

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента на диссертационную работу**  
**Беккерман Екатерины Николаевны «Оценивание числа состояний и**  
**значений интенсивности асинхронного МС-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**

С развитием телекоммуникационных систем связи было обнаружено, что использование простейших входящих потоков при их моделировании с помощью соответствующих систем массового обслуживания приводит к значительным ошибкам в расчетах характеристик производительности и надежности. Одним из факторов влияния на такие отклонения является наличие значительной корреляции случайных величин, описывающих интервалы между соседними поступлениями заявок в СМО. Наличие коррелируемых интервалов между поступлениями заявок привело к необходимости разработки более сложных потоков, подходящих для реальных систем. Таким образом появились работы, посвященные целому классу так называемых дважды стохастических процессов, в которых интенсивности появления событий могут изменяться во времени в соответствии с некоторым случайным законом. Для обозначения таких процессов помимо термина дважды стохастических процессов используются обозначения МС(Markov Chain)-потоки либо марковский поток заявок MAP(Markov arrival process)-поток.

Дважды стохастические потоки были рассмотрены впервые в пятидесятых годах XX века и подразделяются на два класса: случайный поток, интенсивность которого есть непрерывный случайный процесс, и случайный поток, интенсивность которого есть кусочно-постоянный случайный процесс. Последние были введены в рассмотрение в 1979 году отечественными учеными Г.П. Башариным, В.А. Кокотушкиным и В.А. Наумовым под названием МС-потоки, и практически одновременно и независимо, американским ученым M.F. Neuts под названием MVP-потоки. В свою очередь МС-потоки событий делятся по способу перехода интенсивности из одного состояния в другое на синхронные, полусинхронные и асинхронные. В диссертационной работе Беккерман Е.Н. рассматривается асинхронный МС-поток событий.

Системы массового обслуживания с входящим дважды стохастическим потоком исследуются в большом количестве научных работ. Известно, что при решении задач оптимизации СМО необходимо знание параметров входящего потока заявок (событий). В случае асинхронного МС-потока такими параметрами являются число состояний интенсивности, значения интенсивности и параметры переходов из одного состояния в другое. При этом значения параметров входящего потока событий являются неизвестными величинами, в связи с чем возникают задачи оценивания параметров дважды стохастических потоков заявок.

Приведенный в диссертации анализ работ по оцениванию параметров МС-потоков событий показывает, что задачи оценивания параметров

рассматриваются в предположении априорно известного числа состояний интенсивности потока, при этом знание числа состояний необходимо для применения методов и алгоритмов оценивания остальных параметров МС-потока событий. В случае, если число состояний интенсивности потока неизвестно, становится актуальной рассматриваемая в диссертации задача оценивания числа состояний и значений интенсивности дважды стохастических потоков событий (в частности, асинхронного МС-потока).

## **Общая характеристика диссертации**

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы и трех приложений. Общий объем работы составляет 170 страниц, включая приложения и список литературы, содержащий 144 наименования. Иллюстративный материал представлен 38 рисунками, из них 2 – в приложениях.

Во *введении* раскрывается актуальность исследуемой проблемы, приводится обзор работ других авторов по изучаемой тематике.

В *первом разделе* формулируется постановка задачи оценивания числа состояний асинхронного МС-потока событий, описывается подход к решению задачи и процедура обработки данных из реализации. Исходя из выбранной модели потока и способа обработки данных, представлен вид плотности вероятности оценки  $\hat{\lambda}$  в пределах одной реализации простейшего потока и доказано, что эта плотность распределения имеет единственный максимум. На основании свойств этой плотности распределения предложен подход к оцениванию числа состояний асинхронного МС-потока событий.

Во *втором разделе* предлагается алгоритм отнесения событий реализации асинхронного МС-потока событий к интервалам стационарности и вспомогательные процедуры, используемые в этом алгоритме. Далее предлагаются два алгоритма к оцениванию числа состояний потока на основе полученных данных о реализовавшихся интервалах стационарности: 1) алгоритм оценивания числа состояний и значений интенсивности асинхронного МС-потока событий, основанный на свойствах гистограммы оценок интенсивности и 2) алгоритм оценивания числа состояний и значений интенсивности асинхронного МС-потока событий, основанный на свойствах оценок интенсивности.

В *третьем разделе* описывается программное обеспечение, разработанное для исследования алгоритмов, предложенных в разделе 2, формулируются показатели качества оценивания числа состояний и значений интенсивности исследуемого асинхронного МС-потока событий, представлены результаты компьютерных экспериментов с использованием имитационной модели асинхронного МС-потока событий.

В *заключении* диссертационной работы, в соответствии с поставленными во введении задачами, перечисляются основные результаты работы.

