

## Вопросы управления структурой инфокоммуникационных сетей специального назначения

### Problems of special purpose infocommunication network structure management

**Легков / Legkov K.**

Константин Евгеньевич  
(constl@mail.ru)

кандидат технических наук.  
ФГКВООУ ВПО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ (ВКА им. А.Ф. Можайского),  
заместитель начальника кафедры «Технологий и средств технического обеспечения и эксплуатации автоматизированных систем управления».  
г. Санкт-Петербург

**Буренин / Burenin A.**

Андрей Николаевич  
(HESres@yandex.ru)

кандидат технических наук, доцент.  
ВКА им. А. Ф. Можайского,  
доцент кафедры «Технологий и средств технического обеспечения и эксплуатации автоматизированных систем управления».  
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: модель – model; инфокоммуникационная система – infocommunication system; управление структурой – structure management; прикладные процессы – applied processes; уровневая сеть – tier network.

В статье рассматриваются вопросы создания модели управления структурой инфокоммуникационных сетей специального назначения (ИКС СН) на основе использования элементов услуги общей управляющей информации. Показано, что управляющие решения по структуре вырабатываются на имитационной модели ИКС СН, которая создается на основе полного морфологического описания сетей в ее составе.

Some problems of creation of the model of special purpose infocommunication network structure management (SP ICS) based on use of common control information service elements are considered in the article. It is shown that management solutions regarding the structure are developed using SP ICS simulation model, which is created on the basis of complete morphological description of networks in its structure.

В настоящее время в рамках различных систем специального назначения (СН) выделяются структуры, предназначенные для своевременного удовлетворения потребностей пользователей в санкционированных информационных и телекоммуникационных услугах. В качестве таких структур обоснованно планируется развертывание так называемых инфокоммуникационных сетей (ИКС) на базе современных технических, технологических и организационных решений [1–3]. При этом целесообразно модель ИКС СН задать

совокупностью уровневых сетей услуг  $Netw_i$  (соответственно для инфраструктурного  $i = 1$ , промежуточного  $i = 2$  и базового  $i = 3$  уровней), каждая из которых может быть описана неориентированным регулярным графом без петель  $G_i(N_i, L_i)$ ,  $i = 1, 2, 3$  со множеством вершин (узлов)  $N_i$  и множеством ветвей (линий связи)  $L_i = \{l_{ikj}\}$ , соединяющих вершины.

Каждой ветви  $l_{ikj}$ , соединяющей  $k$ -ю и  $j$ -ю вершины  $i$ -уровневой сети ИКС СН, ставится в соответствие значение ее пропускной способности, равной скорости передачи информации  $v_{ikj}$  при информационном обмене при получении  $z_i$  услуг, которая, в общем виде, зависит от управления структурой всей ИКС СН  $u_s$  и уровневой сети  $u_{s_i}$ .

Предполагается, что на каждую уровневую сеть  $Netw_i$  ИКС СН поступает многомерный пуассоновский поток требований на получение услуг с параметром  $\Lambda_i = \{\lambda_{ikj}\}$ , а время, на которое требование потока занимает виртуальный канал (с учетом времени получения самой услуги), распределено по произвольному закону

$f_i(t)$  с параметром  $\mu_i = \left[ \int_0^{\infty} t f_i(t) dt \right]^{-1}$ , одинаковым для

всех потоков  $i$ -го уровня ИКС СН [4–8]. Считаем, что задан список возможных путей в  $Netw_i$  к соответствующим серверам уровневой сети, предоставляющим услуги. В этом случае вероятности соответствующих состояний обслуживания потока требований  $\Lambda_i$  на получение уровневой услуги можно задать следующим образом:

$$P_{ikj}(n) = \lambda_{ikj} \left[ \int_0^{\infty} t f_i(t) dt \right] (n!)^{-1} P_{ikj}(0), \quad (1)$$

где

$$P_{ikj}(0) = \left[ 1 + \lambda_{ikj} \int_0^{\infty} t f_i(t) dt \right] + \lambda_{ikj}^2 \left[ \int_0^{\infty} t f_i(t) dt \right]^2 (2!)^{-1} + \dots$$

$$\dots + \lambda_{ikj}^n \left[ \int_0^{\infty} t f_i(t) dt \right]^n (n!)^{-1}$$

Каждая уровневая сеть  $Netw_i$  ИКС СН в целом является динамической средой. Внутри каждой сети постоянно происходят изменения. Коммутаторы, мультиплексоры, модемы, сервера услуг, другие средства функционируют с разной производительностью, и их взаимодействие друг с другом меняется. Отдельные элементы уровневой сети выходят из строя, ремонтируются и восстанавливаются. Число пользователей министерств, ведомств или корпораций может меняться. Оборудование уровневых сетей обновляется, устанавливаются новые средства и более производительные серверные комплексы и коммутационное оборудование.

