

"УТВЕРЖДАЮ"

Первый проректор-
проректор по научной работе РУДН
доктор медицинских наук, профессор, член-корр. РАН

А.А. Костин



20-06-2024

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) на основании решения, принятого на заседании кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

Диссертация «Исследование надёжности замкнутой резервированной системы обслуживания с произвольным числом источников данных и ограниченными ресурсами» выполнена на кафедре теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук.

Уанкпо Гектор Жибсон Кинманон 1992 года рождения, гражданин Бенина, в 2018 году окончил с отличием магистратуру ФГАОУ ВО РУДН по направлению 01.04.02 – Прикладная математика и информатика.

С 22.09.2018 по 01.07.2022 обучался в очной аспирантуре РУДН по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника, соответствующему научной специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика, по которой подготовлена диссертация.

С 24.04.2024 г. по 28.12.2024 г. прикреплен для подготовки и защиты диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика по кафедре теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук.

Документ о сдаче кандидатских экзаменов выдан в 2023 году в РУДН.

Научный руководитель – Козырев Дмитрий Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

5. разработке алгоритмов дискретно-событийного имитационного моделирования и их реализации в виде комплекса программ имитационного моделирования для анализа надежности замкнутых резервированных систем обслуживания различной конфигурации и разного типа резерва для общего случая, когда оба исходных распределения модели отличны от показательного;
6. проведении численного и графического анализа зависимости стационарных и нестационарных характеристик надежности системы от параметров модели с помощью разработанных аналитических и имитационных моделей.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность полученных результатов обеспечивается их строгими доказательствами, а также подтверждается численными расчетами и вычислительным экспериментом. Результаты, полученные с помощью разработанного комплекса имитационных моделей, хорошо согласуются с результатами, полученными с помощью аналитических моделей.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы по мере их получения докладывались на международных научных конференциях DCCN-2016, DCCN-2020, DCCN-2021, Москва, ICUMT-2020, Брно (онлайн), ESREL2020, Венеция (онлайн), «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (2018-2021 гг.), «Prospects of Fundamental Sciences Development 2019», Томск, а также на всероссийских конференциях с международным участием ИТТММ-2017, ИТТММ-2018, ИТТММ-2019, Москва.

Новизна результатов проведенных исследований.

1. Разработан комплекс новых аналитических моделей замкнутой резервированной системы обслуживания с произвольным числом элементов с разными типами резерва (горячее, холодное, облегчённое резервирование и резервирование типа k -из- n). Исследовано поведение системы при редких отказах её элементов и выведены асимптотические выражения для вероятностей состояний системы.
2. Разработан новый комплекс программ имитационного моделирования для расчета характеристик надежности резервированной системы и анализа их зависимости от параметров модели в самом общем случае, когда как распределение времени безотказной работы, так и распределение времени ремонта отказавших элементов являются произвольными.

Теоретическая и практическая значимость проведенных исследований.

Теоретическую значимость представляют разработанные в диссертации математические методы и вычислительные алгоритмы, предназначенные для

Тема диссертационного исследования в окончательной редакции была утверждена на заседании Ученого совета факультета физико-математических и естественных наук РУДН, 21.05.2024, протокол № 0201-08/10.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы.

В своем диссертационном исследовании Уанкпо Гектор Жибсон Кинманон исследовал надёжность замкнутой резервированной системы обслуживания с произвольным числом источников данных и ограниченными ресурсами для их обработки. С этой целью были предложены и исследованы математические модели рассматриваемой системы в различных конфигурациях и для разных типов резерва, и вычислены её характеристики надёжности методом введения дополнительной переменной. Для этого выведены дифференциальные уравнения Колмогорова, позволяющие найти вероятности состояний рассматриваемой системы, и найдено их решение методом вариации постоянной. Исследовано поведение системы при редких отказах её элементов и выведены асимптотические выражения для вероятностей состояний системы. Кроме того, разработан комплекс программ имитационного моделирования на основе дискретно-событийного подхода для численного и графического анализа надёжности однородных и неоднородных резервированных систем разных типов резерва с произвольными функциями распределения времени безотказной работы и времени ремонта элементов. С помощью разработанных вычислительных алгоритмов и программных средств проведен численный и графический анализ зависимости характеристик надёжности системы от входных параметров модели.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в:

