

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, член-корреспондент РАН



Д.А. Новиков

«14» февраля 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук на диссертационную работу

Нежелской Людмилы Алексеевны

«Оценка состояний и параметров дважды стохастических потоков событий», представленную к защите в Диссертационном Совете 212.267.12, созданном на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», 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 исследования. В диссертационной работе Л.А. Нежелской осуществляется аналитическое и численное исследование различных видов дважды стохастических потоков событий, функционирующих в условиях полной наблюдаемости, а также в условиях непродлевающегося и продлевающегося мёртвого времени. Основной целью автора является разработка алгоритмов оценивания состояний и алгоритмов оценивания параметров и длительности мёртвого времени по наблюдениям за моментами наступления событий в изучаемых потоках.

Развитие спутниковых, мобильных и компьютерных сетей послужило стимулом к рассмотрению дважды стохастических потоков в качестве математических моделей потоков событий в реальных телекоммуникационных и информационно-вычислительных сетях связи. Дважды стохастические потоки можно разделить на два класса: первый класс составляют потоки, интенсивность которых есть непрерывный случайный процесс; второй – потоки, интенсивность

которых есть кусочно-постоянный случайный процесс с конечным числом состояний. Потоки первого класса исследованы, в частности, в трудах D. Cox, J. Kingman, D. Snyder. Впервые результаты исследований потоков второго класса опубликованы практически одновременно, в 1979 г., в работах Г. П. Башарина, В. А. Кокотушкина, В. А. Наумова, где потоки названы МС-потоками, и M. Neuts, где потоки названы MVP-потоками. D. Lucantoni определил потоки второго класса как MAP-потоки. Зарубежными и отечественными учеными при описании подобных входящих потоков используются термины: дважды стохастические потоки событий (Doubly Stochastic Poisson Process), MAP-потоки (Markovian Arrival Process), МС-потоки (Markov Chain).

Автором предложена классификация MAP-потоков на MAP-потоки первого порядка и MAP-потоки второго порядка в зависимости от вариантов смены состояний интенсивности потока. Рассмотрен случай, когда кусочно-постоянный случайный процесс, являющийся интенсивностью MAP-потока, имеет два состояния. Класс MAP-потоков первого порядка составляют потоки, у которых смену состояний интенсивности определяет одна случайная величина: 1) *синхронные потоки*; 2) собственно *MAP-потоки* как обобщение синхронных потоков. Класс MAP-потоков второго порядка составляют потоки, у которых смена состояний интенсивности определяется двумя независимыми случайными величинами: 1) *модулированные MAP-потоки*; 2) *обобщённые асинхронные потоки*, являющиеся обобщением *асинхронных потоков*; 3) *обобщённые полусинхронные потоки* как обобщение *полусинхронных потоков* и *полусинхронных альтернирующих потоков*. Все перечисленные потоки с двумя состояниями исследованы в диссертационной работе.

В реальных ситуациях параметры, определяющие поток событий, как правило, полностью либо частично неизвестны. В подобных случаях с целью решения задачи управления обслуживанием такого потока и решения задачи адаптации реальной системы и сети к входящему потоку необходимо оценивать неизвестные параметры либо состояния потоков событий в режиме реального времени.

Большинством авторов исследование СМО осуществляется в условиях, когда все события входящего потока доступны наблюдению. На практике зарегистрированное событие может вызвать период мёртвого времени, в течение которого другие события потока становятся недоступными для наблюдения (теряются). Можно считать, что мёртвое время выступает искажающим фактором при решении задачи оценивания, так как эффект мёртвого времени влечет за собой потери событий потока, что отрицательно сказывается на оценивании как состояний, так и параметров потока. Для того, чтобы оценить потери событий потока, возникающие из-за эффекта мёртвого времени, необходимо оценить значение его длительности. Период ненаблюдаемости потока событий может продолжаться некоторое фиксированное время, а также может быть случайным.

В своей диссертационной работе Л.А. Нежелская ссылается на научные школы, в которых проводятся исследования в области теории массового

обслуживания, в том числе, изучение СМО с входящими дважды стохастическими потоками событий.