Отдельные средства могут работать неправильно, нарушая работу всей ИКС СН. Конкретный сервер услуг, коммутатор или маршрутизатор (криптомаршрутизатор) может быть удален как узел из уровневой сети из-за неисправности аппаратного или программного обеспечения вследствие атаки. Если неисправность временная, то обычно его можно удалить только логически, пометив как недоступный элемент уровневой сети, что соответствует ее реконфигурации.

При управлении структурой уровневых сетей ИКС СН осуществляются следующие функции (измене-

нием МІВ конкретной уровневой сети):

- идентификация любого объекта управления и назначение имени объекту;
- определение любого нового объекта управления;
- установка начальных значений для атрибутов объектов;
- управление взаимодействием объектов управления;
- изменение оперативных характеристик объекта управления и информирование о любых изменениях в состояниях объектов;
- удаление объекта управления;
- ввод в действие объекта управления с организацией его связей с другими объектами.

Модели управления структурой включают модели ИКС СН (ее сетей), заложенные в прикладных процессах управления, и модели инфокоммуникационной поддержки этих процессов, стандартизованные в документах МСЭ-Т и ИСО.

В моделях управления структурой уровневой сети ИКС СН целесообразно использовать элементы услуги общей управляющей информации (рис. 1).

Услуги M-CREATE и M-DELETE используются для создания и удаления объектов управления уровневой сети таких как резервный канал, восстановление замененного сервера, коммутатора, маршрутизатора, модема и т.д. Услуги M-GET и M-SET используются для восстановления и изменения информации сетевого управления. Услуги M-EVENT-REPORT используются для сообщений о событиях, таких как сообщения о статусе конфигурации в сервере услуг, АТС, коммутационном комплексе узла уровневой сети и т.д.

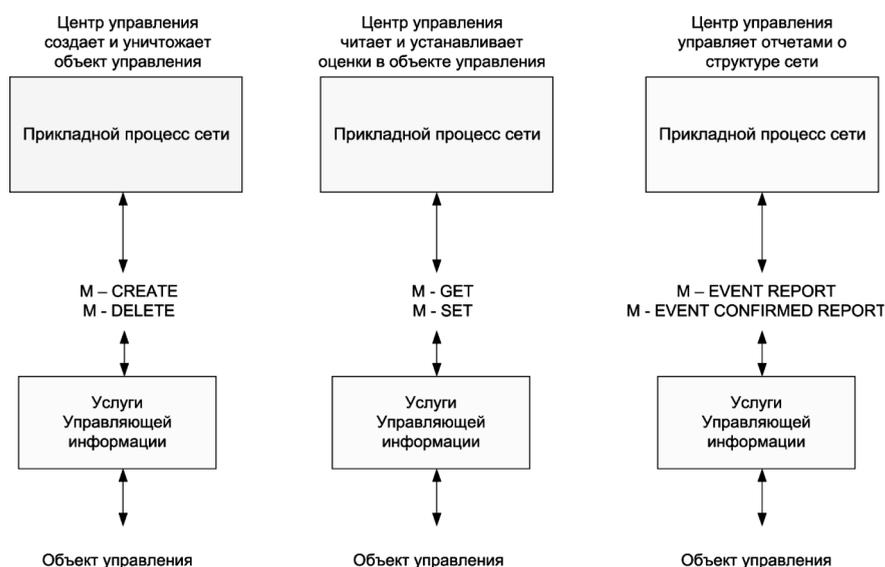


Рис. 1. Использование услуг управляющей информации для управления структурой ИКС СН

Прикладной процесс уровневой сети ИКС СН представляет программное обеспечение, записанное в соответствии со стандартом управления структурой. При этом действия по управлению структурой ИКС СН вызываются через другой уровень программного обеспечения, посылающий транзакции (примитивы сетевого приложения управления).

