

## Отзыв официального оппонента

на диссертацию Ковалёва Ивана Александровича «Получение оценок и построение предельных характеристик для некоторых систем массового обслуживания с особенностями», представленную к защите в диссертационном совете ПДС 0200.006 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика».

### Актуальность темы диссертационной работы.

Исследования в области теории массового обслуживания помогают оптимизировать работу онлайн-сервисов и улучшить качество обслуживания пользователей, что особенно важно в условиях повышенного спроса на удаленные услуги. Кроме того, моделирование систем массового обслуживания может помочь в решении проблем логистики и доставки товаров. В связи с этим, изучение марковских моделей и других методов теории массового обслуживания является необходимым для эффективного управления потоками данных и становится более актуальным.

Представленная научная работа посвящена решению научной задачи — получению явных, по возможности точных, оценок скорости сходимости и устойчивости, построению предельных характеристик для некоторых новых систем массового обслуживания с особенностями. В работе исследованы новые нестационарные модели систем массового обслуживания:

- типа  $M/M/1$  с отказами, катастрофами, сбоями и ремонтами сервера;
- с одним сервером, специальными групповыми поступлениями требований и специальной политикой пропуска очереди;
- с одним сервером, специальными групповыми поступлениями требований, специальной политикой пропуска очереди и катастрофами;
- с групповым поступлением и групповым обслуживанием требований с управлением, зависящим от состояния;
- с нетерпеливыми клиентами;
- с эластичным трафиком и нестационарной интенсивностью.

Для перечисленных моделей получены новые оценки скорости сходимости и устойчивости. Показано применение этих оценок для построения основных предельных характеристик конкретных систем с заданными периодическими функциями интенсивностей поступления и обслуживания требований.

Также для системы массового обслуживания с одним сервером, специальными групповыми поступлениями требований и специальной политикой пропуска очереди получены

- оценки мощности сервера и мощности потока, при которой среднее число требований в системе не превышает заданного числа;
- границы интенсивности обслуживания и интенсивности поступления требований, чтобы среднее оставалось в заданных границах.

### **Характеристика содержания диссертационной работы.**

Во введении проведен анализ рассматриваемых задач и предыдущих исследований. Первая глава диссертации носит вспомогательный характер, в ней приведены основные определения и факты, связанные с рассматриваемыми далее моделями и линейными дифференциальными уравнениями с ограниченным оператором в пространствах последовательностей.

В работе изучены новые системы массового обслуживания с помощью метода, основанного на применении логарифмической нормы линейной операторной функции и специальных преобразованиях редуцированной матрицы интенсивностей цепи Маркова.

Во второй главе рассмотрена система массового обслуживания типа  $M_1/M_1/1$  с отказами, катастрофами, сбоями и ремонтами сервера. Описаны два подхода получения оценок.

В третьей главе рассматривается модель массового обслуживания с одним сервером, специальными групповыми поступлениями требований и специальной политикой пропуска очереди.

В четвертой главе исследуется модель массового обслуживания с одним сервером, специальными групповыми поступлениями требований и специальной политикой пропуска очереди при наличии катастроф.

В пятой главе исследованы модели с групповым поступлением и групповым обслуживанием требований с управлением, зависящим от состояния, система с нетерпеливыми заявками и система с эластичным трафиком и нестационарной интенсивностью входящего потока.

Для случайного процесса, описывающего число требований в исследуемых системах, получены оценки скорости сходимости к предельному режиму и предельному среднему, а также оценки устойчивости. Для модели из главы три сформулированы утверждения об "управлении" интенсивностями поступления и обслуживания требований. В каждой главе исследованы примеры нахождения оценок скорости сходимости и



устойчивости, а также построения основных предельных характеристик для конкретных систем обслуживания с периодическими интенсивностями.

В заключении сформулированы основные полученные в диссертационной работе результаты.

В приложении описан результат разработки программы, с помощью которой реализовано построение предельных характеристик рассмотренных моделей.

