

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Ивановой Ники Михайловны «Исследование вероятностно-временных характеристик моделей  $k$ -из- $n$  с приложением к анализу надёжности привязного мультироторного летательного модуля», представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе Российского университета дружбы народов на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Значительная нагрузка на информационно-вычислительную и телекоммуникационную инфраструктуру и высокие скорости процессов информационного обмена вследствие широкого внедрения цифровых технологий приводят к повышенным требованиям к надёжности оборудования передачи и обработки данных. К такому оборудованию относится и серверная инфраструктура, системы хранения данных, и системы передачи данных, в числе которых и быстроразворачиваемая инфраструктура на основе привязных высотных платформ. Исследование надёжности таких систем экспериментальными методами затруднено вследствие высокой стоимости используемого оборудования и необходимости проведения длительных натурных экспериментов. При этом отказ компонентов, помимо естественного износа, зачастую носит случайный характер. В этой связи для анализа надёжности таких систем целесообразно применять методы стохастического и имитационного моделирования.

Ввиду вышеизложенного, считаю, что тема диссертационного исследования Ивановой Ники Михайловны «Исследование вероятностно-временных характеристик моделей  $k$ -из- $n$  с приложением к анализу надёжности привязного мультироторного летательного модуля», является актуальной и соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

### **Характеристики содержания диссертационной работы**

Диссертация Ивановой Н. М. включает в себя введение, три главы, заключение, списки сокращений и обозначений, терминов, рисунков, таблиц, а также библиографию.

Во **введении** сформулированы цели и задачи диссертации, характеристика структуры работы, обзор литературы, показана актуальность работы, представлены выносимые на защиту результаты.

В **первой главе** исследованы модели  $k$ -из- $n$  в переходном и стационарном режимах, решения получены с помощью метода характеристик и метода вариации постоянных для уравнений Колмогорова в частных производных. Указанные модели применены автором диссертации в последующих главах для получения практических результатов по надежности гексакоптера. Следует отметить, что модель системы с частичным восстановлением, рассмотренная в первой главе, может быть переформулирована как модель системы с повторными вызовами, конечным числом первичных источников, одним обслуживающим устройством и конечной емкостью очереди (буфера), пуассоновскими потоками первичных и повторных попыток, произвольным временем обслуживания. Такие системы рассматриваются редко (как правило, для упрощения анализа буфер в системе отсутствует). В этой связи результаты первой главы обладают научной ценностью для важного класса систем с повторными вызовами.

**Вторая глава** диссертации носит в значительной степени прикладной характер и посвящена применению теоретических результатов, полученных в первой главе, к исследованию привязной высотной платформы на основе гексакоптера по модели надежности 2-из-6 и 3-из-6. В главе достаточно подробно представлен объект прикладного исследования, его основные свойства, особенности функционирования и связанные с ним задачи надежности. Результаты носят характер применения общих теоретических выводов к конкретной прикладной ситуации, и направлены на получение явных результатов с использованием известных распределений времени безотказной работы компонент и времени ремонта, например, распределения Эрланга. Необходимо отметить, что понимаемые под надежностью и выходом из строя в рамках данной модели характеристики могут быть сформулированы шире. В частности, полученные результаты также применимы для анализа энергоэффективности, в этом случае под выходом из строя следует понимать перевод в энергосберегающий режим отдельных компонент, что несомненно подчеркивает общность полученных результатов.

В **третьей главе** для исследования наиболее общего случая, при котором как времена безотказной работы, так и времена восстановления компонент имеют произвольные распределения, разработана имитационная модель, с помощью которой выполнены вычислительные эксперименты по

анализу чувствительности характеристик исследуемой модели к виду функций распределения и их параметрам.

**В заключении** подводятся краткие итоги диссертационной работы.

### **Достоверность и новизна результатов диссертации**

В диссертации получены следующие основные новые научные результаты, определяющие теоретическую ценность проведенного исследования:

- исследованы вероятностно-временные характеристики модели  $k$ -из- $n$  с произвольными распределениями как времени безотказной работы, так и времени восстановления компонентов;

- в терминах преобразования Лапласа получен явный вид решений для исследуемого двумерного марковского процесса с дискретно-непрерывным множеством состояний и предложен алгоритм нахождения указанных решений.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Высокая степень обоснованности основных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается адекватностью выбранных математических моделей, строгими математическими доказательствами с использованием математического аппарата, включающего методы теории вероятностей, марковских случайных процессов, дифференциального исчисления, согласованностью теоретических выводов с результатами численных экспериментов.