При управлении структурой каждой уровневой сети ИКС СН определены основные характеристики состояний объектов управления и допустимые переходы между этими состояниями (рис. 2).

Целесообразно выделить следующие рабочие состояния:

- разрешенное состояние: ресурс объекта управления не используется, но он работоспособен и доступен;
- запрещенное состояние: ресурс недоступен или зависит от другого источника, который недоступен;
- активное состояние: ресурс доступен для использования и имеет возможность принять на обслуживание другой источник;
- занятое состояние: ресурс доступен, но не имеет свободной емкости (пропускной способности) для дополнительных услуг.

Допустимые рабочие состояния (рис. 2) не обязательны для всех объектов управления. Некоторые объекты не ограничены по числу субъектов, которые могут одновременно использовать этот объект. В этом случае объект управления не может быть в занятом состоянии. Кроме того, объект управления не может находиться в запрещенном состоянии, если это не влияет на другие объекты управления, т.е. это состояние несущественно.

Переход в разрешенное состояние обеспечивают средства, которые делают объект управления действующим. Действия типа замены сервера, коммутатора, маршрутизатора или вышедшего из строя одного порта, устранение дефекта программного обеспечения и т.д. могут перевести объект в действующее состояние. Следует отметить, что переход "разрешать" может иметь место тогда, когда рабочее состояние объекта было запрещенным. Однако и некоторые другие действия позволяют объекту переходить в разрешенное состояние. Например, субъект может завершить работу с объектом, не используя коллективный доступ, что переводит объект из занятого состояния в разрешенное.

Запрещенное состояние имеет место тогда, когда объект управления объявлен неработоспособным. Например, компонент уровневой сети ИКС СН может иметь параметры выше допустимого порога (например, число сбойных ситуаций или температура коммутатора, сервера), неприемлемого для системы управления уровневой сетью. Объект управления может быть объявлен запрещенным из любого рабочего состояния (объект может быть объявлен запрещенным вторично, потому что зафиксирована другая неисправность). Это может происходить во многих компонентах уровней сетей ИКС СН.

Действие «завершение работы» позволяет объекту управления переходить из занятого к неактивному состоянию или из активного к разрешенному состоянию, потому что это действие не переводит объект управления в запрещенное или неактивное состояние.

При управлении структурой описание трех административных состояний объекта управления следующие (рис.3):

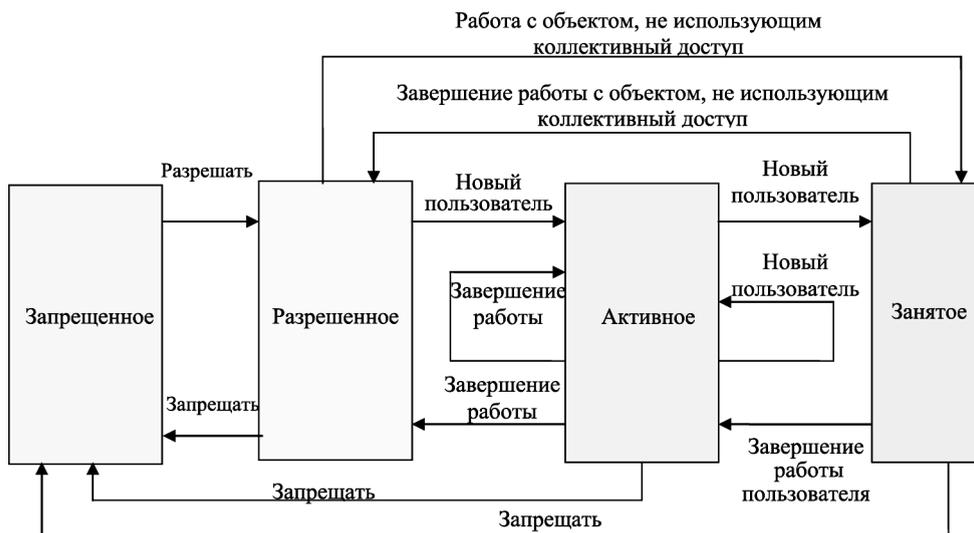


Рис. 2. Взаимосвязь рабочих состояний объектов управления структурой ИКС СН и допустимые переходы между ними

