

(ознакомительный фрагмент)

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 519.2

БОЯРОВИЧ
Юлия Сигизмундовна

**СТАЦИОНАРНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЕТЕЙ
МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С НЕСТАНДАРТНЫМИ
ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.01.05 — теория вероятностей
и математическая статистика

Минск, 2010

Работа выполнена в учреждении образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Научный руководитель – Малишковский Юрий Владимирович,
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой экономической
кибернетики и теории вероятностей
УО «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины».

Официальные оппоненты: Клименок Валентина Ивановна,
доктор физико-математических наук, доцент,
главный научный сотрудник
научно-исследовательской лаборатории
прикладного вероятностного анализа
Белорусского государственного университета;

Мирская Елена Ивановна,
кандидат физико-математических наук, доцент,
декан факультета довузовской подготовки
УО «Брестский государственный университет
имени А.С. Пушкина».

Опонирующая организация – Учреждение образования «Гродненский
государственный университет
имени Янки Купаль».

Защита состоится 14 мая 2010 г. в 10.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.07 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8 (юридический факультет), ауд. 407. Телефон ученого секретаря – (017) 209-57-09.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «1» апреля 2010 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
доктор физико-математических наук,
профессор

И.В. Лазакович

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время достаточно актуальной является проблема исследования сетей массового обслуживания с групповыми перемещениями заявок, а также сетей, в которых приборы либо заявки являются частично ненадежными. Большой интерес для исследователей представляют характеристики стационарного функционирования таких сетей, в частности вид стационарного распределения. Результаты, полученные для таких сетей массового обслуживания, могут найти широкое применение при описании и исследовании реальных сетей.

При исследовании сетей с групповыми перемещениями заявок возникают существенные математические трудности, не позволяющие, вообще говоря, находить стационарное распределение вероятностей состояний. Поэтому весьма актуальной является задача нахождения указанного распределения в конкретном виде, например, в виде произведения геометрических или смещенных геометрических распределений.

Существенный вклад в изучение сетей с групповыми перемещениями заявок внесли Х. Чао, М. Пинедо, Д. Шоу, Е. Геленбе, У. Хендерсон, Ю.В. Малинковский, А.Н. Дудин, П.Г. Тейлор, М. Миязава, А. Экономоу и др. Исследованию сетей с ненадежными заявками посвящены работы Г. Тициашвилли, М.А. Осиповой и др.

Х. Чао, М. Пинедо и Д. Шоу (1996) исследовали сеть массового обслуживания с групповыми перемещениями заявок, для которой было показано, что при введении некоторых ограничений на матрицу маршрутизации стационарное распределение вероятностей состояний имеет форму произведения геометрических распределений. Результаты, полученные для этой сети, были обобщены М. Миязавой и У. Вульфом на случай произвольного распределения времени обслуживания.

В 1997 году выходит работа М. Миязавы и П.Г. Тейлора, посвященная исследованию открытых сетей массового обслуживания с групповым поступлением, групповым обслуживанием и ограничениями на входящий поток, которая явилась обобщением существующих к тому времени работ для сетей с групповыми перемещениями заявок на случай, когда передаваемые группы могли изменять свой размер в соответствии с марковской функцией маршрутов (ассамблебно-трансферное групповое обслуживание).

А. Экономоу (2002) исследовал систему массового обслуживания с ординарным поступлением и групповым обслуживанием заявок. Автором были найдены условия, при которых стационарное распределение вероятностей состояний является смещенным геометрическим распределением.

Анализируя существующие работы по сетям массового обслуживания с

групповыми перемещениями, можно сделать вывод, что в настоящий момент достаточно актуальным является вопрос нахождения условий, при которых стационарное распределение имеет заданный вид. В процессе нахождения необходимых и достаточных условий существования стационарного распределения в заданном виде авторы накладывают ряд ограничений на параметры сетей. Таким образом, большой интерес представляет проблема выбора параметров, на которые накладываются ограничения. Поэтому в настоящей диссертационной работе большое внимание уделяется исследованию подобных ограничений, в частности, для некоторых рассмотренных сетей с групповыми перемещениями удалось избежать ограничений на входящий поток и матрицу маршрутизации вследствие введения дополнительного режима обслуживания. В работе приводятся примеры сетей с ограничениями на интенсивности переходов, такие ограничения позволяют существенно упростить процесс нахождения стационарного распределения в виде произведения геометрических распределений.

