

**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 диссертации**

В связи с интенсивным развитием компьютерной техники, информационно-вычислительных, телекоммуникационных систем и сетей связи широкое применение при их изучении получили математические модели систем массового обслуживания, в том числе системы, на вход которых поступают случайные потоки событий. Дополнительный интерес к изучению таких систем возрос начиная с работ Д. Кокса, когда впервые было введено в рассмотрение понятие дважды стохастического потока событий, как потока, для которого характерно наличие двух источников случайностей: 1) интервалы между наступлениями соседних событий пуассоновского потока представляют собой случайную величину с экспоненциальной функцией распределения, зависящей от параметра  $\lambda(t)$ -интенсивности; 2) интенсивность  $\lambda(t)$  представляет собой случайный процесс. Стоит отметить, что для изучения реальных моделей входящих потоков событий чаще всего применяются потоки, у которых интенсивность  $\lambda(t)$  представляет собой кусочно-постоянный случайный процесс. Такие потоки впервые были представлены в работах Г.П. Башарина, В.А. Кокотушкина, В.А. Наумова и М. Ньютса в 1979 году и наиболее адекватно описывают реальные информационные потоки данных, характерные для современных вычислительных, телекоммуникационных и других сетей.

Поэтому всевозможные задачи, связанные с исследованием дважды стохастических потоков, в частности, задачи фильтрации интенсивности входящего потока событий или оценки его неизвестных параметров являются новыми и актуальными для современной теории массового обслуживания. Более того, на практике большинство исследуемых систем массового обслуживания усложняются потерями информации, происходящими при регистрации событий входящего потока данных. По этой причине исследование потоков, функционирующих в условиях неполной наблюдаемости (в терминологии автора, в условиях «непродлевающегося мертвого времени»), приобретает еще большую актуальность.

В диссертационной работе М.Н. Сиротиной исследуется модулированный синхронный поток событий, который относится к классу дважды стохастических потоков событий с кусочно-постоянной интенсивностью. В рамках данной работы автор впервые решает две

актуальные задачи: 1) построение оптимальной статистической оценки состояний модулированного синхронного потока событий в условиях мертвого времени и его отсутствия; данная задача решается аналитически, и ее решение подтверждено компьютерными экспериментами; 2) построение статистической оценки длительности мертвого времени модулированного синхронного потока событий; данная задача также решена аналитически, и проведен численный эксперимент на ЭВМ с целью установления качества двух используемых методов оценивания – «приближенного» метода максимального правдоподобия и модифицированного метода моментов.

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

В диссертации автор получил следующие новые научные результаты:

1) аналитически получен явный вид апостериорных вероятностей состояний исследуемого потока событий для случая мертвого времени и его отсутствия;

2) с использованием полученных выражений апостериорных вероятностей разработан алгоритм оптимального статистического оценивания состояний модулированного синхронного дважды стохастического потока событий как для случая отсутствия мертвого времени, так и при его наличии; при этом для вынесения решения о состоянии потока автором используется критерий максимума апостериорной вероятности (байесовский принцип оптимальности), который обеспечивает минимум полной вероятности ошибочного решения о состоянии потока;

3) аналитически получена формула для условной вероятности принятия ошибочного решения о состоянии потока, когда он является коррелированным, то есть учитывается вероятностная зависимость между моментами наступления событий потока; получен также вид безусловной вероятности принятия ошибочного решения о состоянии потока для случая, когда указанная вероятностная зависимость отсутствует, и поток становится рекуррентным;

4) аналитически получен явный вид плотности распределения вероятностей случайной длительности интервала между моментами наступления соседних событий потока для случая мертвого времени и его отсутствия;

5) аналитически получен явный вид совместной плотности распределения вероятностей случайной длительности смежных интервалов между моментами наступления событий рассматриваемого потока для случая мертвого времени и его отсутствия;

6) аналитически построены «приближенная» МП-оценка длительности мертвого времени с использованием аппроксимации функции правдоподобия и ММ-оценка длительности мертвого времени с использованием модифицированного метода моментов; разработаны алгоритмы вычисления МП- и ММ-оценки длительности мертвого времени;

7) все разработанные алгоритмы статистического оценивания состояний процесса и мертвого времени реализованы в виде программных модулей и детально исследованы по точности методом статистического моделирования.

Результаты, полученные автором в диссертации, представляют собой новые научные положения и выводы, в совокупности вносящие существенный вклад в развитие теории дважды стохастических потоков событий.

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

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечена строгими математическими доказательствами с использованием аппарата теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории случайных процессов, теории дифференциальных уравнений, математической статистики, математического анализа и численными исследованиями.

Результаты диссертационной работы представлены и апробированы на девяти научно-практических конференциях всероссийского и международного уровня.

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

По теме диссертации автором опубликовано 20 научных работ, в числе которых 11 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (из них 3 статьи в зарубежных изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science), 9 публикаций вошли в сборники материалов международных и всероссийских научных конференций.

Автореферат, представленный автором, корректно и в достаточной мере отражает основные результаты данной диссертационной работы.

***Теоретическая и практическая значимость работы***

Теоретическая значимость состоит в аналитическом решении задачи построения оптимальной статистической оценки состояний модулированного синхронного потока событий по наблюдениям за моментами наступления событий потока в условиях мертвого времени и его отсутствия и аналитическом решении задач статистического оценивания длительности мертвого времени в модулированном синхронном потоке событий в условиях мертвого времени.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанных алгоритмов оптимальной оценки состояний потока и оценки длительности мертвого времени в задачах проектирования

современных информационно-вычислительных сетей, сетей связи, дисциплины обслуживания которых зависят от параметров и текущих состояний входящих потоков событий, а также для обработки результатов физических экспериментов, усложненных наличием мертвого времени регистрирующих устройств.

