

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА, СОЗДАННОГО НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РФ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 19 мая 2022 г. протокол № 2

О присуждении Четвертаковой Евгении Сергеевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация на тему «Разработка математического и алгоритмического обеспечения проверки статистических гипотез о деградиционных моделях надежности» по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики» принята к защите 01 марта 2022 г. (протокол заседания № 5) диссертационным советом Д 212.173.06, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, создан на основании приказа №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Четвертакова Евгения Сергеевна, «21» мая 1991 года рождения. В 2014 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению «Прикладная математика и информатика», выдан диплом и присвоена квалификация «Магистр». В 2018 году соискатель завершила обучение в очной аспирантуре в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». Срок обучения в аспирантуре с 01.09.2014 года по 31.08.2018 г. С 2017 года по настоящее время работает главным программистом-

аналитиком в ООО «Эко-Томск».

Диссертация выполнена на кафедре теоретической и прикладной информатики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Чимитова Екатерина Владимировна, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра теоретической и прикладной информатики, профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

1. Кошкин Геннадий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Институт прикладной математики и компьютерных наук, кафедра системного анализа и математического моделирования, профессор кафедры;

2. Агафонов Евгений Дмитриевич, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кафедра системного анализа и исследования операций, профессор кафедры.

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (г. Томск), в своем положительном отзыве, подписанном Кориковым Анатолием Михайловичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры автоматизированных систем управления, Катаевым Михаилом Юрьевичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры автоматизированных систем управления, Мицелем Артуром

Александровичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры автоматизированных систем управления и утвержденном Лоциловым Антоном Геннадьевичем, кандидатом технических наук, доцентом, проректором по научной работе и инновациям ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», указала, что диссертационная работа Четвертаковой Евгении Сергеевны «Разработка математического и алгоритмического обеспечения проверки статистических гипотез о деградиционных моделях надежности» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполненным по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

По теме диссертации соискатель имеет 24 опубликованные работы, из них 3 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 6 статьей проиндексированы в международных информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и Scopus, 14 работ опубликованы в материалах международных и российских конференций. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Авторский вклад в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 70%. Общий объем опубликованных работ составляет 6,2 п.л.

Основные публикации по теме диссертации:

*Публикации в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ*

1. Четвертакова Е. С. Построение гамма деградиционной модели надежности с учетом влияния объясняющих переменных / Е.С. Четвертакова, Е.В. Чимитова // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика, 2014. – №4(29). – С. 51-60.

2. Четвертакова Е.С. Исследование деградационных гамма-моделей со случайным и фиксированным эффектами // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 6. С. 120–128.

3. Chetvertakova E., Chimitova E. Testing significance of random effects for the gamma degradation model. // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика, 2019 – No. 49. – С. 92–100.

*Публикации в рецензируемых международных изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus*

4. Chetvertakova E. The Wiener degradation model in reliability analysis / E. Chetvertakova, E. Chimitova // 11 International forum on strategic technology (IFOST 2016) : proc., Novosibirsk, 1–3 June 2016. – Novosibirsk : NSTU, 2016. – Pt. 1. – P. 488–490.

5. Chimitova E.V. The construction of degradation trend using the "random-effect" models / E. V. Chimitova, E. S. Chetvertakova, A. V. Faddeenkov // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2016) : тр. 13 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. : в 12 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 1, ч. 2. – С. 378–380.

6. Chetvertakova E.S. Statistical degradation models for reliability analysis in non-destructive testing / E.S. Chetvertakova, E.V. Chimitova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. – Vol. 189. – 6 pp.

7. Chimitova E.V. A comparative analysis of the Wiener, gamma and inverse gaussian degradation models / E. V. Chimitova, E. S. Chetvertakova, S. A. Sergeeva, E. Osinceva // Applied methods of statistical analysis. Nonparametric methods in cybernetics and system analysis : proc. of the intern. workshop, Krasnoyarsk, 18–22 Sept. 2017. – Novosibirsk : NSTU, 2017. – P. 160–167.

8. Chetvertakova E. The Wiener degradation model with random effects in reliability metrology / E. S. Chetvertakova, E. V. Chimitova // Advanced

Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing XI. – Glasgow : World Scientific, 2018. – P. 162–169.

9. Chetvertakova E. S., Chimitova E. V. Goodness-of-fit testing for the degradation models in reliability analysis // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018): тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т.1, ч. 4. – С. 45–48.

*Прочие публикации в рецензируемых научных изданиях*

10. Четвертакова Е.С. Построение гамма деградационной модели надежности с учетом влияния объясняющих переменных / Е. С. Четвертакова, Е. В. Чимитова // Труды XII международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения», 2-4 октября 2014 г., г. Новосибирск. – Т. 6. – С. 73-78.