Таким образом, для сетей с групповыми перемещениями заявок большой интерес представляют условия существования, а также вид стационарного распределения. Проблеме нахождения необходимых и достаточных условий, при которых стационарное распределение вероятностей состояний сетей массового обслуживания с нестандартными перемещениями имеет форму произведения геометрических распределений и посвящена предлагаемая работа.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Диссертационная работа связана с научными программами учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» и является частью следующих тем:

- государственной программы фундаментальных исследований “Исследование основных математических структур и проблем математического моделирования” (задание “Методы исследования сетей массового обслуживания”) – 2004/2005 г.г., ГБЦМ 01-53Ф, № госрегистрации 20011312;
- государственной программы фундаментальных исследований “Математические модели” (задание “Математические модели стохастических сетей”) – с 2006 г. по настоящее время, ГБЦМ 06-33, № госрегистрации 20061474.

Цель и задачи исследования

Целью работы является нахождение необходимых и достаточных условий существования стационарного распределения сетей массового обслуживания

с нестандартными перемещениями заявок в форме произведения геометрических распределений. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1) Для открытой экспоненциальной сети массового обслуживания с групповым поступлением положительных и отрицательных заявок и групповым обслуживанием устанавливаются необходимые и достаточные условия существования стационарного распределения в форме произведения геометрических распределений.

2) Для открытых и замкнутых экспоненциальных сетей массового обслуживания с групповыми перемещениями заявок и ограничениями на интенсивности переходов устанавливаются необходимые и достаточные условия существования стационарного распределения в форме произведения геометрических распределений.

3) Для открытых экспоненциальных сетей массового обслуживания, в которых либо приборы, либо заявки являются частично ненадежными, устанавливаются необходимые и достаточные условия существования стационарного распределения в форме произведения геометрических распределений.

Объектом исследования являются марковские процессы изменения состояний открытых и замкнутых сетей с нестандартными перемещениями заявок.

Предметом исследования является стационарное распределение вероятностей состояний открытых и замкнутых сетей с нестандартными перемещениями заявок.

В работе использовались методы математического анализа, теории вероятностей, теории марковских процессов, теории сетей массового обслуживания. Исследования основывались на методе обращения времени марковского процесса и методе локального баланса.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Стационарное распределение открытой экспоненциальной сети массового обслуживания с групповым поступлением положительных и отрицательных заявок и ассамблейно-трансферным групповым обслуживанием имеет форму произведения геометрических распределений.

2. Стационарное распределение открытых и замкнутых экспоненциальных сетей массового обслуживания с нестандартными перемещениями заявок и ограничениями на интенсивности переходов имеет форму произведения геометрических распределений.

3. Стационарное распределение открытых экспоненциальных сетей массового обслуживания с частично ненадежными приборами либо частично ненадежными заявками имеет форму произведения геометрических распределений.

Личный вклад соискателя

Все результаты, приведенные в диссертации, получены автором самостоятельно. В совместных работах постановка задач и обсуждение результатов принадлежит научному руководителю, вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертации результатов.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации докладывались на:

– XIX Международной научной конференции “Математические методы повышения эффективности информационно-телекоммуникационных сетей”, (г.Гродно, учреждение образования «Гродненский государственный университет им. Я. Кулалы», 29 января – 1 февраля 2007 г.);

– Международной научной конференции “Теория вероятностей, случайные процессы, математическая статистика и приложения”, (г.Минск, учреждение образования «Белорусский государственный университет», 15 – 19 сентября 2008 г.);

– X Белорусской математической конференции, (г.Минск, учреждение образования «Белорусский государственный университет», 3 – 7 ноября 2008 г.);

– XX Международной научной конференции “Современные математические методы анализа и оптимизации информационно - телекоммуникационных сетей”, (г.Минск, учреждение образования «Белорусский государственный университет», 26 – 29 января 2009 г.);

– XII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов “Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях”, (г. Гомель, учреждение образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», 16 – 18 марта 2009 г.);

– Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 40-летию со дня реорганизации Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины, (г. Гомель, учреждение образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», 11 июня 2009 г.);

– VI Международной научной конференции “Математические методы в теории надежности”, (г. Москва, учреждение образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина», 22 – 29 июня 2009 г.);

Кроме того, результаты работы регулярно докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры экономической кибернетики и теории вероятностей учреждения образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины» (2005-2009 г.г.).