Таким образом, задачи оценивания состояний и параметров дважды стохастических потоков событий при полной или частичной наблюдаемости потоков являются актуальными научными проблемами.

Общая характеристика диссертации. В диссертационной работе исследуются и решаются следующие задачи: 1) разработка математических моделей дважды стохастических потоков событий при полной либо частичной наблюдаемости потоков; 2) создание эвристических пороговых алгоритмов оценивания состояний дважды стохастических потоков событий при полной наблюдаемости потоков, а также применение предложенных алгоритмов для решения задачи оценивания состояний потоков событий; 3) построение оптимальных оценок состояний дважды стохастических потоков событий в условиях полной наблюдаемости потоков, а также в условиях непродлевающегося мёртвого времени фиксированной длительности, с использованием метода максимума апостериорной вероятности, разработка процедур оценивания и применение указанных процедур для различных моделей дважды стохастических потоков событий; 4) разработка (с использованием метода моментов) процедур оценки параметров дважды стохастических потоков событий либо параметров плотности вероятности значений длительности интервала между соседними событиями в потоках, функционирующих в условиях их полной либо частичной наблюдаемости (при непродлевающемся мёртвом времени), а также процедур оценки длительности мёртвого времени; 5) создание алгоритма расчёта условной и безусловной вероятности вынесения ошибочного решения о состоянии, в частности, обобщённого асинхронного потока событий при полной наблюдаемости потока; 6) разработка алгоритмов оценивания длительности непродлевающегося мёртвого времени для отдельных видов потоков событий на основе метода максимального правдоподобия и модифицированного метода моментов; 7) разработка процедур оценивания длительности мёртвого времени для рекуррентных дважды стохастических потоков событий, функционирующих в условиях продлевающегося мёртвого времени, с использованием метода моментов и применение предложенных процедур для рекуррентных синхронного и полусинхронного потоков событий; 8) проведение статистических экспериментов на имитационных моделях дважды стохастических потоков с целью установления качества получаемых оценок состояний, параметров потоков и длительности мёртвого времени.

Диссертация Л.А. Нежелской состоит из введения, восьми глав, заключения и списка использованной литературы. Текст диссертации изложен на 341 странице. Список литературы включает 263 наименования.

Во введении автор даёт краткие сведения о становлении и развитии теории массового обслуживания, перечисляет научные школы, в которых проводятся исследования систем и сетей массового обслуживания, в том числе, с входящими дважды стохастическими потоками событий, приводит обзор научных трудов

других авторов по изучаемой тематике, обосновывает актуальность темы исследования и формулирует его цели и задачи, излагает теоретическую и практическую значимость диссертационного исследования и научную новизну полученных результатов.

В первой главе диссертации автором предлагаются эвристические пороговые алгоритмы оценивания состояний асинхронного, синхронного и полусинхронного потоков событий при полной наблюдаемости потоков: алгоритм оценки состояний при равноценных наблюдениях за потоком событий на интервале наблюдения $(0, t)$, алгоритм оценки состояний, учитывающий старение информации, и алгоритм оценки состояний, учитывающий наряду со старением информации ошибки измерений моментов t_1, t_2, \dots, t_k , $k = \overline{1, n}$, наступления событий потока на интервале наблюдения. Интенсивность рассматриваемых во всей работе потоков представляет собой принципиально ненаблюдаемый (скрытый марковский) случайный процесс $\lambda(t)$ с двумя состояниями; наблюдаемыми являются только моменты времени t_1, t_2, \dots, t_k наступления событий исследуемых потоков на интервале $(0, t)$. Для каждого из пороговых алгоритмов решена задача минимизации полной вероятности ошибки принятия решения.

С использованием имитационной модели асинхронного потока проведены численные эксперименты по вычислению оптимальных параметров предложенных алгоритмов, приведены их численные результаты.