**Достоверность и новизна.** Основные научные результаты, полученные в диссертации, являются новыми и заключаются в следующем. Для процессов, описывающих число требований в системе

- типа  $M_t/M_t/1$  с отказами, катастрофами, сбоями и ремонтами сервера;
- с одним сервером, специальными групповыми поступлениями требований и специальной политикой пропуска очереди;
- с одним сервером, специальными групповыми поступлениями требований, специальной политикой пропуска очереди и катастрофами;
- с групповым поступлением и групповым обслуживанием требований с управлением, зависящим от состояния;
- с нетерпеливыми клиентами;
- с эластичным трафиком и нестационарной интенсивностью

получены новые оценки скорости сходимости к предельному режиму и предельному среднему, оценки устойчивости. Для системы массового обслуживания с одним сервером, специальными групповыми поступлениями требований и специальной политикой пропуска очереди

получены оценки мощности сервера и мощности потока, при которой среднее число требований в системе не превышает заданного числа;

границы интенсивности обслуживания и интенсивности поступления требований, чтобы среднее оставалось в заданных границах.

Все результаты работы строго доказаны с помощью соответствующего математического аппарата теории дифференциальных уравнений, теории вероятностей и случайных процессов.

**Практическая значимость.** Описанные подходы могут быть полезны в моделировании потоков информации, связанных с высокопроизводительными вычислениями, создании стохастических моделей телекоммуникационных систем, популяционных моделей в биологии и других отраслях.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.**

Все приведенные в диссертации оригинальные утверждения сопровождаются подробными доказательствами, которые были своевременно опубликованы в научных журналах, индексируемых в ВАК РФ, Scopus и Web of Science. Эти результаты были своевременно и достаточно полно представлены на международных конференциях.

#### **Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.**

Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

#### **Недостатки работы.**

В диссертации имеется ряд недостатков:

1. В постановке задачи (раздел 2.1) не дано четкого определения катастрофы и сбоя, а также не разъяснен смысл индекса  $i$  функции  $\gamma_i(t)$ , хотя далее из контекста ясно, что параметр катастроф зависит от текущего числа заявок в системе.
2. Следовало бы описать алгоритм, использующийся для построения вероятностных характеристик моделей (в частности, раздел 2.4).
3. В численных результатах главы 2 исследованы лишь случаи функций  $\gamma_i(t)$ , не зависящих от  $i$ , и случай, когда сбои происходят лишь в пустой системе. Следовало бы также привести примеры для более общего случая.
4. На стр. 40 "значение  $t_0$ , гарантирующее сходимость решения...", следует добавить, что сходимость гарантируется с заданной точностью. Не указано также, каким образом выделяется значение  $t^*$ , задающее временной интервал для предельного режима с заданной точностью.
5. В численных примерах, в частности, для рис. 2.4 не указано, каким образом осуществляется аппроксимация предельного среднего  $E(t, k)$ .
6. Не хватает библиографических ссылок на доказательства теорем главы 1, которые ложатся в основу основных результатов диссертации.

Однако, следует заметить, что указанные недостатки не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе.

#### **Заключение.**

Диссертационное исследование Ковалёва Ивана Александровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи получения оценок скорости сходимости, устойчивости и построение предельных



характеристик для некоторых новых систем массового обслуживания с особенностями. Получены новые результаты, представляющие как теоретический, так и практический интерес. Результаты, выносимые на защиту, являются новыми, теоретически обоснованными и подтверждены вычислительными экспериментами. Публикации автора подтверждают высокую степень апробации работы, как на различных конференциях, так и в российской и зарубежной печати. Содержание диссертации достаточно полно отражено в автореферате. Диссертант в достаточной степени продемонстрировал владение техникой математического анализа нестационарных марковских процессов и умение строить соответствующие вычислительные алгоритмы.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук согласно п.2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного Ученым советом РУДН протокол № №УС-12 от 03.07.2023г., а ее автор, Ковалёв Иван Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика».

Официальный оппонент:

ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, д. ф.- м. н. (05.13.18 -"Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ")

Семёнова Ольга Валерьевна



«26» 08 2024 г.

Подпись О.В. Семёновой заверяю.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем управления» им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН)

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65

Тел.: +7 495 334-89-10

Электронная почта: [ipu@ipu.ru](mailto:ipu@ipu.ru)