Опубликованность результатов

Результаты диссертационных исследований опубликованы в 14 научных работах. Среди них 5 статей в научных журналах, соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общим объемом 2 авторских листа), 1 статья в российском рецензируемом журнале, 1 статья в сборнике научных трудов, 5 статей в сборниках материалов научных конференций, 2 тезисов. Без соавторов опубликовано 9 работ.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка, содержащего 116 наименований, включая публикаций соискателя из 14 наименований. Основные результаты разбиты на главы следующим образом: в главе 2 исследована модель сети с групповым поступлением положительных и отрицательных заявок и групповым обслуживанием; в главе 3 рассмотрены модели сетей, в которых применяются альтернативные подходы в описании процесса обслуживания групп заявок; в главе 4 исследуются модели сетей, в которых либо заявки, либо приборы являются частично ненадежными. Общий объем диссертации составляет 105 страниц, включая библиографический список на 10 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе диссертации приведен краткий обзор литературы по теории сетей массового обслуживания. Указана актуальная задача установления необходимых и достаточных условий существования стационарного распределения в форме произведения геометрических распределений для сетей массового обслуживания с нестандартными перемещениями заявок.

Во второй главе рассматривается открытая сеть массового обслуживания, состоящая из множества узлов $J = \{1, 2, \dots, N\}$. В узлы поступают независимые пуассоновские потоки групп положительных и отрицательных заявок с параметрами λ_i (основные потоки) и λ_i^- соответственно, $i \in J$. В момент времени, когда узел $i \in J$ пуст, в него поступает простейший дополнительный поток группы заявок с интенсивностью λ_i^* . Обслуживание группы – экспоненциальное с параметрами μ_i , $i \in J$. Размеры основных и дополнительных положительных групп, размеры отрицательных групп, а также групп, выбираемых на обслуживание – независимые положительные целочисленные случайные величины с функциями распределения A_i , A_i^* , A_i^- и

ектов, поскольку на практике иногда возникает необходимость обслуживать заявки группами, при этом поступление заявок также может быть групповым. Это определяет актуальность изучения стационарного функционирования сетей с групповыми перемещениями. Также значительный интерес могут представлять сети, где приборы имеют возможность переключения в более экономный режим, позволяя рационально использовать ресурсы прибора, и сети, в которых требования могут некоторое время быть непригодными для обслуживания. Модели сетей с частично ненадежными заявками могут найти отражение при анализе и прогнозировании развития эпидемий в популяциях. Актуальным также является вопрос исследования сетей, в которых требования мгновенно покидают сеть после обслуживания в определенном режиме. Практически это можно интерпретировать как получение заявкой недостаточно качественного обслуживания.

Потенциальная экономическая ценность работы состоит в возможности применения полученных результатов исследований для анализа и оценки эффективности стационарного функционирования реальных сетей. Результаты работы позволяют определять характеристики стационарного функционирования как отдельного узла, так и всей сети в целом.

Подчеркнем, что трактовка рассматриваемых моделей как сетей с нестандартными перемещениями интересна еще и тем, что позволяет обобщить ряд результатов, полученных для сетей массового обслуживания с заявками различных типов, имеющих целый ряд практических приложений.

Результаты исследований применяются в учебной деятельности на математическом факультете учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Малинковский, Ю.В. Характеризация стационарного распределения сетей с групповыми перемещениями положительных и отрицательных заявок в форме произведения геометрических распределений / Ю.В. Малинковский, Ю.С. Боярович // Вестник Гродненского государственного университета им. Я. Купалы. Сер. 2. Математика. Физика. Информатика, вычислительная техника и управление. Биология. – 2007. – Т. 57, № 3. – С. 39–43.

2. Боярович, Ю.С. Стационарное распределение сетей с групповым поступлением и групповым обслуживанием заявок, действующих по принципу количественного приоритета / Ю.С. Боярович // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2007. – Т. 45, № 6. – С. 155–159.

3. Боярович, Ю.С. Стационарное распределение сетей с групповым поступлением положительных и отрицательных заявок и ограниченным групповым обслуживанием / Ю.С. Боярович // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2008. – Т. 50, № 5. – С. 178–181.

4. Боярович, Ю.С. Стационарное распределение замкнутой сети массового обслуживания с групповыми переходами заявок / Ю.С. Боярович // Автоматика и телемеханика. – 2009. – № 11. – С. 80–86.

5. Боярович, Ю.С. Стационарное распределение сетей с групповым поступлением, групповым обслуживанием заявок и блокировкой систем / Ю.В. Малинковский, Ю.С. Боярович // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2009. – Т. 56, № 5. – С. 46–55.

6. Боярович, Ю.С. Стационарное распределение открытой сети массового обслуживания с нестандартными перемещениями заявок / Ю.В. Малинковский, Ю.С. Боярович // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 4. – С. 83–90.

Статьи в сборниках научных трудов

7. Боярович, Ю.С. Стационарное распределение сети с различными типами заявок и непадежными требованиями / Ю.С. Боярович // Теория вероятностей, математическая статистика и их приложения. сб. науч. ст./ Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2009. – Вып. 2. – С. 14–19.