Во второй главе диссертации автором решается задача оптимального оценивания состояний различных видов дважды стохастических потоков событий при полной наблюдаемости потоков. Сформулирован алгоритм оптимальной оценки состояний исследуемых потоков по наблюдениям за моментами наступления событий потока с использованием критерия максимума апостериорной вероятности, обеспечивающего минимум полной (безусловной) вероятности ошибки при принятии решения о состоянии процесса $\lambda(t)$ (потока). Изложена методика получения рекуррентного соотношения для апостериорных вероятностей состояний дважды стохастических потоков событий. Для отдельных видов дважды стохастических потоков приводятся явные выражения для апостериорных вероятностей $w(\lambda_i | t)$, $i = 1, 2$, состояний в течение времени между моментами наступления событий, а также в моменты времени наступления событий потока. На имитационных моделях обобщённого полусинхронного и МАР-потока событий проведены статистические эксперименты с целью установления частоты ошибочных решений о состоянии процесса $\lambda(t)$ и приведены их численные результаты.

В третьей главе диссертации автором решается задача оптимального оценивания состояний различных видов дважды стохастических потоков событий при непродлеваемом мёртвом времени фиксированной длительности. Описана схема формирования наблюдаемого потока событий в условиях непродлеваемого мёртвого времени. Сформулирован алгоритм оптимальной оценки состояний, основанный на методе максимума апостериорной вероятности.

Для различных видов потоков получены явные выражения для апостериорных вероятностей $w(\lambda_i|t)$, $i = 1, 2$, состояний на интервале ненаблюдаемости потока (в течение периода мёртвого времени), на интервале времени, когда поток событий доступен наблюдению, и в моменты времени наступления событий наблюдаемого потока. На основании полученных формул сформулированы алгоритмы расчёта апостериорной вероятности $w(\lambda_1|t)$ и алгоритмы принятия решения о состоянии процесса $\lambda(t)$. На имитационных моделях полусинхронного, МАР-потока и модулированного МАР-потока событий поставлены статистические эксперименты для установления частоты ошибочных решений о состоянии процесса $\lambda(t)$.

В четвёртой главе диссертации автором формулируется задача об оценке параметров отдельных моделей дважды стохастических потоков событий при их полной наблюдаемости. Для всех исследуемых потоков находятся явные выражения для плотности вероятности значений длительности интервала между соседними событиями $p(\tau)$. С использованием явного вида $p(\tau)$ методом моментов построены либо оценки параметров распределения, либо оценки параметров потока. Для отдельных видов потоков приводятся явные виды совместной плотности вероятности значений длительностей двух смежных интервалов между событиями в потоке $p(\tau_1, \tau_2)$, из которых следует коррелированность потоков, обуславливающая погрешность получаемых методом моментов оценок. Выписываются условия рекуррентности потоков, при выполнении которых получаемые оценки являются состоятельными. Для синхронного, полусинхронного, МАР-потока и модулированного МАР-потока событий представлены численные результаты статистических экспериментов по оценке параметров.

В пятой главе диссертации автором решается задача оценивания длительности мёртвого времени, параметров дважды стохастических потоков событий и параметров плотности вероятности значений длительности интервала между соседними событиями в дважды стохастических потоках при непродлеваемом мёртвом времени. Для отдельных моделей потоков получены явные виды плотности вероятности $p_T(\tau)$, с использованием которых методом моментов строятся либо оценки параметров распределения, либо оценки параметров потоков. Следует заметить, что погрешность получаемых в общем случае оценок снижается (по сравнению с ситуацией отсутствия мёртвого времени), так как в условиях неполной наблюдаемости корреляционные связи в потоках ослабевают. Для синхронного и полусинхронного потоков приведены численные результаты экспериментов по оценке параметров и длительности мёртвого времени.

В шестой главе диссертации автором решается задача об оценке длительности мёртвого времени по наблюдениям за моментами наступления событий в обобщённом асинхронном, обобщённом полусинхронном и модулированном МАР-потоке событий. Предполагается, что все параметры исследуемых потоков известны, длительность мёртвого времени неизвестна. Для

решения задачи оценивания для указанных потоков находятся явные виды плотности вероятности значений длительности интервала между соседними событиями наблюдаемых потоков $p_T(\tau)$, а также явные виды совместной плотности вероятности значений длительностей двух смежных интервалов в наблюдаемых потоках $p_Y(\tau_1, \tau_2)$. Сделан вывод о коррелированности потоков и выписаны условия их рекуррентности.