### ***Возможность использования результатов работы***

Результаты, полученные в ходе исследования, представляют интерес для теории массового обслуживания и теории случайных процессов, в частности, теории дважды стохастических потоков случайных событий. Результаты исследования используются в учебном процессе НИ ТГУ при разработке курсов лекций «Марковские системы массового обслуживания», «Имитационное моделирование», «Методы идентификации и оценки параметров телекоммуникационных потоков» для подготовки бакалавров и магистров. Рекомендуются внедрение результатов исследования в учебный процесс Белорусского государственного университета и других высших образовательных учреждений, где ведется подготовка специалистов в области прикладной математики и информатики.

### ***Замечания по диссертационной работе***

1. Автор использует понятие «метод максимального правдоподобия» для оценивания длительности мертвого времени. Однако данный метод подразумевает использование  $n$ -мерной плотности распределения вероятностей, которую для данной модели случайного потока получить в явном виде не удастся. Автор допускает погрешность метода, пренебрегая коррелированностью потока и выписывая функцию правдоподобия в виде произведения одномерных плотностей распределения вероятностей длительностей интервалов между соседними событиями потока. Такое представление справедливо лишь в случае рекуррентного потока, во всех других ситуациях применяемый метод стоит именовать иначе, к примеру, «метод, основанный на аппроксимации функции правдоподобия», «приближенный метод максимального правдоподобия».

Тем не менее, при решении оптимизационной задачи по построению МП-оценки длительности мертвого времени автором проделан достаточно большой объем аналитических исследований.

2. В подразделе 3.4 работы автор приводит результаты численного сравнения качества МП- и ММ-оценок длительности мертвого времени. Аналитические же результаты приведены автором только для нахождения самих оценок, но не для сравнения их качества. В частности, не приведено доказательство состоятельности и асимптотической несмещенности этих оценок. Если таковые результаты получить представляется невозможным или затруднительным, то в работе следовало бы указать, с чем это связано.

3. Согласно списку использованных источников, автором и его научным руководителем в соавторстве с другими коллегами, занимающимися изучением дважды стохастических потоков событий, проведено немало исследований. Однако во всех работах исследуемые дважды стохастические потоки рассматриваются с двумя состояниями  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Представляет интерес рассмотреть данную модель дважды стохастического потока для случая  $n$  состояний  $\lambda_i, i=1, 2, \dots, n$ . Принимая во внимание достаточно трудоемкие преобразования, сделанные автором в процессе нахождения явного вида таких характеристик потока, как апостериорные вероятности состояний (формулы (1.5.21)–(1.5.23) (1.9.4)–(1.9.6)), плотность вероятности значений длительности интервала между соседними событиями потока (формулы (1.2.13) и (2.2.12)), совместная плотность вероятности значений длительностей смежных интервалов между моментами наступления событий потока (формулы (1.3.4) и (2.3.2)), и сопутствующих для их получения промежуточных результатов, очевидно, что при увеличении размерности используемых дифференциальных и алгебраических уравнений будет затруднительным или невозможным нахождение их решения. Об этом автору следовало бы указать в работе.

4. Было бы целесообразно пояснить, согласуются ли при  $T \rightarrow 0$  выражения для вероятностей  $\pi_i(0|T)$  в Лемме 2.2.3 и  $\pi_i$  в Теореме 1.2.1.

5. В работе имеются малочисленные опечатки и неточности:

- на стр. 33 подраздела 1.2 в лемме 1.2.2 диссертации автор вводит понятие «априорной» вероятности  $\pi_i, i=1, 2$ , однако в процессе доказательства встречается терминология «апостериорных» вероятностей для тех же характеристик потока  $\pi_i, i=1, 2$ ;

- в системе дифференциальных уравнений (1.2.9) дважды встречаются производные  $p'_{11}(\tau)$  в то время как, в четвертом уравнении системы должна быть производная  $p'_{22}(\tau)$ ;

- на стр. 180 опечатки в формулах для  $d$  и  $s$ .

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Сиротиной М.Н. Следует отметить строгий стиль изложения диссертации, хорошо проведенный анализ результатов многочисленных компьютерных экспериментов.

### **Заключение**

Диссертационная работа Сиротиной М.Н. является законченной научно-исследовательской работой, посвященной решению актуальных задач по статистическому оцениванию длительности мертвого времени и оптимальному статистическому оцениванию состояний модулированного синхронного дважды стохастического потока событий. Полученные научные результаты имеют важное 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  
директор НИИ прикладных проблем  
математики и информатики Белорусского  
государственного университета,  
доктор физико-математических наук  
по специальности 01.01.09 –  
Теоретическая кибернетика, профессор,  
член-корреспондент НАН Беларуси



Харин Юрий Семенович

Учреждение Белорусского государственного  
университета «Научно-исследовательский институт  
прикладных проблем математики и информатики»  
220030, Республика Беларусь, г. Минск,  
пр. Независимости, 4, к. 802.  
E-mail: [apmi@bsu.by](mailto:apmi@bsu.by)  
Веб-сайт: <http://apmi.bsu.by>  
Тел.: + 375 17 209 51 04

13 февраля 2017 года