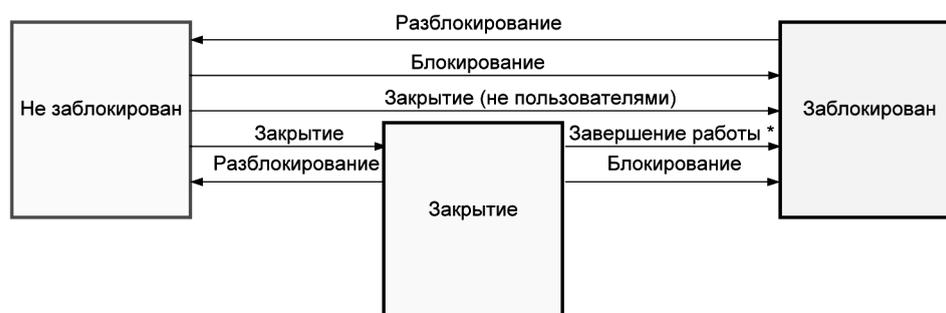


Рис. 3. Административные состояния объектов ИКС СН при управлении ее структурой

- не заблокирован: объект управления может использоваться;
- заблокирован: объект управления не может использоваться;
- закрытие: объект управления может использоваться текущими пользователями, но не может использоваться новыми пользователями.

Некоторые ресурсы не могут быть заблокированы, следовательно, они не могут находиться в заблокированном состоянии. Например, файл-сервер локальной сети ЦУ ведомства или офиса корпорации с доступом только для чтения (read-only) не может быть заблокирован за исключением подмножеств файлов, которые могут быть засекреченными или иметь ограниченный доступ. Кроме того, некоторые ресурсы не могут быть закрытыми, и там нет ситуаций, как «закрытое состояние». Так, административный логический канал в плате коммутатора пакетов должен быть постоянно в разблокированном состоянии, т.к. любое закрытие канала 0 в интерфейсах передачи данных может создать хаос в зависимых логических каналах и соединениях.

Запрещенное заблокированное состояние определяет объект управления, который административно запрещен для использования. Состояние также можно считать запрещенным, если оно связано с определенными проблемами. Для перехода объекта управления в рабочее состояние необходимо провести диагностику, а также некоторые действия, чтобы вначале перевести объект в незаблокированное и разрешенное состояние.

Разрешенный заблокированный объект управления запрещен административно для использования, но в нем нет никаких отказов. Это состояние имеет место в ресурсах, предназначенных для резервирования, которые вводятся в действие, когда отказывают другие разрешенные модули.

Занятый закрытый объект управления действует, но по определенным причинам подсистема управления структурой АСУ ИКС СН закрывает ресурс. Эта ситуация имеет место, когда ресурс ИКС СН должен быть

отключен, или объект имеет малую доступность для пользователей, обращающихся к нему. Обычно переход объекта управления в это состояние обусловлен его недостаточной производительностью.

Запрещенное не заблокированное состояние административно не запрещено для использования, однако ввиду определенных причин фиксируется запрещенное состояние. Это обычно наблюдается при определенных неполадках в программном или аппаратном обеспечении компонентов сетей ИКС СН после воздействия атак противника или нарушителей.

Разрешенное не заблокированное состояние – просто состояние, когда объект управления в рабочем режиме. Следующее активное незаблокированное состояние определяет объект управления, который является действующим, используется и имеет свободную производительность (пропускную способность) для дополнительных пользователей.

Занятый незаблокированный объект управления – это объект, который либо занят, либо работает с максимальной производительностью. В этом состоянии другие пользователи не имеют доступа к объекту управления, пока обслуживаемые им пользователи, не освобождают части или всего ресурса.

Активное закрытие – это состояние объекта управления, когда он в настоящее время доступен и имеет производительность для предоставления новых услуг, но не принимает на обслуживание любого.

Активное незаблокированное состояние – это состояние, в котором объект управления обладает свободной производительностью и может использоваться. На рис. 4 показан один из возможных сценариев для организации управления структурой ИКС СН при необходимости временного введения сегмента сети с коммутатором пакетов (или маршрутизатором) и подключенных к нему пользователям с последующим отключением этого сегмента.

