

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. проректора по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)» (МАИ)

д.т.н.

/А.В. Иванов

2024 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ)

Диссертационная работа Кос Оксаны Игоревны «Вероятностные методы и алгоритмы управления состоянием сложной технической системы», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы (технические науки)», выполнена на кафедре 311 «Прикладные программные средства и математические методы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации соискатель ученой степени Кос Оксана Игоревна работает с 2019 г. по настоящее время в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в должности ассистента, старшего преподавателя на кафедре 311 «Прикладные программные средства и математические методы».

В 2012 г. окончила с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» по специальности «Системы автоматизированного проектирования» с присвоением квалификации инженер (диплом с отличием ОК № 10928 от 15 июня 2012). В 2020 г. окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» по специальности «Управление проектами строительства, реконструкции и ремонта железнодорожного пути» с присвоением квалификации магистр (диплом 107727 0000654 выдан 16 июня 2020). В 2015г. окончила очную аспирантуру ФГБОУ ВПО «МГУПС» по специальности «Системы автоматизированного проектирования (по отраслям). Справка № 38 об обучении в аспирантуре и сдаче кандидатских экзаменов по иностранному языку (английский язык) и истории и философии науки (технические науки) выдана в ФГБОУ ВПО «МГУПС» от 20 мая 2015 г. Справка № 25/а о сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы (технические науки)» выдана в Федеральном исследовательском центре «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН) в 2024г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Смирнов Владимир Юрьевич – работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре № 311 «Прикладные программные средства и математические методы» в должности доцента.

По итогам обсуждения диссертационной работы «Вероятностные методы и алгоритмы управления состоянием сложной технической системы» было принято следующее заключение.

Считать диссертационную работу Кос О.И. «Вероятностные методы и алгоритмы управления состоянием сложной технической системы» по

актуальности, научному содержанию, объему обработки экспериментальных данных и практической реализации результатов исследований, соответствующей требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки Российской Федерации к кандидатским диссертациям.

Актуальность темы исследования.

В нашей стране эксплуатируется огромное количество сложных технических систем (СТС). Для того, чтобы снизить затраты на эксплуатацию и, одновременно, обеспечить заданный уровень надежности необходимо применение вероятностных методов и алгоритмов при принятии управленческих решений. Это позволит управлять техническим состоянием СТС таким образом, чтобы гибко реагировать на изменение эксплуатационных условий, обеспечивать экономический эффект и безопасность эксплуатации. Следовательно, задача разработки вероятностных методов и алгоритмов управления техническим состоянием СТС, решению которой посвящена настоящая диссертационная работа, является актуальной.

Целью работы является разработка вероятностных методов и алгоритмов управления техническим состоянием СТС для снижения затрат на эксплуатацию при условии обеспечения заданной надежности.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие **задачи:**

- выбрать закон распределения и разработать метод расчета параметров функции отказов любого элемента СТС на основании результатов обследований;
- создать классификацию элементов СТС по критерию их влияния на техническое состояние всей СТС в целом;
- построить рекуррентный метод расчета надежности на основе классификации элементов СТС для определения вероятности безотказной работы системы в целом в заданный момент времени с учетом всех предшествующих замен (ремонтов);

– построить метод управления техническим состоянием элементов СТС на основе выбранных функций отказов элементов с рассчитываемыми параметрами, позволяющий вычислить оптимальный интервал замены (ремонта) элемента.

– разработать алгоритм для достижения оптимального уровня затрат на эксплуатацию за счет минимизации количества выходов на эксплуатируемый объект;

– создать программный комплекс расчета надежности СТС на основе разработанных алгоритмов;

– построить схему управления техническим состоянием элементов СТС и системы в целом на весь период эксплуатации.

Личное участие соискателя в получении научных результатов:

К наиболее существенным научным результатам, полученным лично соискателем, следует отнести следующее.

1. Разработан метод расчета параметров функции отказов любого элемента СТС на основании результатов обследований.

2. Создана классификация элементов СТС по критерию их влияния на техническое состояние всей СТС в целом.

3. Построен рекуррентный метод расчета надежности на основе классификации элементов СТС для определения вероятности безотказной работы системы в целом в заданный момент времени с учетом всех предшествующих замен (ремонтов).

4. Построен метод управления техническим состоянием элементов СТС на основе выбранных функций отказов элементов с рассчитываемыми параметрами, позволяющий вычислить оптимальный интервал замены (ремонта) элемента.

6. Разработан алгоритм для достижения оптимального уровня затрат на эксплуатацию за счет минимизации количества выходов на эксплуатируемый объект с использованием модифицированного генетического алгоритма.

7. Создан программный комплекс расчета надежности СТС на основе разработанных алгоритмов.

