомеханические критерии оптимальности исследуемого функционального материала и обоснован в виде нечеткого множества комплексный критерий эксплуатационной долговечности конструкции кость-эндопротез с учетом индивидуальных физиологических показателей для различных возрастных групп протезируемых. (**Вклад соискателя 35%**).*

2). Influence of microdamage structure on fatigue resistance of metal functional material / M. Bartolomey, D. Boyarshinov, **S. Batin**, M. Gitman, V. Oborin // Advances in Engineering Research (AER) : Proceedings of the International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" (AIME 2018). – 2018. – Vol. 157. – Pp. 76-80. (**Scopus**)

*В данной работе группой соавторов приведена методика исследования влияния микроповрежденности металлического функционального материала на его усталостную прочность. С.Е. Батиным были проведены и описаны в статье численные исследования влияния предложенных параметров микроповрежденности материала на комплексный критерий его эксплуатационной прочности с использованием оригинальной модели комплексного оценивания. (**Вклад соискателя 25%**).*

3). Methodology to estimate the minimum number of experiments and key microstructural parameters in macroscopic strength properties evaluation / I.M. Gitman, M.B. Gitman, V.Yu. Stolbov, **S.E. Batin**, D.A. Boyarshinov // ZAMM Journal of applied mathematics and mechanics: Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik. – 2019. – Vol. 99, № 3. – 9 p. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/zamm.201800259>. (**Web of Science, Scopus, ZbMATH**)

*В данной работе группой соавторов приведена методика расчета минимального числа экспериментов и выбора основных параметров микроструктуры при оценивании прочностных свойств исследуемого материала. С.Е. Батиным были предложены подходы к разработке методики, приведены все необходимые результаты расчетов, полученные с использованием экспериментальных данных и разработанного им программного обеспечения. (**Вклад соискателя 50%**).*

Публикация в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные

**научные результаты диссертаций на соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук**

4). **Батин С.Е.** Определение размеров представительного изображения для оценки структурных характеристик материала // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2019. – №3. – С.103-115.

В данной работе С.Е. Батин приводит описание алгоритма оценки представительности цифрового изображения микроструктуры кристаллического материала. (Вклад соискателя 100%).

**Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и
патенты на изобретения**

5). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018661275. Российская Федерация. Нечеткий определитель комплексных свойств материалов (НОКСМ) / М.Л. Бартоломей, **С.Е. Батин**, Д.А. Бояршинов, М.Б. Гитман; правообладатель Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – № 2018618635; поступл. 13.08.2018; опубл. 04.09.2018, Бюл. № 9.

Соискатель лично разработал программное обеспечение разработанного совместно со авторами алгоритма комплексного оценивания (Вклад соискателя 70%).

6). Патент на изобретение. Способ определения параметров термомеханической обработки и химического состава функциональных материалов с помощью глубокой нейронной сети / Клюев А.В., Столбов В.Ю., Гитман М.Б., Клестов Р.А., **Батин С.Е.** патентообладатель Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – № 2704751 Дата подачи заявки: 30.10.2018. Опубликовано: 30.10.2019. Бюл. №31.

Соискатель участвовал в компьютерной обработке и анализе исходных данных, характеризующих микроструктуру металлического материала в зависимости от режимов его термомеханической обработки (Вклад соискателя 20%).

Другие статьи и материалы конференций

7). **Батин С.Е.**, Гитман М.Б. Преобразование многомерной случайной величины // Материалы Всероссийской конференции молодых ученых и студентов «Математическое моделирование в естественных науках». – Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2015.Т.1. – С. 52-54. *(Вклад соискателя 50%).*

8). **Батин С.Е.**, Гитман М.Б. Об одном способе определения совместной плотности распределения функции нескольких случайных величин // Прикладная математика и вопросы управления. 2016. №1. С.59-66. *(Вклад соискателя 50%).*

9). **Батин С.Е.**, Бояршинов Д.А., Гитман М.Б. Определение физико-механических свойств функциональных материалов на основе анализа зеренно-фазовой структуры // Материалы Всероссийской конференции молодых ученых и студентов «Математическое моделирование в естественных науках». – Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2016.Т.1. – С. 39-44. *(Вклад соискателя 70%).*

10). **Батин С.Е.**, Бояршинов Д.А., Гитман М.Б. Мера близости для специальных нечетких множеств // Материалы конференции «Прикладная математика, механика и процессы управления». – Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2016. – С. 67-69. (*Вклад соискателя 50%*).