1. исследовании математической модели однородной системы облегчённого резервирования, и вычислении её характеристик надёжности методом введения дополнительной переменной;
2. исследовании поведения системы облегчённого резервирования с произвольным распределением времени ремонта при редких отказах её элементов и выводе асимптотических выражений для вероятностей состояний системы;
3. исследовании математической модели однородной системы горячего резервирования типа k -из- n с произвольным распределением времени ремонта её элементов и вычислении стационарных вероятностей её состояний;
4. исследовании математической модели восстанавливаемой неоднородной системы холодного дублирования с произвольной функцией распределения времени ремонта её элементов;

исследования характеристик надежности резервированной системы передачи данных. Полученные теоретические результаты работы представляют практическую значимость, так как позволяют производить расчёт характеристик надёжности резервированной системы и оценку среднего времени жизни системы, в том числе для замкнутых однородных систем холодного, облегчённого и горячего резервирования, а также замкнутой неоднородной дублированной системы холодного резервирования.

Результаты работы включены в исследования по гранту РФФИ Аспиранты № 20-37-90137 «Исследование чувствительности характеристик надежности гибридных систем связи к виду функций распределения наработки на отказ и времени восстановления их элементов». Результаты работы также были использованы в реализованном в РУДН проекте «5-100» повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Ценность научных работ соискателя.

Разработанный соискателем комплекс аналитических и имитационных моделей, а также результаты численных экспериментов могут быть использованы при проведении научных работ и в учебном процессе. Также, по материалам диссертационного исследования в федеральной службе по интеллектуальной собственности зарегистрированы 4 программы для ЭВМ, которые предназначены для поддержки научно-исследовательских работ как вспомогательный прикладной программный инструмент для численного расчета стационарных и нестационарных характеристик надежности резервированных систем с произвольными исходными распределениями и для графического анализа работы систем. Эти программы могут представлять ценность в качестве аналитического и информационного средства поддержки различного рода решений для специалистов, работающих в области надежности телекоммуникационных систем.

Соответствие пунктам паспорта научной специальности.

Диссертационное исследование соответствует следующим пунктам паспорта специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика»:

- п.9 «Математическая теория исследования операций»;
- п.12 «Модели информационных процессов и структур»;
- п.26 «Теория надёжности и безопасности использования информационных технологий».

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Основные результаты по теме диссертации изложены в 18 печатных изданиях, в том числе в 8 изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus [1-8], 5 изданиях, рекомендованных ВАК РФ (категории K1, K2) [9-13], 5 - в других рецензируемых научных изданиях. Получены 4 свидетельства о государственной регистрации программы для

ЭВМ. Основные положения и результаты диссертации отражены в следующих опубликованных работах.