8. Построена схема управления техническим состоянием элементов СТС и системы в целом на весь период эксплуатации.

Научная новизна:

– разработан метод расчета параметров функции отказов любого элемента СТС на основании результатов обследований;

– создана классификация элементов СТС по их влиянию на надежность системы в целом;

– разработан рекуррентный метод расчета надежности на основе классификации элементов СТС для определения вероятности безотказной работы системы в целом в заданный момент времени с учетом всех произведенных замен (ремонтов) элементов этой системы в предшествующие моменты времени;

– создан метод управления техническим состоянием элементов СТС на основе выбранных функций отказов элементов с рассчитываемыми параметрами, позволяющий вычислить оптимальный интервал замены (ремонта) каждого элемента СТС;

– применен адаптированный генетический алгоритм для достижения оптимального уровня затрат на эксплуатацию за счет минимизации количества выходов на эксплуатируемый объект;

– построена схема управления техническим состоянием элементов СТС и СТС в целом на весь период эксплуатации.

Теоретическая значимость:

– разработанный метод позволяет определять параметры функции отказов любого элемента СТС на основании результатов обследований;

– произведена классификация элементов СТС по степени взаимосвязи и взаимовлияния элементов СТС и их влияния на показатели надежности СТС в целом;

- создан рекуррентный метод расчета надежности на основе классификации элементов СТС;
- построен метод управления техническим состоянием элемента СТС на весь период эксплуатации;
- использован генетический алгоритм для решения задачи достижения оптимального уровня затрат на эксплуатацию СТС при условии обеспечения заданной надежности;
- созданный программный комплекс позволяет рассчитывать показатели надежности СТС и прогнозировать изменение этих показателей в процессе последующей эксплуатации
- разработана схема управления техническим состоянием элементов СТС и систем в целом на весь период эксплуатации.

Практическая значимость:

- с применением разработанного метода произведены расчеты параметров функций отказов для различных элементов СТС на основании результатов обследования;
- в разработанном программном комплексе произведены расчеты вероятности безотказной работы для ряда СТС с учетом произведенной классификации элементов;
- произведены расчеты оптимальных интервалов замен (ремонтов) для различных элементов ряда эксплуатируемых в настоящее время СТС с учетом ранее проведенных ремонтов и обследований;
- расчеты с помощью разработанного модуля программного комплекса на основе генетического алгоритма позволяют достичь оптимального уровня затрат на эксплуатацию за счет минимизации количества выходов на эксплуатируемый объект;
- использование созданного программного комплекса позволяет принимать научно-обоснованные решения по управлению СТС на основе стратегии их эксплуатации по фактическому техническому состоянию с

учетом проведенных обследований, плановых и внеплановых ремонтов, а также внезапных отказов;

- построены схемы управления техническим состоянием для ряда эксплуатируемых в настоящее время СТС на весь период эксплуатации.

Практическая значимость работы была подтверждена тем, что результаты диссертационного исследования Кос О.И. «Вероятностные методы и алгоритмы управления состоянием сложной технической системы» были внедрены в отделе «Искусственные сооружения» Московского проектно - изыскательного института «МОСЖЕЛДОРПРОЕКТ» – филиал АО «Росжелдорпроект».

С помощью разработанного программного комплекса были построены схемы управления техническим состоянием сложных технических систем, таких искусственных сооружений как пролетное строение моста, пропускающего р. Нерусса расположенного на 478 км II пути участка Брянск-Суземка, пролетного строения моста, пропускающего р. Снежень 375/4 км (четные пути) Брянской дистанции пути и другие.

Достоверность исследований подтверждена:

- достоверностью примененных математических методов исследования, в том числе методов теории вероятности и математической статистики;

- согласованностью результатов расчетов, полученных в разработанном программном комплексе, с данными, полученными в ходе обследований СТС;

- публикациями результатов исследований в рецензируемых научных изданиях, в том числе рекомендованных ВАК;

- докладами и обсуждениями результатов исследований на российских и международных конференциях

- воспроизводимостью результатов исследований

- результатами практического применения.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях:

1. XIII научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов» (Москва, МИИТ, 2012).
2. Международная научная конференция «Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение. Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность» (Москва, НИИСФ РААСН, 2013).
3. X международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Trans-Mech-Art-Chem» (Москва, МИИТ, 2014).
4. Международная научно-практическая конференция «Транспорт–2014» (Ростов-на-Дону, РГУПС, 2014).
5. 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS), (St. Petersburg, 2017).
6. 2018 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS), (St. Petersburg, 2018).
7. 22-я Международная конференция «Авиация и космонавтика», Москва, 20-24 ноября 2023 года.
8. Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, (Гомель, 16 –17 ноября 2023 г.).
9. Международная Воронежская весенняя математическая школа «Современные методы теории краевых задач. Понтрягинские чтения – XXXV» – 2024 (Воронеж, 26 – 30 апреля 2024 г.).