В *приложении А* описывается имитационная модель асинхронного МС-потока событий с конечным числом состояний. В *приложении Б* представлен

пример применения алгоритмов, представленных в разделе 2, к реализации асинхронного МС-потока событий с тремя состояниями, полученной при помощи имитационной модели. В *приложении В* представлен акт о внедрении результатов диссертации в учебный процесс НИ ТГУ.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

### **Научная новизна основных положений и выводов диссертации**

1. Согласно предложенному способу обработки данных о реализации моментов наступления событий потока, построен аналитический вид плотности вероятности оценки  $\hat{\lambda}$  в пределах одной реализации простейшего потока, которая является выпуклой линейной комбинацией плотностей распределения оценок интенсивности простейшего потока по фиксированному числу событий.

2. Доказана теорема, следствием которой является тот факт, что полученная плотность вероятности имеет единственный максимум, причем абсцисса этого максимума с увеличением количества наблюдений стремится к значению интенсивности исследуемого потока. Этот факт положен в основу подхода к оцениванию числа состояний асинхронного МС-потока событий.

3. Предложен алгоритм, позволяющий разбить множество событий реализации исследуемого асинхронного МС-потока событий на подмножества, соответствующие интервалам стационарности.

4. Предложены алгоритмы оценивания числа состояний исследуемого асинхронного МС-потока, использующие в качестве начальных данных сведения о подмножествах событий реализации, соответствующих интервалам стационарности. Результатом работы алгоритмов является оценка числа состояний исследуемого потока, оценки значений интенсивности потока в каждом состоянии.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов**

Теоретическая значимость для развития теории оценивания параметров дважды стохастических потоков событий заключается в том, что 1) предложено математическое обоснование подхода к решению задачи оценивания числа состояний и значений интенсивности асинхронного МС-потока событий с конечным числом состояний на основе выборки наблюдений за моментами наступления событий потока, 2) разработаны алгоритмы, реализующие этот подход.

Практическая значимость работы состоит в возможности исследования реализаций случайных потоков событий на предмет использования разработанных алгоритмов для оценивания числа состояний и значений интенсивности асинхронного МС-потока в задачах анализа и проектирования систем и сетей массового обслуживания, в частности, информационно-вычислительных систем, телекоммуникационных и компьютерных сетей.

## **Достоверность и обоснованность основных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается строгими математическими доказательствами теоремы и утверждений, основанными на аппарате теории случайных процессов, теории вероятностей, математической статистики, математического анализа, теории графов, а также результатами численных экспериментов, полученных в ходе экспериментального исследования алгоритмов оценивания, согласующимися с исходными данными имитационной модели.

### **Замечания по диссертационной работе**

По диссертации имеется несколько замечаний:

1. Первое небольшое замечание касается описания научной новизны. По моему мнению данный раздел можно было бы несколько расширить за счет более детального описания тех новшеств, которые были применены в работе. Для ряда скрытых марковских процессов, например для ММРР, задача оценки числа состояний марковского потока заявок решалась с помощью метода максимального правдоподобия с использованием штрафных функций, см., например, работы Ридена и Бройера. Поэтому во введении хотелось бы уже понимать отличие предложенного подхода от уже существующих.

2. В начале диссертации дано определение термина МС-поток, но отсутствует объяснение данной аббревиатуры, а также взаимосвязь МС-потоков и МАР-потоков, понимается под этим одно и то же или нет. Мне понятно, что МС обозначает Markov Chain, но неподготовленный читатель может этого и не знать.

3. Проблемы, рассматриваемые в данной работе, могут интерпретироваться также как элемент более широкой задачи распознавания образов в реализации случайного процесса, задачи нахождения разладок в кусочно-стационарных временных рядах и т.д. В этой связи у меня возник вопрос, связанный с применением очень популярных ныне методов машинного обучения для решения данной задачи. Будет ли обученная модель давать то же качество оценивания состояний, что и предложенный метод. Я думаю, что было бы не лишним в работу включить некоторую взаимосвязь между отдельно решаемой в данной работе задачей и более общими проблемами, возникающими в области скрытых марковских процессов.

### **Заключение**

Диссертация Беккерман Е.Н. выполнена на высоком научном уровне и является научно-квалификационной работой, результаты которой развивают теорию дважды стохастических потоков. Работа выполнена автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Диссертация Беккерман Е.Н. «Оценивание числа состояний и значений интенсивности асинхронного МС-потока событий» удовлетворяет разделу II Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного Постановлением

Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)».

Официальный оппонент  
старший научный сотрудник  
лаборатории № 69 «Управление сетевыми системами»  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института проблем управления  
им. В.А. Трапезникова Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук  
(специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление  
и обработка информации (в отраслях информатики,  
вычислительной техники и автоматизации)),

заместитель директора Института стохастики  
Университета Иоганна Кеплера (г. Линц, Австрия),  
ассоциированный профессор

« 04 » мая 20 17 г.

Ефросинин Дмитрий Владимирович



Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова Российской академии наук  
Адрес: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.  
<http://www.ipu.ru>  
Тел.: 8 (495) 334-89-10  
E-mail: dan@ipu.ru

Институт стохастики Университета Иоганна Кеплера  
Австрия, 4040, г. Линц, Альтенбергерштрассе 69;  
<http://www.jku.at/stochastic>  
Тел: +43 732 2468 4160  
E-mail: cornelia.brandt-springsits@jku.at