1. H. G. K. Houankpo, D. V. Kozyrev. Mathematical and Simulation Model for Reliability Analysis of a Heterogeneous Redundant Data Transmission System // *Mathematics*. 2021; 9(22): 2884. DOI: 10.3390/math9222884.
2. H. G. K. Houankpo, D. V. Kozyrev. Reliability Model of a Homogeneous Hot-Standby k-Out-of-n: G System / In: Vishnevskiy V.M., Samouylov K.E., Kozyrev D.V. (eds): // *Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications*. DCCN 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 13144. Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-92507-9_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92507-9_29).
3. H. G. K. Houankpo, D. V. Kozyrev, et al. A Simulation Approach to Reliability Assessment of a Redundant System with Arbitrary Input Distributions / In: Vishnevskiy V.M., Samouylov K.E., Kozyrev D.V. (eds) // *Distributed Computer and Communication Networks*. DCCN 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12563. Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-66471-8_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66471-8_29).
4. H. G. K. Houankpo, D. V. Kozyrev. Reliability Model of a Homogeneous Warm-Standby Data Transmission System with General Repair Time Distribution / In: Vishnevskiy V., Samouylov K., Kozyrev D. (eds) // *Distributed Computer and Communication Networks*, DCCN 2019, Lecture Notes in Computer Science, vol 11965, Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-36614-8_34](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36614-8_34).
5. D. V. Kozyrev, N. D. Phuong, H. G. K. Houankpo, A. Sokolov. Reliability Evaluation of a Hexacopter-Based Flight Module of a Tethered Unmanned High-Altitude Platform / In: Vishnevskiy V., Samouylov K., Kozyrev D. (eds) // *Distributed Computer and Communication Networks 2019, Communications in Computer and Information Science*, vol 1141. Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-36625-4_52](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36625-4_52).
6. H. G. K. Houankpo, D. V. Kozyrev, E. Nibasumba, M. N. B. Mouale. Reliability Analysis of a Homogeneous Hot Standby Data Transmission System // In: *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference (ESREL2020 PSAM15)*, 2020, Pp.1-8, ISBN: 978-981-14-8593-0; DOI: [10.3850/978-981-14-8593-0_5755-cd](https://doi.org/10.3850/978-981-14-8593-0_5755-cd).
7. H. G. K. Houankpo, D. V. Kozyrev, E. Nibasumba, M. N. B. Mouale. Mathematical Model for Reliability Analysis of a Heterogeneous Redundant Data Transmission System // *12th International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, Brno, Czech Republic, 2020, Pp.189-194, DOI: [10.1109/ICUMT51630.2020.9222431](https://doi.org/10.1109/ICUMT51630.2020.9222431).
8. H. G. K. Houankpo, D. V. Kozyrev. Sensitivity Analysis of Steady State Reliability Characteristics of a Repairable Cold Standby Data Transmission System to the Shapes of Lifetime and Repair Time Distributions of its Elements / In: K. E. Samouilov, L. A. Sevastianov, D. S. Kulyabov (eds.): //

Selected Papers of the VII Conference “Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems”, Moscow, Russia, 24-Apr-2017, CEUR Workshop Proceedings 1995, Pp.107-113. Published at <http://ceur-ws.org/Vol-1995/>.

9. Уанкпо Г. Ж. К. Моделирование однородной системы передачи данных облегчённого резервирования // Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование», [S.I.], v. 17, n. 3, sep. 2021. ISSN 2411-1473.
10. Уанкпо Г. Ж. К., Козырев Д. В., Нибасумба Э., Муаль М. Н. Б. Анализ надежности однородной системы передачи данных горячего резервирования // Управление большими системами. Выпуск 87. М.: ИПУ РАН, 2020. С.5-25. DOI: [10.25728/ubs.2020.87.1](https://doi.org/10.25728/ubs.2020.87.1).
11. Уанкпо Г. Ж. К., Козырев Д. В., Нибасумба Э., Муаль М. Н. Б. Математическая модель анализа надежности неоднородной дублированной системы передачи данных // Современные информационные технологии и ИТ-образование. ISSN 2411-1473. Том 16, №2 (2020). DOI: [10.25559/SITITO.16.202002.285-294](https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202002.285-294).
12. Уанкпо Г. Ж. К., Д. В. Козырев. Программный комплекс имитационного моделирования и расчета стационарных вероятностей и оценки надежности резервированной системы с произвольными распределениями времени безотказной работы и ремонта её элементов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019; 15(3): Pp. 542-550. DOI: [10.25559/SITITO.15.201903.542-550](https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201903.542-550).
13. Уанкпо Г. Ж. К., Д. В. Козырев. Аналитическое и имитационное моделирование надежности замкнутой однородной системы с произвольным числом источников данных и ограниченными ресурсами для их обработки // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Том 14, №3. С. 548-555.
14. Уанкпо Г. Ж. К., Д. В. Козырев, И. А. Гудкова. Модель надёжности однородной системы передачи данных горячего резервирования с произвольным распределением времени ремонта элементов // Обозрение прикладной и промышленной математики (ОПиПМ). 2019; 26(4): Pp. 384-386. URL: www.elibrary.ru/item.asp?id=42583668.
15. Kozыrev D. V., Kimenchezhi V., Houankpo H. G. K. Reliability Calculation of a Redundant Heterogeneous System with General Repair Time Distribution // Прикладные проблемы в теории вероятностей и математической статистике в области телекоммуникаций = Applied problems in theory of probabilities and mathematical statistics into telecommunications. Труды XI Международного семинара. Под редакцией Д. Аранити, К.Е. Самуйлова, С.Я. Шоргина. М: РУДН, 2017. - С.12.
16. Уанкпо Г. Ж. К., Козырев Д. В. Анализ чувствительности характеристик надёжности модели резервирования системы передачи данных к виду распределений времени безотказной работы и ремонта её элементов // Информационно-телекоммуникационные технологии и