Статьи в сборниках материалов конференций

8. Malinkovsky, Y. Geometric product form stationary distribution for queueing networks with batch movements of positive and negative customers / Y. Malinkovsky, J. Bojarovich // Queues: flows, systems, networks: Proceedings of the International Conference “Mathematical Methods for Increasing Efficiency

of Information 'Telecommunication Networks': Extended Abstracts. Grodno, January 29 – February 1, 2007; Eds. A. Dudin.–Mn.: РИВШ, 2009. – P. 128–133.

9. Боярович, Ю.С. Применение “блокировки” систем в открытых сетях с групповыми перемещениями заявок / Ю.С. Боярович // Теория вероятностей, случайные процессы, математическая статистика и приложения: сборник научных статей междунар. науч. конф. Минск, 15 – 19 сентября 2008 г. / БГУ; редкол.: Н.Н. Труш (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2008. – Вып. 19. – С. 13–16.

10. Боярович, Ю.С. Открытая сеть массового обслуживания с групповыми перемещениями заявок и блокировкой систем / Ю.С. Боярович // Массовое обслуживание: потоки, системы, сети: материалы междунар. науч. конф. “Современные матем. методы анализа и оптимизации информационно - телекоммуникационных сетей”. Минск, 26 – 29 января 2009 г. / БГУ; редкол.: А.Н. Дудин (отв. ред.) [и др.]. – Минск: РИВШ, 2009. – Вып. 19. – С. 24–29.

11. Малинковский, Ю.В. Стационарное распределение открытой сети массового обслуживания с нестандартными перемещениями заявок / Ю.В. Малинковский, Ю.С. Боярович // Материалы юбилейной научно-практической конференции, посвященной 40-летию со дня реорганизации Гомельского государственного университета им. Ф.Скорины, Гомель, 11 июня 2009 г. / ГГУ им. Ф.Скорины; редкол.: О.М. Демиденко [и др.]. – Гомель, 2009. – С. 149–151.

12. Wojarovich, J. Open queueing network with batch transfers and partly unreliable systems / J. Wojarovich // MMR 2009 – Mathematical Methods in Reliability: Theory. Methods. Applications. VI International Conference: Extended Abstracts. Moscow, 22–29 June, 2009; Eds N. Kuznetsov, V.Rykov. – M.: PFUR, 2009. – P. 564–567.

Тезисы докладов конференций

13. Боярович, Ю.С. Применение “блокировки” систем массового обслуживания в сетях с групповыми перемещениями заявок / Ю.С. Боярович // X Белорусская математическая конференция: Тез. Докл. Междунар. Науч. Д 37 конф. Минск, 3-7 ноября 2008г.: в 5 ч. / Институт математики НАН Беларуси. – Мн., 2008. – Ч. 5. – С. 3–4.

14. Боярович, Ю.С. Влияние “блокировки” систем массового обслуживания на взаимосвязь процессов поступления и обслуживания заявок / Ю.С. Боярович // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов, Гомель, 16–18 марта 2009 г. / ГГУ им. Ф.Скорины; редкол.: О.М. Демиденко [и др.]. – Гомель, 2009. – С. 186–187.

РЕЗЮМЕ

Боярович Юлия Сигизмундовна

Стационарное функционирование сетей массового обслуживания с нестандартными перемещениями

Ключевые слова: сети массового обслуживания, групповые перемещения заявок, интенсивности переходов, уравнения трафика, стационарное распределение, эргодичность, режимы обслуживания.

Объект исследования – марковские процессы изменения состояний открытых и замкнутых сетей с нестандартными перемещениями заявок. Предмет исследования – стационарное распределение вероятностей состояний открытых и замкнутых сетей с нестандартными перемещениями заявок.

Цель работы – поиск необходимых и достаточных условий существования стационарного распределения сетей массового обслуживания с нестандартными перемещениями в форме произведения геометрических распределений.

В работе использовались методы математического анализа, теории вероятностей, теории марковских процессов, теории массового обслуживания. Исследования основывались на методе обращения времени марковского процесса и методе локального баланса.

Получены следующие новые научные результаты:

1. Для открытой экспоненциальной сети массового обслуживания с групповыми перемещениями положительных и отрицательных заявок установлены необходимые и достаточные условия существования стационарного распределения в форме произведения геометрических распределений.

2. Для открытых и замкнутых экспоненциальных сетей массового обслуживания с групповыми перемещениями заявок и ограничениями на интенсивности переходов установлены необходимые и достаточные условия существования стационарного распределения в форме произведения геометрических распределений.

