

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Нежелской Людмилы Алексеевны «ОЦЕНКА СОСТОЯНИЙ И ПАРАМЕТРОВ ДВАЖДЫ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ СОБЫТИЙ»,  
представленную на соискание учёной степени доктора  
физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)

### **Актуальность темы диссертации**

В большинстве работ по теории массового обслуживания, опубликованных до 80-х годов, в качестве входящих потоков событий рассматривались пуассоновские потоки, поскольку, например, в телефонных сетях такие потоки являлись суперпозицией большого числа потоков с равномерно малой интенсивностью и справедливы соответствующие результаты А.Я. Хинчина и Б.И. Григелиониса. Однако, с внедрением цифровых технологий совместной передачи разнотипных видов информации в реальных системах и сетях, характер реальных потоков существенно изменился и многочисленные статистические исследования этих потоков подтвердили корреляцию длин интервалов между случайными моментами наступления событий, а также возможность большой дисперсии этих длин. Это делает неоправданным использование моделей с пуассоновскими входящими потоками при проведении исследования реальных систем и сетей массового обслуживания. Таким образом, требования практики послужили стимулом к введению в рассмотрение и анализу дважды стохастических потоков (МАР-потоков), учитывающих возникающую корреляцию, в качестве математических моделей реальных потоков событий в компьютерных, спутниковых и мобильных сетях связи. Интенсивность дважды стохастических потоков событий является случайной функцией времени. Например, загрузка мобильных сетей связи может зависеть от программных приложений, используемых сетью, от определённого периода времени (года, суток), уровня шумов и активности абонентов и т.д. При использовании дважды стохастических потоков на практике, для анализа реальной системы, возникает необходимость оценки параметров и состояний такого входящего потока на основе имеющейся статистической информации.

Данная диссертационная работа посвящена изучению различных моделей дважды стохастических потоков событий, классифицированных автором на МАР-потоки первого порядка и МАР-потоки второго порядка, с интенсивностью  $\lambda(t)$ , являющейся кусочно-постоянным принципно

ненаблюдаемым случайным процессом с двумя состояниями ( $\lambda(t)$  – скрытый марковский процесс), а также постановке и решению актуальных задач по оценке состояний и неизвестных параметров подобных потоков.

Исследование систем и сетей массового обслуживания в известной литературе происходит, как правило, в условиях, когда все события потока доступны наблюдению. Автором рассматриваются условия неполной наблюдаемости за потоком, при которых зарегистрированное событие создаёт период мёртвого времени (которое может быть продлевающимся и непродлевающимся) так, что не все события исходного потока доступны наблюдению (теряются). Потери событий потока, связанные с периодом его ненаблюдаемости, отрицательно сказываются на оценивании как состояний, так и параметров потока.

Решаемые автором задачи оценивания состояний и параметров различных моделей дважды стохастических потоков событий, функционирующих в условиях полной и частичной наблюдаемости потоков, а также задачи оценивания длительности мёртвого являются актуальными задачами в теории дважды стохастических потоков событий.

**Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе, состоит в следующем:**

1) дана классификация дважды стохастических потоков событий на МАР-потоки первого порядка и МАР-потоки второго порядка и впервые построены математические модели дважды стохастических потоков событий: синхронного, полусинхронного, полусинхронного альтернирующего, обобщённого асинхронного, обобщённого полусинхронного, МАР-потока, модулированного МАР-потока, функционирующих в условиях частичной наблюдаемости (при непродлеваемом и продлеваемом мёртвом времени);

2) предложен эвристический пороговый алгоритм оценки состояний асинхронного потока, функционирующего в условиях полной наблюдаемости за потоком, с учётом старения информации и ошибок измерений моментов наступления событий;

3) даётся аналитическое решение задач оптимальной оценки состояний отдельных видов дважды стохастических потоков при их полной либо частичной (при непродлеваемом мёртвом времени) наблюдаемости с использованием критерия максимума апостериорной вероятности;

4) приводится аналитическое решение задач оценивания параметров и длительности мёртвого времени для отдельных моделей потоков при их

полной либо частичной (при непродлеваемом мёртвом времени) наблюдаемости с использованием метода моментов;

5) приводится аналитическое решение задач оценивания длительности мёртвого времени для отдельных видов дважды стохастических потоков, функционирующих в условиях непродлеваемого мёртвого времени, с использованием модифицированного метода моментов и метода, основанного на методе максимального правдоподобия;

6) разработан алгоритм расчёта условной вероятности ошибки принятия решения о состоянии потока в произвольный момент времени (на примере обобщённого асинхронного потока), а также получены формулы для безусловной вероятности ошибки оценивания состояний в рекуррентном обобщённом асинхронном потоке событий при его полной наблюдаемости;

7) аналитически методом моментов решена задача оценивания длительности мёртвого времени в рекуррентном синхронном и рекуррентном полусинхронном потоках событий при продлеваемом мёртвом времени с использованием преобразования Лапласа плотности вероятности значений длительности интервала между соседними событиями в наблюдаемых потоках.