математическое моделирование высокотехнологичных систем (ИТТММ-2017). Материалы Всероссийской конференции с международным участием. М.: РУДН, 2017. – С.55-58.

17. Уанкпо Г. Ж. К., Козырев Д. В. Исследование чувствительности характеристик надёжности резервированной системы передачи данных к виду распределений времени между отказами и восстановлениями элементов системы // Молодежная научная школа по прикладной теории вероятностей и телекоммуникационным технологиям (АРТСТ–2017) = 2nd International School on Applied Probability Theory & Communications Technologies (АРТСТ–2017): материалы молодежной научной школы. Россия, Москва, 23–27 октября 2017 г.; под общ. ред. К. Е. Самуйлова, Е. А. Кучерявого, А. Н. Дудина. – Москва: РУДН, 2017. С.299-303.
18. Уанкпо Г. Ж. К., Козырев Д. В. Анализ чувствительности характеристик надёжности модели дублированной системы передачи данных к виду распределений времени безотказной работы и ремонта её элементов // Материалы 19-й Международной научной конференции "Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь" (DCCN-2016, Москва). М.: РУДН, 2016. Том 3. Под общей редакцией В. М. Вишневого и К. Е. Самуйлова. 2016. С.473-480.
19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020610325. Российская Федерация. Программа расчета стационарных вероятностей состояний замкнутой однородной системы многократного холодного резервирования с произвольными исходными распределениями / Д. В. Козырев, Г. Ж. К. Уанкпо; федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН) — Заявка №2019667442. Дата поступления 25 декабря 2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13 января 2020 г.
20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020610408. Российская Федерация. Программа расчета средней наработки на отказ замкнутой однородной системы многократного холодного резервирования с произвольными исходными распределениями / Д. В. Козырев, Г. Ж. К. Уанкпо; федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН) — Заявка №2019667216. Дата поступления 25 декабря 2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 14 января 2020 г.
21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021660642. Российская Федерация. Программа расчета вероятности безотказной работы замкнутой однородной системы многократного холодного резервирования с произвольными исходными распределениями / Д. В. Козырев, Г. Ж. К. Уанкпо; федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего

образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН) — Заявка №2020619820. Дата поступления 23 июня 2021 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29 июня 2021 г.

22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021660643. Российская Федерация. Программа расчета средней наработки на отказ замкнутой однородной системы многократного горячего резервирования с произвольными исходными распределениями / Д. В. Козырев, Г. Ж. К. Уанкпо; федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН) — Заявка №2020619815. Дата поступления 23 июня 2021 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29 июня 2021 г.

В написанных в соавторстве работах основные результаты, представленные в диссертации, получены Уанкпо Гектором Жибсоном Кинманом лично.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Диссертационная работа Уанкпо Гектора Жибсона Кинманона рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика».

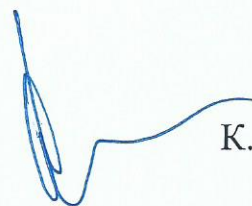
Заключение принято на заседании кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

Присутствовало на заседании 26 чел.

Результаты голосования: «за» – 26 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

11.06.2024., протокол № 0200-54/01-04/10

Председательствующий на заседании:
заведующий кафедрой теории вероятностей
и кибербезопасности,
доктор технических наук, профессор



К. Е. Самуйлов

Подпись удостоверяю.
Ученый секретарь Ученого совета
факультета физико-математических
и естественных наук РУДН,
кандидат физико-математических наук



И. С. Зарядов