

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**на диссертационную работу
Сиротиной Марии Николаевны
«Оценка длительности мертвого времени и состояний
модулированного синхронного дважды стохастического потока событий»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации
(в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)**

Актуальность темы исследования. Расчет характеристик, определяющих случайный поток событий, поступающий на систему массового обслуживания, которая описывает реальные модели современных информационно-вычислительных сетей и сетей связи (сотовой связи, информационно-коммуникационной сети Интернет, локальные компьютерные сети предприятия и др.), является актуальной задачей в связи с растущей тенденцией развития данной сферы исследования и появления все большего количества проблем прикладного характера. При этом наиболее адекватной моделью для описания реальных входящих потоков событий принято считать модель потоков со случайной интенсивностью, а именно, дважды стохастические потоки событий.

Теория дважды стохастических потоков активно исследуется в течение последних лет, строятся все более сложные модели, для которых разрабатываются методы и алгоритмы оценивания параметров и состояний по наблюдениям за потоком. Эти модели, методы и алгоритмы используются для решения исследовательских и прикладных задач в области систем и сетей связи, в частности, для поиска аномалий в поведении источника данных, а также задач машинного обучения с использованием временных рядов.

При проектировании и создании информационно-вычислительных и телекоммуникационных сетей связи учитывается ряд факторов, который может существенно повлиять на построение адекватных моделей, описывающих функционирование исследуемых систем массового обслуживания, таких как,

ограниченность памяти устройств регистрации заявок (пакетов), вероятностная зависимость между моментами наступления случайных событий потока (или заявок), а также возможные потери информации при обработке последующих заявок. Последний фактор вносит существенные погрешности при оценивании состояний и параметров входящих потоков событий. Поэтому при построении реальных моделей входящих потоков важно учитывать особенности функционирования потока в условиях так называемого «мертвого времени», когда после регистрации очередного события потока возникает период ненаблюдаемости, в течение которого последующие события теряются.

В связи с этим на практике, при изучении систем массового обслуживания и входящих случайных потоков событий, актуально применять адаптивные системы обслуживания, которые в процессе функционирования, в зависимости от полученных оценок параметров входящих потоков заявок, могут своевременно изменить дисциплину обслуживания для улучшения качества обработки информации.

Автором в работе рассмотрен модулированный синхронный дважды стохастический поток событий, функционирующий в условиях отсутствия непродлевающегося мертвого времени и в условиях его наличия, в частности, рассмотрены задачи построения оптимальных оценок состояний потока в двух режимах его функционирования и построение оценок длительности мертвого времени. Решение данных задач является актуальным и может быть использовано, в том числе, для управления адаптивными системами массового обслуживания.

Содержание работы. Диссертация М.Н. Сиротиной состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованных источников и литературы, пяти приложений. Общий объем работы составляет 188 страниц; список литературы включает 213 источников.

Во введении обосновывается актуальность выбранной проблематики, приводится обзор исследований самого автора и других авторов.

В первом разделе диссертации решается задача оптимальной оценки состояний модулированного синхронного потока событий для двух режимов его функционирования: 1) в условиях отсутствия мертвого времени (условия полной наблюдаемости); 2) в условиях наличия мертвого времени (условия неполной наблюдаемости).

Аналитически находятся формулы для апостериорных вероятностей состояний модулированного синхронного потока событий для случаев наличия мертвого времени и его отсутствия. Апостериорные вероятности, учитывающие всю предысторию, представляют собой наиболее полную характеристику потока, которую можно получить, обладая лишь данными о моментах наступления событий потока. Поэтому для оценивания состояний потока используется критерий максимума апостериорной вероятности, обеспечивающий минимум полной (безусловной) вероятности ошибки принятия решения. Согласно полученным формулам строится алгоритм оптимального оценивания состояний потока для случаев наличия мертвого времени и его отсутствия.

В данном разделе найдены сопутствующие характеристики потока, такие как аналитические формулы для условной вероятности ошибки принятия решения о состоянии потока для случая коррелированного потока и аналитические формулы для безусловной вероятности ошибки принятия решения о состоянии потока для случая рекуррентного потока. А также аналитически находятся формулы для плотности вероятности длительности интервалов между моментами наступления соседних событий потока и для совместной плотности вероятности рассматриваемого потока событий в условиях отсутствия мертвого времени. Доказано, что в общем случае поток является коррелированным. В зависимости от соотношения параметров потока из вида совместной плотности вероятности выведены условия, при которых рассматриваемый поток является рекуррентным.

Во втором разделе диссертационной работы решается задача оценивания длительности мертвого времени модулированного синхронного потока по наблюдениям за моментами наступления событий потока. Полагается, что все

параметры потока, за исключением значения длительности мертвого времени T , известны. Для оценки последнего применяется два метода: метод максимального правдоподобия и модифицированный метод моментов.