3. Для открытых экспоненциальных сетей массового обслуживания, в которых либо приборы, либо заявки являются частично ненадежными, установлены необходимые и достаточные условия существования стационарного распределения в форме произведения геометрических распределений.

Все полученные результаты новые. Работа носит теоретический характер. Практическая значимость результатов определяется возможностью применения их к достаточно широкому классу задач при проектировании, моделировании, эксплуатации, а также анализе эффективности функционирования реальных сетей с нестандартными перемещениями заявок.

РЭЗІЮМЭ

Баяровіч Юлія Сігізмундаўна

Стацыянарнае функцыянаванне сетак масавага абслугоўвання з
нестандартнымі перамяшчэннямі

Ключавыя словы: сеткі масавага абслугоўвання, групавыя перамяшчэнні заявак, інтэнсіўнасці пераходаў, раўнанні трафіку, стацыянарнае размеркаванне, эргадычнасць, рэжымы абслугоўвання.

Аб'ект даследавання – маркаўскія працэсы змянення станаў адчыненых і замкнёных сетак з нестандартнымі перамяшчэннямі заявак. Прадмет даследавання – стацыянарнае размеркаванне імавернасцяў станаў адчыненых і замкнёных сетак з нестандартнымі перамяшчэннямі заявак.

Мэта работы – пошук неабходных і дастатковых умоў існавання стацыянарнага размеркавання сетак масавага абслугоўвання з нестандартнымі перамяшчэннямі ў форме здабытку геаметрычных размеркаванняў.

У рабоце ўжываліся метады матэматычнага аналізу, тэорыі імавернасцяў, тэорыі маркаўскіх працэсаў, тэорыі масавага абслугоўвання. Даследаванні асноўваліся на метадзе звароту часу маркаўскага працэсу і метадзе лакальнага балансу.

Атрыманы наступныя новыя навуковыя вынікі:

1. Для адчыненай экспаненцыяльнай сеткі масавага абслугоўвання з групавымі перамяшчэннямі станоўчых і адмоўных заявак усталяваны неабходныя і дастатковыя ўмовы існавання стацыянарнага размеркавання ў форме здабытку геаметрычных размеркаванняў.

2. Для адчыненых і замкнёных экспаненцыяльных сетак масавага абслугоўвання з групавымі перамяшчэннямі заявак і абмежаваннямі на інтэнсіўнасці пераходаў усталяваны неабходныя і дастатковыя ўмовы існавання стацыянарнага размеркавання ў форме здабытку геаметрычных размеркаванняў.

3. Для адчыненых экспаненцыяльных сетак масавага абслугоўвання, у якіх прыборы або заяўкі з'яўляюцца часткова ненадзейнымі, усталяваны неабходныя і дастатковыя ўмовы існавання стацыянарнага размеркавання ў форме здабытку геаметрычных размеркаванняў.

Усе атрыманыя вынікі з'яўляюцца новымі. Работа мае тэарэтычны характар. Практычнае значэнне атрыманых вынікаў вызначаецца магчымасцю іх выкарыстання ў дастаткова шырокім класе задач пры практаванні, мадэляванні, эксплуатацыі, а таксама аналізе эфектыўнасці функцыянавання рэальных сетак з нестандартнымі перамяшчэннямі заявак.

SUMMARY

Julia S. Bojarovich

Stationary functioning of queueing networks with non standard removals.

Keywords: queueing networks, batch customer transfers, intensities of transition, traffic equations, stationary distribution, ergodicity, service regimes.

The object of the study – marcov processes of conditions change of open and closed networks with non standard customer removals. The subject of the study – stationary distribution of condition probabilities of open and closed networks with non standard customer removals. The purpose of the work - searching of necessary and sufficient conditions of geometric product - form stationary distribution existence for queueing networks with non standard customer removals.

We used methods of mathematical analysis, the theory of probability, Marcov process theory, queueing theory. Our research is based on the reverse-time marcov process method and local-balance method.

Following new scientific results are recived:

1. For the open exponential queueing network with batch transitions of positive and negative customers we established necessary and sufficient conditions of geometric product - form stationary distribution existence.

2. For open and closed exponential queueing networks with batch transfers and transition intensities restrictions we established necessary and sufficient conditions of geometric product - form stationary distribution existence.

3. For open exponential queueing networks with partly unreliable systems or partly unreliable customers we established necessary and sufficient conditions of geometric product - form stationary distribution existence.

All results are new.

The work has theoretical nature. Practical significance of obtained results is defined by possibility of using it to the wide class of problems during projecting, modeling, exploitation and functioning analysis of real queueing networks with non standard removals.