В случае рекуррентных потоков оценивание осуществляется методом максимального правдоподобия путем построения функции правдоподобия в виде произведения одномерных плотностей вероятности. Для коррелированных потоков предлагается целевая функция также в виде произведения одномерных плотностей, которая совпадает с функцией правдоподобия для рекуррентных потоков. Для всех перечисленных потоков решены оптимизационные задачи и доказано, что целевая функция $L(T|\tau^{(1)}, \dots, \tau^{(k)})$ достигает своего глобального максимума в точке $\hat{T} = \tau_{\min}$, $\tau_{\min} = \min \tau_j$, $j = \overline{1, k}$, то есть решением оптимизационных задач является оценка длительности мёртвого времени $\hat{T} = \tau_{\min}$ (МП-оценка).

Для всех перечисленных потоков решена задача оценки длительности мёртвого времени модифицированным методом моментов, учитывающим коррелированность потоков событий (ММ-оценка). С использованием имитационных моделей исследуемых потоков поставлены статистические эксперименты, приведены их численные результаты, позволяющие сравнить МП- и ММ-оценки.

В седьмой главе диссертации автором решается задача нахождения вероятности (условной и безусловной) вынесения ошибочного решения о состоянии дважды стохастических потоков событий в произвольный момент времени при полной наблюдаемости потоков. Разработана процедура расчёта в произвольный момент времени условной вероятности ошибки принятия решения о состоянии обобщённого асинхронного потока. Для рекуррентного обобщённого асинхронного потока получен явный вид безусловной вероятности ошибки принятия решения. С использованием имитационной модели рассматриваемого потока построена траектория условной вероятности ошибки.

В восьмой главе диссертации автором решается задача оценивания длительности мёртвого времени в дважды стохастических потоках событий, функционирующих в условиях продлевающегося мёртвого времени. Описана схема формирования наблюдаемого потока событий. Для произвольного рекуррентного дважды стохастического потока событий получено преобразование Лапласа $g_\xi(s)$ плотности вероятности значений длительности общего периода ненаблюдаемости, а также математическое ожидание общего периода ненаблюдаемости. Рассмотрены рекуррентные синхронный и полусинхронный потоки событий, для каждого из которых определён явный вид преобразования Лапласа $g_\tau(s)$ плотности вероятности значений длительности интервала между соседними событиями в наблюдаемом потоке, позволяющий методом моментов

решить задачу оценивания длительности мёртвого времени. На имитационных моделях указанных потоков поставлены статистические эксперименты с целью установления качества получаемых оценок.

В заключении приводятся основные результаты диссертационного исследования и формулируются выводы.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов. Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в получении существенных для развития теории дважды стохастических потоков событий результатов:

1) для широкого класса дважды стохастических потоков событий при полной либо частичной наблюдаемости (при непродлеваемом мёртвом времени) потоков аналитически методом максимума апостериорной вероятности решена задача оптимальной оценки состояний в произвольный момент времени по наблюдениям за моментами наступления событий;

2) для широкого класса дважды стохастических потоков событий при полной либо частичной наблюдаемости (при непродлеваемом мёртвом времени) потоков аналитически методом моментов решена задача оценки параметров потоков и длительности мёртвого времени;

3) для отдельных видов дважды стохастических потоков событий при непродлеваемом мёртвом времени методом, основанным на методе максимального правдоподобия, и модифицированным методом моментов аналитически решена задача оценки длительности мёртвого времени;

4) для рекуррентных синхронного и полусинхронного потоков событий при продлеваемом мёртвом времени аналитически методом моментов решена задача оценки длительности мёртвого времени.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные алгоритмы оценивания состояний, параметров и длительности мёртвого времени в дважды стохастических потоках событий при их полной либо частичной наблюдаемости (при непродлеваемом и продлеваемом мёртвом времени) могут быть использованы при решении задач анализа и проектирования автоматизированных систем управления, информационно-вычислительных систем, компьютерных сетей и их адаптации к информационным потокам сообщений, а также для обработки результатов физических экспериментов при наличии мёртвого времени регистрирующих приборов. Следует отметить, что полученные результаты дают возможность определить среднее число потерянных сообщений на интервале наблюдения за потоком при наличии мёртвого времени.