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени.

Основные научные результаты диссертации Кос О.И. опубликованы в 17 рецензируемых научных изданиях, в том числе 9 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ и в изданиях, включенных в международную реферативную базу данных Scopus.

Девять работ опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ и в изданиях, включенных в международную реферативную базу данных SCOPUS:

1. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Оптимальный интервал предупредительных замен для искусственных сооружений железных дорог // Мир транспорта. – 2013. – №1. – с.152–155. (Перечень ВАК РФ).
2. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Расчет показателей технического состояния искусственных сооружений и их прогнозирование // Транспортное строительство. – 2014. – №1. – с. 30–32. (Перечень ВАК РФ).
3. *Кос О.И.* Прогноз износа металлических мостовых пролетов // Мир транспорта. – 2014. – №5. – с.82–89. (Перечень ВАК РФ).
4. *Кос О.И.* Рекуррентный алгоритм расчета и прогнозирования вероятности безотказной работы искусственных сооружений // Транспортное строительство. – 2016. – №6. – с. 16–19. (Перечень ВАК РФ).
5. *Кос О.И.* Схема управления техническим состоянием искусственных сооружений // Мир транспорта. – 2016. – №5. – с.198–204. (Перечень ВАК РФ).
6. *Кос О.И., Смирнов В. Ю.* Применение генетического алгоритма в задаче оптимизации замены элементов системы // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022. – № 5. – с. 76–89. (перевод: Kos O. I., Smirnov V. U. Optimal Replacement of System Elements Using a Genetic Algorithm // Journal of Computer and Systems Sciences International. Optimal Control. Volume 61. – 2022. – pp. 793–804.). (Перечень ВАК РФ, SCOPUS).
7. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Математическая модель управления техническим состоянием элементов сложных технических систем на основе закона распределения функции отказов элементов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022, № 6, с. 3–10. (перевод: Kos O. I., Smirnov V. U. Mathematical Model of Control of the Technical Condition of Elements of Complex Technical Systems on the Basis of the Distribution Law of the Function of Element Failures // Journal of Computer and Systems Sciences International. System Theory

and General Control Theory. Volume 61. – 2022. – pp. 885–892). (Перечень ВАК РФ, SCOPUS).

8. *Kos O.I., Smirnov V.U.* Program module for calculating the optimal interval of preventive substitutions // Proceedings 2017 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). – 2017. – pp. 282–283. (SCOPUS).

9. *Kos O.I., Smirnov V.U., Eseva E.A.* Adaptation of Reliability Calculation Software Packages for High Performance Distributed Computing Systems // Proceedings 2018 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). – 2018. – pp. 219 – 221. (SCOPUS).

Следующие работы опубликованы в других научных изданиях:

10. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Вычисление интервала предупредительных замен элементов для обеспечения безопасности искусственных сооружений // Труды XIII научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», 18-19 октября 2012 г., Москва. – М.: ОУС ОАО «РЖД», 2012. – с. XIV–181–XIV–182.

11. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Обеспечение надежности искусственных сооружений на железных дорогах // Сборник к конференции актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение. Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность, 02–04 июля 2013 г., Москва. – М.: ФГБУ «НИИ строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», 2013. – с. 463–470.

12. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Расчет показателей технического состояния искусственных сооружений на транспорте // Труды Международной научно-практической конференции «Транспорт–2014», 22–25 апреля 2014 г., Ростов-на-Дону. – Ростов-на-Дону.: РГУПС, 2014. – с. 304–307.

13. *Кос О.И.* Расчет и прогнозирование показателей технического состояния искусственных сооружений // Труды X международной научно-

практической конференции студентов и молодых ученых «Trans-Mech-Art-Chem», 01–31 мая 2014 г., Москва. – М.: МИИТ, 2014. – с. I–52–I–53.

14. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Применение генетического алгоритма искусственного интеллекта для управления эксплуатацией сложных технических систем // Тезисы 22-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика», 20–24 ноября 2023 г., Москва. – М.: «Перо». – 148–149 с.

15. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Применение генетического алгоритма для управления эксплуатацией искусственных сооружений на железных дорогах // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа: в 2 ч.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко, 16–17 ноября 2023 г., Гомель. – Г.: БГУ транспорта, 2023. – с. 144–146.

16. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Оптимизация затрат на эксплуатацию сложной технической системы с помощью генетического алгоритма искусственного интеллекта // Современные методы теории краевых задач. Понтрягинские чтения – xxxv. Материалы международной Воронежской весенней математической школы, 26–30 апреля 2024 г., Воронеж. – В.: Издательский дом ВГУ, 2024. – 178–180 с.