Автором аналитически находятся сопутствующие характеристики потока, такие как плотность вероятности значений длительности интервала между моментами наступления соседних событий потока и совместная плотность вероятности значений длительности двух смежных интервалов между событиями в потоке для случая наличия мертвого времени. Доказано, что в общем случае поток является коррелированным, а условия факторизации совместной плотности вероятности для случая наличия мертвого времени совпадают с условиями факторизации совместной плотности для случая отсутствия мертвого времени. Используя полученные аналитические результаты, автором формулируются алгоритмы оценивания значения длительности мертвого времени с использованием метода максимального правдоподобия и модифицированного метода моментов.

В третьем разделе на базе разработанной имитационной модели модулированного синхронного потока событий представлены численные результаты проведения статистических экспериментов с помощью программы ЭВМ по оптимальному оцениванию состояний и оцениванию значения длительности мертвого времени исследуемого потока событий. В рамках задачи оценивания длительности мертвого времени проводится численное сравнение качества полученных оценок значения длительности мертвого времени методом максимального правдоподобия и модифицированным методом моментов.

В заключении формулируются основные результаты проведенного аналитического и численного исследования.

Научная новизна полученных результатов. В диссертационной работе Сиротиной М.Н. получены следующие новые научные результаты:

1) аналитическое решение задачи оптимальной оценки состояний модулированного синхронного потока событий для случая отсутствия мертвого

времени; алгоритм решения данной задачи с использованием полученных формул (1.2.1), (1.5.21) - (1.5.23);

2) аналитическое решение задачи оптимальной оценки состояний модулированного синхронного потока событий при наличии мертвого времени; алгоритм решения данной задачи с использованием полученных формул (1.2.1), (1.5.21) - (1.5.23), (1.9.4), (1.9.5);

3) аналитическое решение задачи оценивания значения длительности мертвого времени в модулированном синхронном потоке событий; алгоритмы решения данной задачи, полученные методом максимального правдоподобия и модифицированным методом моментов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность основных положений и выводов подтверждается корректным обоснованием, строгими математическими доказательствами формулируемых утверждений, а также рядом численных экспериментов, проведенных с использованием разработанной автором имитационной модели модулированного синхронного потока событий.

Теоретическая и практическая значимость работы. Автором произведен значительный объем аналитических выкладок, теоретическая значимость работы заключается в аналитическом решении задачи оптимальной оценки состояний модулированного синхронного потока по наблюдениям за моментами наступления событий потока для случая наличия мертвого времени и его отсутствия, а также аналитическом решении задачи оценивания значения длительности мертвого времени в модулированном синхронном потоке событий.

Данные аналитические исследования подкреплены численными результатами экспериментов на базе рассмотренных в работе методов оценивания. Данные результаты имеют практическую значимость, поскольку могут быть использованы при решении задач проектирования адаптивных систем массового обслуживания, моделями которых являются телекоммуникационные, информационно-вычислительные системы, спутниковые системы связи,

дисциплины обслуживания которых зависят от параметров и текущих состояний входящих потоков.

Результаты диссертационной работы Сиротиной М.Н. являются новыми, материалы диссертации достаточно полно опубликованы в научных журналах и должным образом апробированы на конференциях международного и всероссийского уровня. По теме диссертации автором опубликовано 20 научных работ, в числе которых 11 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, из них 3 статьи индексируются базами знаний Scopus и/или Web of Science.

Замечания по диссертационной работе.

По диссертации М.Н. Сиротиной имеются следующие замечания:

1) В диссертационной работе исследован случай, когда случайный процесс $\lambda(t)$ имеет два состояния: λ_1 и λ_2 . Автором никак не оговаривается распространение полученных результатов на случай произвольного числа состояний случайного процесса $\lambda(t)$. Стоило бы указать в работе возможные трудности, связанные с решением заявленных в работе задач оценивания для произвольного числа состояний случайного процесса $\lambda(t)$.

2) На 134-136 страницах описан эксперимент, смысл которого неясен: в нем приводятся графики, полученные в вычислительном эксперименте по аналитическим формулам. Графики гораздо лучшего качества можно было получить без численного эксперимента, используя пакет символьной математики, такой как Maple.

3) Автором не построено алгоритмов оценивания каких-либо неизвестных параметров потока, кроме продолжительности мертвого времени T . Работу украсила бы попытка построения хотя бы части из них. Если аналитический расчет таких оценок затруднен в силу коррелированности рассматриваемого потока, то интересно было бы рассмотреть оценки для частных случаев, описанных в разделе 1.6.

4) В разделе 1.1 вводится модулированный синхронный дважды стохастический поток с двумя состояниями и параметрами α_1 , α_2 , λ_1 , λ_2 , p и q .