11. Chetvertakova E.S. A comparison of the “fixed-effect” and “random-effect” gamma degradation models / E.S. Chetvertakova, E.V. Chimitova // Applied methods of statistical analysis. Nonparametric approach, AMSA’2015, 14–19 September 2015: Proceedings of the international workshop. – Novosibirsk, 2015. – pp.161-169.

12. Chetvertakova E. Testing Goodness-Of-Fit of the Gamma Degradation Model / E. Chimitova, E. Chetvertakova // Eighth International Workshop on Simulation (IWS 2015) : abs. of the intern. workshop, 21–25 Sept. 2015, Vienna (Austria), 2015.

13. Четвертакова Е.С., Чимитова Е.В. Проверка значимости случайного эффекта для винеровской деградационной модели // Системы анализа и обработки данных. – 2021. – № 3 (83). – С. 129–142.

*Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:*

14. Чимитова Е.В., Семенова М.А., Четвертакова Е.С., Вожов С.С. Система статистического анализа данных типа времени жизни «LiTiS 1.3»., Программа для ЭВМ 20166191972, Сентябрь 1, 2016.

Все выносимые на защиту положения получены автором лично.

На диссертацию и автореферат поступили 6 отзывов, все отзывы положительные:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пензенский государственный технологический университет", Киндаев Александр Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий сектором научной аттестации.

Замечания: 1) Из автореферата не ясно, почему были выбраны непараметрические критерия согласия типа Колмогорова, Крамера-Мизеса-Смирнова и Андерсона-Дарлинга для проверки сложных гипотез? 2) В автореферате недостаточно подробно описаны перспективы практического использования разработанного алгоритма и области применения программного продукта.

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук,

Огородников Василий Александрович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории стохастических задач,

Каргаполова Нина Александровна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории стохастических задач.

Замечание: На стр. 16 в формулировке п. 2 и 3 предложенного алгоритма указано, что функции правдоподобия имеют вид (2) – (4) и (6), но на стр. 9 – 11 формулы с этими номерами описывают функции надежности рассматриваемых моделей. Формулы, описывающие функции правдоподобия, не пронумерованы и приведены на стр. 12.

3. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Васильев Вячеслав Артурович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры

системного анализа и математического моделирования

Замечания: 1) В качестве названия диссертационной работы можно было использовать более емкое выражение, например, «Проверка статистических гипотез о деградиационных моделях надежности». Текущее же название больше напоминает представление диссертации на соискание ученой степени доктора наук. 2) Хотелось бы иметь более полное представление о свойствах деградиационной характеристики в задаче анализа надежности арсенид-галлиевых лазеров.

4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Муравьев Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор отделения автоматизации и робототехники

Замечания: 1) Применение разработанных алгоритмов предполагает наличие интерактивного режима для моделирования распределений статистик, однако в автореферате не приведены данные о необходимых для этого вычислительных ресурсах, о затратах времени на моделирование эмпирических распределений статистик и на решение оптимизационных задач. 2) В алгоритмах проверки гипотез упоминается параметр  $M$  (шаг 5 на с. 16 и шаг 6 на с. 18) получения эмпирической функции распределения. Однако не даны рекомендации по выбору значения этого параметра.

5. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Чжан Екатерина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Информационных систем Института космических и информационных технологий.

Замечания: 1) Отсутствуют пояснения, почему в качестве распределения случайного параметра были выбраны гамма- и усеченное нормальное распределение для гамма- и винеровской моделей, соответственно. 2) Не

понятно, какой физический смысл несет значение деградиационного показателя в задаче анализа надежности арсенид-галлиевых лазеров.

6. Омский автобронетанковый инженерный институт, Ахтулов Алексей Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры двигателей.

Замечания: 1) Не ясен выбор непараметрических критериев согласия, а частности Колмогорова, Крамера-Мизеса-Смирнова и Андерсона-Дарлингга для проверки сложных гипотез. 2) Не ясна перспектива области практического использования разработанного алгоритма и применения программного обеспечения. 3) Нет ясной связи использования разработанной версии статистического анализа данных типа времени жизни при решении задач анализа надежности турбовентиляторных двигателей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их квалификацией и значительными достижениями в данной отрасли науки, а также наличием большого числа публикаций по тематике, близкой к представленной в диссертации.

Доктор физико-математических наук, профессор **Кошкин Г.М.** – признанный эксперт в области непараметрических методов идентификации вероятностных моделей и стохастических процессов.

Доктор технических наук, доцент **Агафонов Е.Д.** является автором большого числа работ в области разработки систем мониторинга и прогноза динамических распределенных процессов, в том числе публикаций, посвященных прогнозному моделированию процессов деструкции моторных масел.