Сначала центр управления сетью ИКС СН открывает магистраль (канал) коммутатору пакетов (марш-

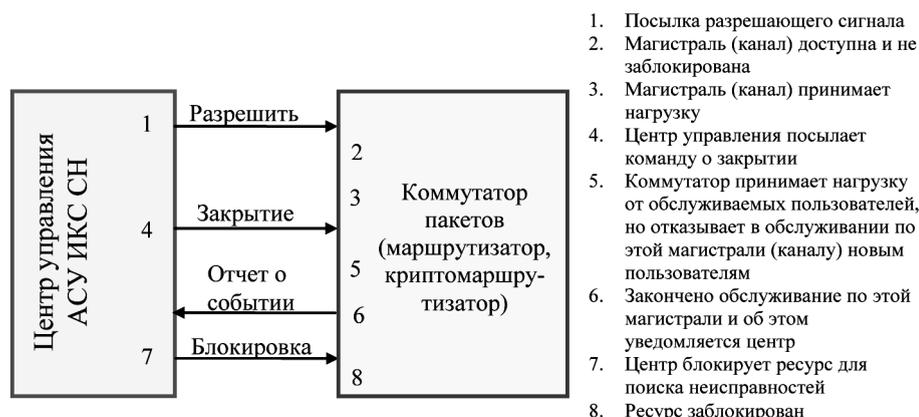


Рис. 4. Возможный сценарий задач управления структурой ИКС СН

рутизатору, криптомаршрутизатору, серверу) путем использования сигнала разрешения управления конфигурацией. Затем предполагается, что магистраль (тракт) находится в активном состоянии и принимает нагрузку. В случае высокой занятости магистрали (тракта), что может быть источником проблем (переполнение буферных накопителей и т.д.), коммутатор извещает об этом центр, который посылает сигнал о закрытии.

Эта директива (команда) определяет в коммутаторе пакетов активное состояние магистрали до тех пор, пока пользователи, которые работают с магистралью, не завершат сеансы связи или до тех пор, пока коммутатор не выдаст преждевременное прекращение из-за неблагоприятной ситуации. Центр посылает команду блокировки, прекращая использование магистрали (тракта), тем самым исключая сегмент из сети в ИКС СН.

Рассмотренных сценариев в процессе функционирования сетей ИКС СН может быть достаточно много. Если ситуация такова, как изображена на рис. 4, то ее ДЛ органа управления ИКС СН может решить самостоятельно. Однако бывают ситуации, когда необходимо рассчитать либо новый участок сети ИКС СН, состоящий из нескольких коммутаторов (маршрутизаторов), либо рассчитать структуру всей ИКС СН в условиях ограниченного ресурса, либо требуется изменить структуру одной сети из состава ИКС СН, так как она не обеспечивает требуемое качество обслуживания пользователей министерств, ведомств или корпораций.

Все эти сложные сценарии требуется реализовывать обоснованно с привлечением определенных моделей, т.е. иметь в составе прикладных процессов управления ИКС СН элементы поддержки принятия обоснованных решений по выбору вариантов новой структуры.

Задачей управления структурой ИКС СН является оптимальная перестройка структуры (в случаях, когда это необходимо: ввод в строй новых или выход

из строя существующих узлов ИКС СН, существенное изменение числа пользователей, старая структура не обеспечивает качественные показатели и т.д.).

При известных зафиксированных конфигурациях уровней сетей  $Netw_i$ , параметрах поступающей нагрузки  $\Lambda_i = \{\lambda_{ikj}\}$ , процедурах обслуживания  $Proc_i$ , оптимальное управление каналами  $u_s^{opt}$  должно обеспечивать минимизацию суммарных отказов в обслуживании в каждой уровневой сети, т.е. выбираться из условия

$$\min O_{\Sigma} = \min_{u_s^{opt}} \sum_{k,j} \lambda_{ikj} P_{ikj}(\Lambda_i, S_i, Proc_i), \quad (2)$$

где  $P_{ikj}$  – вероятность потери требования или отказа в обслуживании  $ikj$ -го потока в уровневой сети  $Netw_i$  с нагрузкой  $\Lambda_i = \{\lambda_{ikj}\}$ , структурой  $S_i$  и процедурах обслуживания  $Proc_i$ .