Представленные в диссертационной работе результаты апробированы на многочисленных отечественных и международных конференциях, симпозиумах, семинарах по тематике работы, опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных научных изданиях, включая монографию, что подчеркивает достоверность и обоснованность изложенных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций. Важно отметить, что часть результатов диссертации получена в ходе работ по проектам, поддержанным различными фондами.

### **Ценность для науки и практики результатов работы**

Результаты диссертационной работы носят как фундаментальный (в связи с исследованием свойств важного класса моделей надежности систем), так и прикладной характер (за счет применения полученных свойств и

выводов к важным практическим объектам, - привязным высотным платформам). Результаты теоретических исследований воплощены в виде алгоритмов и программ, которые могут быть использованы не только для исследования привязной высотной платформы, но и других объектов, описываемых моделями данного класса, включая важные информационно-вычислительные и телекоммуникационные системы.

Теоретические и практические результаты диссертации можно применять для подготовки специалистов в области прикладной математики на уровне магистратуры, в том числе в курсах, посвященных стохастическому моделированию, теории массового обслуживания, теории надежности. В указанном статусе материалы диссертации уже внедрены в учебный процесс в рамках учебной дисциплины «Прикладные стохастические модели», читаемой студентам магистратуры 1-го курса направления «Прикладная математика и информатика» РУДН.

#### **Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати**

Диссертантом опубликовано значительное число работ в ходе апробации результатов диссертационного исследования. Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в 13 статьях в ведущих научных изданиях, включая 1 монографию, 1 публикацию в журнале, входящем в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, 6 публикаций в изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus, зарегистрирована 1 программа для ЭВМ. Результаты апробированы на крупных международных и всероссийских конференциях, что подтверждается соответствующими тезисами докладов. Все эти показатели свидетельствуют о том, что работа хорошо воспринята научной общественностью.

#### **Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат ясно выстроен, хорошо структурирован, правильно и в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы. Как часть выполненной научной работы автореферат отражает компетентность автора в области проводимых исследований, хорошее владение используемыми математическими методами, высокий научный стиль.

### **Замечания по диссертационной работе**

По работе имеются следующие замечания:

1. В работе имеется ряд опечаток и неточностей, например, не вполне ясно, что имеется в виду во фразе «модель выглядит как модель системы последовательного соединения» (стр. 4); обозначение  $\beta(x)$  используется на стр. 17, но введено лишь на стр. 18;
2. Для соблюдения терминологического единства можно бы придерживаться термина «время ремонта» вместо термина «время восстановления» (стр. 9), либо обозначить, что всюду «ремонт» и «восстановление» являются синонимами (см., напр., «восстановления системы» стр. 10, «ремонта системы» стр. 9).
3. В связи с указанной аналогией рассмотренных в Главе 1 систем с моделями систем с повторными вызовами, можно было бы сравнить результаты, полученные в Следствии 1.4 с известными результатами для таких систем.
4. Не вполне ясно, почему в основе численных примеров в Главе 2 выбрано именно распределение Эрланга, носит ли это характер значимости для приложения именно к гексакоптерам, или это обосновано удобством использования.
5. В Главе 3 для имитационной модели используется ряд распределений, таких как распределение Парето, которые в научной литературе встречаются в различных вариантах, при этом вид функции распределения не приведён.

Следует отметить, что указанные недостатки носят уточняющий характер и не снижают общего положительного впечатления от работы.

### **Заключение**

Диссертационное исследование Ивановой Н.М. на тему «Исследование вероятностно-временных характеристик моделей  $k$ -из- $n$  с приложением к анализу надёжности привязного мультироторного летательного модуля» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи развития методов анализа вероятностно-временных характеристик и исследования чувствительности характеристик надёжности стохастических моделей, имеющей важное значение для теории надёжности.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно п.2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса

Лумумба», утвержденного Ученым советом РУДН протокол № 12 от 23.09.2019г., а её автор, Иванова Ника Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 Теоретическая информатика, кибернетика.

« 23 » августа 2023 г.

Официальный оппонент

Румянцев Александр Сергеевич

д.ф.-м.н. (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ)

  
Румянцев А.С.  
(подпись)

Институт прикладных математических исследований — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук"

ведущий научный сотрудник лаборатории телекоммуникационных систем

185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

+7 (8142) 76-63-12

ar.psoid@gmail.com

Подпись Румянцева А.С. заверяю.

ученый секретарь Института прикладных математических исследований — обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук"





О. В. Лукашенко

(подпись)

« 23 » августа 2023 г.