Поскольку оба состояния, в целом, равноправны (за исключением $\lambda_1 > \lambda_2$), то и вероятности перехода в момент наступления события в каждом из состояний логично было бы обозначить единообразно, используя индексы состояний (например, q_1 и q_2 , а не p и q). В таком случае, в силу равноправности состояний процесса, для построения формул различных вероятностей можно было бы за счет использования индексов состояний (например i и j , $\{i,j\}=\{1,2\}$) избежать однообразных оборотов, выкладок и формул и почти двукратно сократить объем некоторых пунктов, лемм и теорем.

5) На стр. 134 в 4 абзаце следует уточнить условия эксперимента, добавив «при определенных (фиксированных) параметрах $\lambda_1, \lambda_2, \alpha_1, \alpha_2, p$ и q ».

6) В работе имеются опечатки, как-то: в формуле (1.2.2) имеется лишний символ e ; на стр. 35 в пункте списка 2) следует писать «время пребывания в состоянии λ_2 не закончится» вместо «время пребывания в состоянии λ_1 не закончится»; на стр.37 в описании событий $(B, \lambda(0)=\lambda_1, \lambda(-\Delta\tau)=\lambda_1)$ и $(B, \lambda(0)=\lambda_1, \lambda(-\Delta\tau)=\lambda_2)$ вместо «при условии» следует писать «и», т.к. описываются не условные, а совместные события; на стр. 38 в 6-й строке снизу следует писать « $P(\lambda(0)=\lambda_2|B) = \dots$ » вместо « $P(\lambda(0)=\lambda_1|B) = \dots$ »; на стр. 39 в пункте списка 1) после «... не перейдет в состояние λ_2 » следует вставить «и не наступит событие с интенсивностью λ_1 », а в формуле, завершающей данный пункт, вставить пропущенную закрывающую скобку; на стр. 39 в пункте списка 2) после «... не перейдет в состояние λ_1 » следует вставить «и не наступит событие с интенсивностью λ_2 »; на стр. 39 в последней строке в формуле закрывающую скобку, находящуюся перед $\Delta\tau$ в первом слагаемом, следует перенести после $\Delta\tau$; на стр. 40 в последнем дифференциальном уравнении формул (1.2.9) спутаны индексы: вместо p_{11} следует писать p_{22} ; на стр. 46 в формулах, расположенных в 5 и 6 строках, пропущены закрывающие скобки; на стр. 88 в последнем равенстве формул (2.2.5) спутан индекс: следует писать « $q_{22}(T)=\dots$ », а не « $q_{12}(T)=\dots$ »; на стр. 132 автор ссылается на формулы (1.3.25), (1.3.26) и (1.3.27), хотя таких

формул в тексте нет, на самом деле автор использовала формулы (1.5.21), (1.5.22) и (1.5.23); там же автор ссылается на раздел 1.6.1, хотя, очевидно, имеет в виду 1.8.1; на стр.134 автор ссылается на раздел 1.5, хотя, судя по смыслу, имеется в виду раздел 1.7; на стр. 137 автор ссылается на формулы (1.3.25), (1.3.26), (1.7.4) и (1.7.5), вместо которых автор, очевидно, использовала (1.5.21) – (1.5.23), (1.9.4) и (1.9.5).

7) Имеется замечание к оформлению рисунков: на рис. 3.3 на стр. 133: подпись оси 1 расположена не под осью, как на других рисунках, а под траекторией процесса, масштабы для осей 1 и 2 не соблюдены, что может ввести читателя в заблуждение; на рис. 3.7 и 3.8 на стр. 138 не отмечены периоды мертвого времени.

Следует отметить, что, несмотря на опечатки в некоторых промежуточных формулах и построениях, математические выкладки автора корректны, все леммы и теоремы доказаны строго, итоговые формулы верны. Отмечу высокий уровень математической теоретической подготовки автора и ее умение использовать методы исследования случайных процессов для решения поставленных задач. Таким образом, замечания, в общем, не снижают ценности работы.

Заключение. Диссертационная работа Сиротиной М.Н. является законченной научно-квалификационной работой, посвященной исследованию актуальных проблем по оцениванию длительности мертвого времени и оптимальному оцениванию состояний модулированного синхронного дважды стохастического потока событий. Полученные научные результаты имеют существенное значение для развития теории дважды стохастических потоков событий. В целом, диссертация оформлена надлежащим образом, написана понятным и грамотным языком.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация М.Н. Сиротиной «Оценка длительности мертвого времени и состояний модулированного синхронного дважды стохастического потока событий», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по

специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации), является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Сиротина Мария Николаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент
доцент кафедры информационной
безопасности Института математики
и компьютерных наук
федерального государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования
«Тюменский государственный университет»,
кандидат физико-математических наук
(специальность 05.13.01 – Системный анализ,
Управление и обработка информации)



Ниссенбаум Ольга Владимировна

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Тюменский государственный университет»
625003 г. Тюмень, ул. Володарского, 6
E-mail: rector@utmn.ru
Веб-сайт: <https://www.utmn.ru/>
Тел.: 8 (3452) 59-74-29, 59-74-82



21 февраля 2017 года.