Для типовой  $Proc_i$  в уровневой сети  $Netw_i$  ИКС СН выражение (2) преобразуется к виду

$$\min O_{\Sigma} = \min_{u_s^{opt}} \sum_{k,j} \lambda_{ikj} P_{ikj}(\Lambda_i, S_i^{opt}), \quad (3)$$

Оптимизация функционала (3) аналитическими методами для сложных современных ИКС СН практически неосуществима, либо сопряжена с непреодолимыми на сегодняшний день вычислительными трудностями. В связи с этим целесообразны другие подходы.

Чтобы оценить тот или иной вариант структуры сети, один из которых будет выбран в качестве окончательного и реализован в процессе управления структурой ИКС СН, необходимо либо иметь возможность рассчитать обоснованные показатели качества обслуживания пользователей для вариантов сети при фиксированных процедурах обслуживания  $Proc_i$  и методах управления потоками требований, сообщений обслуживания, пакетов (кадров, ячеек), либо получить численные значения этих показателей в процессе имитационного



Рис. 5. Применение имитационной модели ИКС СН в контуре АСУ ИКС СН при организации управления ее структурой

моделирования функционирования уровней сетей ИКС СН с разной структурой.

Поэтому, в связи с чрезвычайной сложностью получения аналитических выражений показателей качества обслуживания пользователей для сложных ИКС СН, при создании современных систем управления предпочтение отдается второму подходу. Многоуровневая структура ИКС СН еще сложнее, поэтому целесообразно процессы управления структурой ИКС СН организовывать с применением ее имитационной модели в контуре управления АСУ ИКС СН (рис. 5).

Как правило, имитационная модель ИКС СН создается в рамках специального программного обеспечения сервера оперативно-технического управления АСУ ИКС СН. Должностное лицо центра (пункта) управления АСУ ИКС СН, отвечающее за организацию управления структурой, при необходимости изменения существующей структуры (развитие сети, подключение новых пользователей, изменение дислокации, отключение отдельных сегментов сетей, выход из строя отдельных элементов сетей ИКС СН и т.д.), осуществляет анализ задачи управления, подготавливает (автоматизировано или вручную) возможные варианты структурного построения сетей совместно с данными о нагрузке.

После этого пакет исходных данных выдается в сервер подсистемы оперативно-технического управления для осуществления моделирования и получения оценки параметров функционирования сетей ИКС СН или ИКС СН в целом по каждому из вариантов. Полученные сведения о параметрах подвергаются анализу, в результате которого выбирается наиболее целесообразный вариант структуры, которую необходимо реализовать соответствующими процессами управления.

Таким образом, управляющие решения по структуре вырабатываются на имитационной модели ИКС

СН, которая создается на основе полного морфологического описания сетей в ее составе, обеспечивающего, в совокупности с отображением нагрузки, изоморфность модели объекту управления (ИКС СН).

## Литература

1. Гольдштейн, Б. С. Сети связи пост-NGN / Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 160 с.
2. Буренин, А. Н. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления / А.Н. Буренин, К.Е. Легков. – М.: ООО «ИД Медиа Паблицер», 2015. – 348 с.
3. Буренин, А. Н. К вопросу построения систем управления современными инфокоммуникационными сетями специального назначения / А.Н. Буренин, К.Е. Легков, О.Е. Нестеренко // Научные исследования в космических исследованиях Земли. – 2013. – № 6. – С. 22–28.
4. Легков, К. Е. Модели управления процессами обмена в службе передачи и доставки файлов инфокоммуникационных сетей специального назначения / К.Е. Легков // Научные исследования в космических исследованиях Земли. – 2014. – № 4. – С. 38–43.
5. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок ; пер. с англ. И.И. Грушко ; ред. В.И. Нейман. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
6. Саульев, В. К. Математические методы теории массового обслуживания / В.К. Саульев. – М.: Статистика, 1979. – 96 с.
7. Захаров, Г. П. Методы исследования сетей передачи данных / Г.П. Захаров. – М.: Радио и связь, 1982. – 208 с.
8. Баруча-Рид, А. Т. Элементы теории марковских процессов и их приложения / А.Т. Баруча-Рид. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
9. Климов, Г. П. Стохастические системы массового обслуживания / Г.П. Климов. – М.: Наука, 1966. – 242 с.