Полученные в диссертации результаты могут быть включены в учебный процесс в Томском государственном университете, Новосибирском государственном университете, Сибирском федеральном университете, Российском университете дружбы народов, а также могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских Институтах и проектных организациях, занимающихся исследованием информационно-

телекоммуникационных систем и функционированием в них случайных потоков событий, в частности, в Институте проблем управления РАН, Институте проблем передачи информации РАН, в Институте прикладной математики Дальневосточного отделения РАН.

Работа выполнена в рамках следующих научных проектов:

1) единого заказ-наряда (ЕЗН) министерства общего и профессионального образования РФ на проведение научных исследований в Томском государственном университете на 1997–2000 годы «Разработка алгоритмов оценки параметров и состояний дважды стохастических потоков заявок, циркулирующих в информационно-вычислительных, локально-вычислительных сетях и коммутационных системах», госшифр 1.5.97;

2) единого заказ-наряда (ЕЗН) министерства общего и профессионального образования РФ на проведение научных исследований в Томском государственном университете на 2001–2005 годы «Исследование и разработка моделей высокопроизводительных многопроцессорных систем и методов обеспечения компьютерной безопасности», госшифр 1.2.01;

3) госзадания Рособразования на проведение научных исследований в Томском государственном университете на 2005 год «Разработка математических и программных средств для анализа и обработки информационных потоков в телекоммуникационных сетях», госшифр 15444;

4) госзадания Рособразования на проведение научных исследований в Томском государственном университете на 2006–2008 годы «Исследование вероятностных, статистических и логических моделей информационных потоков в технических, экономических системах и компьютерных системах обработки информации», госшифр 1.22.06;

5) единого заказ-наряда (ЕЗН) Федерального агентства по образованию на проведение научных исследований в Томском государственном университете на 2009–2011 годы «Исследование математических моделей программно-аппаратной передачи, обработки, управления и защиты информации в телекоммуникационных сетях и компьютерных комплексах технических и экономико-социальных систем», госшифр 1.17.09;

6) госзадания Минобрнауки России на проведение научных исследований в Томском государственном университете на 2012–2014 годы «Разработка и исследование вероятностных, статистических и логических моделей компонентов интегрированных информационно-телекоммуникационных систем обработки, хранения, передачи и защиты информации», госшифр 8.4055.2011.

На основе результатов диссертационной работы разработаны курсы лекций образовательных дисциплин «Методы идентификации и оценки параметров телекоммуникационных потоков», «Марковские системы массового обслуживания», «Имитационное моделирование» для бакалавров и магистров факультета прикладной математики и кибернетики НИ ТГУ. Результаты диссертации используются при выполнении курсовых работ бакалаврами и магистрами, при выполнении выпускных квалификационных работ бакалаврами и

магистерских диссертаций магистрами, а также при подготовке кандидатских диссертаций по указанной тематике на факультете прикладной математики и кибернетики НИ ТГУ, о чём свидетельствует акт о внедрении (Приложение А диссертации).

Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций в диссертационной работе Нежелской Л.А. подтверждается корректным применением математического аппарата к доказательству лемм и теорем, представленных в работе, корректностью применяемых методик исследования, согласованностью аналитических результатов для разных моделей исследуемых дважды стохастических потоков между собой, многочисленными статистическими экспериментами, поставленными на имитационных моделях исследуемых потоков при их полной и частичной наблюдаемости, и анализом численных результатов.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации. Автор лично участвовал в построении математических моделей исследуемых дважды стохастических потоков событий при их полной и частичной наблюдаемости, получении всех формул и математических выкладок, доказательстве представленных в диссертационной работе лемм и теорем, разработке алгоритмов имитационного моделирования дважды стохастических потоков событий, проведении статистических экспериментов и анализе полученных численных результатов. Программная реализация имитационной модели асинхронного потока выполнена лично автором. Программная реализация имитационных моделей других потоков, описанных в диссертации, осуществлена учениками автора. Отдельные подходы к решению поставленных в диссертационной работе задач оформились в процессе обсуждения с научным консультантом А.М. Горцевым.