17. *Кос О.И., Смирнов В.Ю.* Применение алгоритма Хебба для классификации качества проведенных ремонтов сложных технических систем // Современные методы теории краевых задач. Понтрягинские чтения – xxxv. Материалы международной Воронежской весенней математической школы, 26–30 апреля 2024 г., Воронеж. – В.: Издательский дом ВГУ, 2024. – 180–182 с.

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают **персональный вклад автора** в опубликованные работы.

В представленных работах: приведены разработанные автором рекуррентный метод расчета надежности на основе классификации элементов СТС и метод управления техническим состоянием элементов СТС на основе выбранных функций отказов элементов с рассчитываемыми параметрами,

описаны особенности применения генетического алгоритма для достижения оптимального уровня затрат на эксплуатацию за счет минимизации количества выходов на эксплуатируемый объект, приведены результаты расчетов, полученные с использованием созданного автором программного комплекса, и построены на их основе схемы управления техническим состоянием элементов СТС и СТС в целом на весь период эксплуатации. Автор лично подготовил все публикации к печати.

В основных работах [1–9] приведены ключевые положения диссертации.

Работы [1, 7, 8] посвящены созданному автором методу управления техническим состоянием элементов СТС на основе выбранных функций отказов элементов с рассчитываемыми параметрами, позволяющему вычислить оптимальный интервал замены (ремонта) элемента и разработке модуля программного комплекса на его основе. В работе [2] приведены результаты произведенных автором расчетов показателей технического состояния искусственных сооружений и их прогнозирование. В работе [3] представлен разработанный автором метод расчета параметров функции отказов любого элемента СТС на основании результатов обследований. Работа [4] посвящена созданному автором рекуррентному методу расчета надежности на основе классификации элементов СТС и прогнозированию вероятности ее безотказной работы. В работе [5] приведена разработанная автором схема управления техническим состоянием элементов СТС и СТС в целом на весь период эксплуатации. Работа [6] посвящена применению модифицированного автором генетического алгоритма для достижения оптимального уровня затрат на эксплуатацию за счет минимизации количества выходов на эксплуатируемый объект. В работе [9] представлена произведенная автором адаптация программного комплекса для распределенных вычислительных систем.

Работы [10 – 17] являются статьями в сборниках научных конференций или тезисами научных докладов, выполненных автором на различных научных мероприятиях, в том числе международных конференциях.

Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все результаты диссертационной работы получены лично соискателем под научным руководством к. т. н. Смирнова В.Ю.

Диссертационная работа Кос Оксаны Игоревны на тему: «Вероятностные методы и алгоритмы управления состоянием сложной технической системы» является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, посвященной решению задачи разработки вероятностных методов и алгоритмов управления состоянием сложной технической системы, имеющей важное значение для развития области информатики и информационных процессов, в частности: для разработки компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, для применения информационных технологий и систем в принятии решений на различных уровнях управления, для разработки систем принятия решения на основе баз данных и знаний, для систем принятия групповых решений, систем проектирования объектов и процессов, экспертных систем и удовлетворяет всем требованиям пунктов 9, 10 и 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а также Паспорту научной специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы (технические науки)», в частности по следующим пунктам:

– пункт 1: «Разработка компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, а также средств анализа и выявления закономерностей на основе обмена информацией пользователями и возможностей используемого программно-аппаратного обеспечения»;

– пункт 6: «Обеспечение информационных систем и процессов, применения информационных технологий и систем в принятии решений на различных уровнях управления. Общие принципы и основы организации

информационных служб и электронных библиотек»;

– пункт 8: «Разработка систем принятия решения на основе баз данных и знаний, реализующих имитационные модели прогнозирования изменения материальных процессов и событий»;

– пункт 16: «Автоматизированные информационные системы, ресурсы и технологии по областям применения (научные, технические, экономические, образовательные, гуманитарные сферы деятельности), форматам обрабатываемой, хранимой информации. Системы принятия групповых решений, системы проектирования объектов и процессов, экспертные системы».

Диссертация Кос Оксаны Игоревны на тему: «Вероятностные методы и алгоритмы управления состоянием сложной технической системы» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы (технические науки)».

Заключение принято на заседании кафедры 311 «Прикладные программные средства и математические методы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». Присутствовало на заседании 19 человек. Результаты голосования: «за» - 19 чел., «против» - нет, «воздержалось» – нет, протокол № 14 от «02» июля 2024 года.



В.А. Вестяк, д.ф.-м.н.
заведующий кафедрой № 311
«Прикладные программные средства
и математические методы»
ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)»