11). **Батин С.Е.**, Гитман М.Б. Комплексное оценивание прочностных свойств функциональных материалов на основе анализа параметров зёрно-фазовой структуры // Материалы конференции «Управление большими системами. УБС-2017». – Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2017. – С. 496-511. (*Вклад соискателя 80%*).

12). **Батин С.Е.**, Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Двухуровневая модель оценивания эксплуатационных характеристик функционального материала // Материалы конференции «Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве». – Изд-во ВГТУ. 2017. – С. 25-30. (*Вклад соискателя 50%*).

13). **Батин С.Е.**, Бартоломей М.Л., Бояршинов Д.А., Гитман М.Б. Анализ влияния структуры микроповрежденности на усталостную прочность металлического функционального материала // Материалы конференции «Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения». – Томск: Изд-во ТПУ. 2018. – С. 34-35. (*Вклад соискателя 30%*).

14). **Батин С.Е.**, Бартоломей М.Л., Бояршинов Д.А., Гитман М.Б. Оценка усталостной долговечности металлического функционального материала на основе данных о его микроповрежденности // Материалы конференции «Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред». – М.: Изд-во ИПМ РАН. 2018. – С. 16. (*Вклад соискателя 25%*).

15). Gitman I.M., Gitman M.B., **Batin S.Ye.**, Boyarshinov D.A. Prediction of mechanical characteristics of functional materials based on fuzzy sets // Материалы международной научно-технической конференции «Функциональные материалы: прогнозирование свойств и технологии изготовления». – Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2019. – С. 51. (*Вклад соискателя 30%*).

16). **Батин С.Е.**, Бартоломей М.Л., Бояршинов Д.А., Гитман М.Б. Прогноз усталостной долговечности функционального материала по заданным параметрам нагружения // Материалы XXI международной конференции по вычислительной математике и современным прикладным программным системам. – М.: Изд-во МАИ. 2019. С. 223-225. (*Вклад соискателя 25%*).

17). **Батин С.Е.**, Столбов В.Ю. Метод оценки представительности изображения микроструктуры функционального металлического материала // Материалы конференции «Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред». – Изд-во ООО «Сам Полиграфист». 2019. – С. 142. (*Вклад соискателя 80%*).

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

Представленная Батиным Сергеем Евгеньевичем диссертационная работа посвящена развитию методов комплексного оценивания и обработки

информации при малых объемах эмпирических данных и сложных внутрисистемных связей между внутренней структурой металлического материала и комплексом его эксплуатационных характеристик. Диссертационная работа включает разработку специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа сложных микроструктур металлических материалов и принятия решений при создании материалов с заданными прочностными свойствами, а также алгоритмов прогнозирования и оценки качества создаваемых функциональных материалов.

Указанная область исследования соответствует формуле специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям): пункту 5 – «Разработка специального и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», пункту 11 – «Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности сложных систем» и пункту 12 – «Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации».

7. Соответствие диссертации требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертационная работа представляет собой оригинальное исследование с корректным указанием ссылок на источники заимствования используемых научных и экспериментальных материалов. Автор работы корректно ссылается как на научные работы, выполненные им лично, так и в соавторстве.

Диссертация «Модель комплексного оценивания прочностных свойств металлических материалов на основе системного анализа зеренно-фазовой структуры» **Батина Сергея Евгеньевича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические и информационные системы).

Заключение принято на заседании кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика».

Присутствовало на заседании 31 чел. Результаты голосования: «за» - 31 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 1 от «31» августа 2020 г.

Заместитель заведующего кафедрой
«Вычислительная математика, механика и биомеханика»,
доктор технических наук, доцент



/Федосеев Сергей Анатольевич/