Публикации и апробация результатов исследования. По теме диссертации автором опубликовано 69 работ, в том числе 29 статей в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (из них 2 статьи в зарубежном научном журнале, индексируемом 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, 1 статья в сборнике избранных докладов по итогам Всесибирских чтений по математике и механике, 33 публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций. Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 27 научных и научно-практических конференциях международного и всероссийского уровня.

Правильность оформления диссертации и автореферата, соответствие автореферата диссертации её содержанию. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с принятыми для научных квалификационных работ нормами и требованиями. Автореферат адекватно и в полной мере отражает

основные научные результаты и положения, сформулированные в тексте диссертации. Автореферат содержит краткое изложение материалов диссертационной работы по главам и полностью соответствует содержанию самой диссертационной работы. В автореферате выделены все решаемые в каждой главе задачи и представлены научные результаты.

Замечания по диссертационной работе.

По диссертации имеется несколько замечаний:

1. Кусочно-постоянный случайный процесс $\lambda(t)$, являющийся интенсивностью всех исследованных в работе моделей дважды стохастических потоков событий, имеет два состояния: $\lambda(t)=\lambda_1$ либо $\lambda(t)=\lambda_2$. Хотелось бы рассмотреть подобные задачи оценивания состояний, параметров и длительности мёртвого времени в дважды стохастических потоках событий при полной либо частичной наблюдаемости потоков при произвольном числе состояний случайного процесса $\lambda(t)$.

2. Автором предложена интересная (с использованием преобразования Лапласа) методика оценивания длительности мёртвого времени в рекуррентных синхронном и полусинхронном потоках событий, функционирующих в условиях продлевающегося мёртвого времени. В этой связи автору следовало бы распространить указанный подход на другие модели дважды стохастических потоков событий с продлевающимся мёртвым временем.

3. При нахождении оптимального значения N и интервала наблюдения t в пороговом алгоритме оценивания состояний синхронного потока в подразделе 1.1.3 на стр.35 и полусинхронного потока в подразделе 1.1.4 на стр. 37 автору следовало бы указать, что рассматривается асимптотический случай при $t \rightarrow \infty$.

4. На стр. 173 текста диссертации в формуле (4.3.20) сделана неверная ссылка на параметр Γ , определённый в (4.3.18), а не в (3.4.18), как указано в работе.

Отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку диссертационной работы Нежелской Л.А., в которой получен ряд важных научных результатов по оценке состояний и параметров дважды стохастических потоков событий различных видов. Полученные научные результаты представляют интерес для исследователей в области теории и практики дважды стохастических потоков событий, являющихся математической моделью реальных потоков сообщений в информационных и телекоммуникационных сетях.

Общее заключение. Диссертационная работа Л.А. Нежелской «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), является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения для оптимального оценивания состояний и оценивания

параметров дважды стохастических потоков событий различных видов, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в теории дважды стохастических потоков событий. Диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор Нежелская Людмила Алексеевна заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по указанной специальности.

Отзыв составил заведующий лабораторией №17 автоматизированных систем массового обслуживания и обработки сигналов Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, доктор технических наук Фархадов Маис Паша оглы. Отзыв обсуждён и одобрен на расширенном семинаре лабораторий № 17, 69 Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, протокол №17-02 от 14 февраля 2017 г.

Заведующий лабораторией №17
автоматизированных систем массового
обслуживания и обработки сигналов
ИПУ РАН, доктор технических наук
(специальность 05.13.15 –
Вычислительные машины, комплексы
и компьютерные сети)



Фархадов Маис Паша оглы

14.02.2017 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова Российской академии наук
Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65
<http://www.ipu.ru>
Тел. (495) 334-89-10, факс (495) 334-93-40
E-mail: dan@ipu.ru