**Кафедра автоматизированных систем управления в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»** готовит высококвалифицированных специалистов в сфере прикладной математики и информационных технологий. В частности, одним из научных направлений кафедры является проведение исследований



математических моделей надежности, а также разработка программного обеспечения, позволяющего оценить вероятность безотказной работы технических систем.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработан** новый алгоритм проверки сложных гипотез о виде деградиационных гамма- и винеровской моделей, использующий непараметрические критерии согласия типа Колмогорова, Крамера-Мизеса-Смирнова и Андерсона-Дарлинга;

на основании анализа встречаемых деградиационных данных **введен** термин «деградационная модель со случайным параметром»;

в результате анализа статистических свойств оценок параметров деградиационных гамма- и винеровских моделей **показана** необходимость с использованием соответствующих критериев проверять гипотезы о незначимости влияния случайного параметра деградиационной модели;

впервые **предложены** статистические критерии проверки гипотезы о незначимости дисперсии случайного параметра (об отсутствии влияния случайного параметра) деградиационной модели: критерий отношения правдоподобия и критерий, основанный на оценке дисперсии случайного параметра.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** обоснованность применения разработанной методики с проверкой гипотезы о незначимости дисперсии случайного параметра при анализе и построении деградиационных гамма- и винеровских моделей;

**применительно к тематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован** метод Монте-Карло;

**изложен** подход к проверке гипотез о виде деградиационных гамма- и винеровской моделей, основанный на применении непараметрических

критериев согласия типа Колмогорова, Крамера-Мизеса-Смирнова и Андерсона-Дарлинга;

**раскрыта** проблема выбора между деградиционной моделью со случайным параметром и без случайного параметра;

**изучено** влияние различных факторов, таких как вид функции тренда, вид функции от ковариат и план эксперимента, на распределения статистик критериев согласия типа Колмогорова, Крамера-Мизеса-Смирнова и Андерсона-Дарлинга при проверке сложных гипотез о виде деградиционных моделей;

**проведена модификация** методов проверки статистических гипотез относительно деградиционных гамма- и винеровской моделей.

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

**разработанные** алгоритмы проверки гипотезы о незначимости дисперсии случайного параметра и проверки гипотезы о виде деградиционных гамма- и винеровской моделей, **созданные** программные модули в рамках программной системы статистического анализа данных типа времени жизни «LiTiS», реализующие построение деградиционных гамма- и винеровской моделей надежности, **внедрены** в практику деятельности ООО «Эко-Томск»;

**определены** перспективы применения разработанного программного обеспечения для решения задач анализа надежности на основе данных о деградации технических устройств;

**представлены** результаты решения задач анализа надежности арсенид-галлиевых лазеров, углеродистых резисторов и турбовентиляторных двигателей.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**при проведении компьютерных экспериментов** грамотно применена методика компьютерного моделирования, реализованная с использованием

программных модулей, разработанных на языке программирования C#;

**теоретические результаты базируются** на известных положениях теории вероятностей и математической статистики, достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием методов исследования и методов обоснования полученных результатов;

**идея проведенных исследований базируется** на анализе практики построения вероятностных моделей надежности;

**при проведении исследований использовано** сравнение полученных результатов с ранее известными, опубликованными в научной литературе;

**установлено**, что результаты, полученные автором с использованием разработанных алгоритмов, не противоречат и согласуются с результатами, представленными в публикациях других авторов;

при проведении статистических экспериментов **использованы** современные генераторы псевдослучайных чисел.

**Личный вклад соискателя состоит:**

в проведении исследований статистических свойств оценок максимального правдоподобия параметров деградиционных гамма- и винеровской моделей;

в разработке и исследовании критериев, позволяющих определить значимость дисперсии (наличие влияния) случайного параметра деградиционных гамма- и винеровской моделей;

в проведении исследований распределений статистик и мощности критериев согласия типа Колмогорова, Крамера-Мизеса-Смирнова и Андерсона-Дарлинга при проверке гипотез о виде деградиционных моделей;

в разработке программного обеспечения, реализующего построение деградиционных гамма- и винеровской моделей надежности и предложенные алгоритмы проверки гипотез о виде моделей;

в решении задач анализа реальных данных с использованием разработанных алгоритмов и программного обеспечения.

В ходе защиты было высказано следующее критическое замечание: в анализе данных турбовентиляторных двигателей при подготовке единого деградационного показателя было бы предпочтительнее использовать метод главных компонент с ортогональным вращением.

Соискатель Четвертакова Е.С. согласилась с замечанием, отметив, что это могло сократить время подготовки данных.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные решения, имеющие существенное значение для расширения методов прикладной математической статистики для проверки гипотез о виде деградационных моделей. Работа соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

На заседании «19» мая 2022 г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития методов исследования моделей надежности, присудить Четвертаковой Е.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.13.17, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, нет человек дополнительно введенных на разовую защиту, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель  
диссертационного

Борис Юрьевич Лемешко

Учёный секретарь  
диссертационного

Андрей Владимирович Фаддеенков

19 мая 2022 г.