Полученные автором диссертации результаты можно рассматривать как новые научные заключения и выводы, представляющие серьёзный интерес для исследователей СМО с входящими потоками случайных событий, а также вносящие существенный вклад в теорию дважды стохастических потоков событий.

#### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, изложенных в диссертации**

Достоверность научных положений и выводов, полученных автором, подтверждается корректным применением математического аппарата с использованием методов теории вероятностей и математической статистики, математического анализа, теории дифференциальных уравнений и вариационного исчисления, теории марковских случайных процессов при доказательстве лемм и теорем, а также при выводе и решении алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений, анализом численных результатов, и их сопоставлением с результатами, полученными путем проведения статистических экспериментов на имитационных моделях исследованных потоков при их полной либо частичной наблюдаемости. Представленные в диссертации результаты широко и полно апробированы на многочисленных всероссийских и международных конференциях, что также

косвенно подтверждает достоверность и обоснованность изложенных в диссертационной работе результатов.

### **Полнота опубликованных результатов работы, соответствие автореферата содержанию диссертации**

Основные результаты диссертационной работы отражены автором в 69 публикациях, из них 29 статей опубликованы в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени (из них 2 статьи в зарубежном научном журнале, индексируемом в наукометрической базе знаний Web of Science, 9 статей в российских научных журналах, переводные версии которых индексируются Web of Science и/или Scopus), 6 статей в приложениях к научным журналам, 34 публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций.

Автореферат логически выстроен, хорошо структурирован, правильно и полно отражает содержание диссертации.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в том, что для широкого класса дважды стохастических потоков событий приводится аналитическое решение задач оценивания состояний и параметров потоков при их полной либо частичной (с непродлевающимся мёртвым временем) наблюдаемости на основе метода максимума апостериорной вероятности и метода моментов, а также приводится аналитическое решение задач оценивания длительности мёртвого времени в схеме с непродлевающимся и продлевающимся мёртвым временем с использованием метода, основанного на методе максимального правдоподобия, и метода моментов.

Практическая ценность диссертации состоит в возможности использования предложенных процедур оценивания к решению задач моделирования информационно-вычислительных систем, автоматизированных систем, компьютерных и спутниковых сетей связи и их адаптации к реальным информационным потокам сообщений.

### **Возможность использования результатов работы**

Результаты диссертационной работы вносят существенный вклад в развитие теории дважды стохастических потоков событий и могут быть интересны для специалистов в области теории вероятностей и статистики

потоков случайных событий, а также теории массового обслуживания. Результаты работы используются в учебном процессе на факультете прикладной математики и кибернетики Национального исследовательского Томского государственного университета (при создании курсов лекций образовательных дисциплин «Методы идентификации и оценки параметров телекоммуникационных потоков», «Марковские системы обслуживания», «Имитационное моделирование») и рекомендуются для внедрения в учебный процесс Белорусского государственного университета Республики Беларусь и других высших учебных заведений.

### **Замечания и недостатки диссертационной работы**

Существенных недостатков диссертационной работы не отмечено. Имеется следующее замечание. Делается в диссертации предположение, что длительность мёртвого времени является константой, видимо, хорошо соответствует реальным системам, но оно сильно усложняет анализ. Видимо, анализ бы существенно упростился (ввиду марковости соответствующего рассматриваемого многомерного случайного процесса), если бы предположить, что длительность мёртвого времени является случайной величиной, имеющей распределение фазового типа. После этого возврат к детерминированному мёртвому времени для получения численных результатов можно было бы осуществить приближенно, взяв в качестве распределения фазового типа распределение с нужным средним значением и очень малой дисперсией, например, распределение Эрланга с большим количеством коротких фаз.

### **Общее заключение**

Диссертационная работа Нежелской Л.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложены различные модели дважды стохастических потоков событий при полной либо частичной (при непродлеваемом и продлеваемом мёртвом времени) наблюдаемости потоков и приводятся аналитические решения задач оценивания состояний, параметров и длительности мёртвого времени в исследуемых потоках. Совокупность разработанных теоретических положений можно квалифицировать как научное достижение в теории дважды стохастических потоков событий.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Нежелской Л.А. «Оценка состояний и параметров дважды стохастических потоков событий», представленная на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный

анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации), соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Нежелская Людмила Алексеевна заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук.

Официальный оппонент

Заведующий научно-исследовательской лабораторией прикладного вероятностного анализа Белорусского государственного университета,

доктор физико-математических наук  
(специальность 05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях), профессор

Дудин Александр Николаевич



Белорусский государственный университет  
220030, пр. Независимости, 4, Минск-30,

Республика Беларусь

Тел.: +375 172 095486

E-mail: [Ebsu@bsu.by](mailto:Ebsu@bsu.by)

Веб-сайт: <http://www.bsu.by>