

УДК: 355/359.07

DOI: 10.53816/23061456_2022_7-8_36

**СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ
В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ**
**SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM CONTROLLING METHOD
IN CONDITIONS OF BANDWIDTH SHORTAGE**

Канд. воен. наук Е.Н. Астахов

Ph.D. E.N. Astakhov

ВКА им. А.Ф. Можайского

В статье предложен подход к управлению системой спутниковой связи в условиях дефицита пропускной способности. Подобная ситуация прогнозируется в часы наибольшей нагрузки при увеличении числа абонентов системы спутниковой связи. Решением представленной проблемной ситуации является совершенствование способов управления системой спутниковой связи с целью повышения качества обслуживания абонентов. Предлагаемый подход отличается от известных реализацией управления системой спутниковой связи на двух уровнях: физическом и логическом. При этом в работе сформулирован и обоснован комплексный показатель устойчивости, оценка которого составляет основу для формирования выбранного метода управления системой связи. Предлагаемый способ управления системой спутниковой связи в условиях дефицита полосы пропускания позволяет добиться улучшения качества обслуживания клиентов с точки зрения вероятности доведения информации.

Ключевые слова: система спутниковой связи, устойчивость системы связи, функциональная устойчивость, качество обслуживания.

The paper proposes an approach to managing a satellite communication system in conditions of bandwidth shortage. A similar situation is predicted during the hours of the greatest load with an increase in the number of subscribers of the satellite communication system. The solution to the presented problem situation is to improve the management methods of the satellite communication system in order to improve the quality of customer service. The proposed approach differs from the known ones in the implementation of satellite communication system control at two levels: physical and logical. At the same time, a comprehensive stability indicator is formulated and justified in the work, the evaluation of which forms the basis for the formation of the chosen method of controlling the communication system. The proposed method of controlling the satellite communication system in conditions of bandwidth shortage allows to achieve an improvement in the quality of customer service in terms of the probability of bringing information.

Keywords: satellite communication system, communication system stability, functional stability, quality of service.

Введение

Необходимость повышения эффективности космической деятельности в условиях нарастания конкуренции требует поиска решений в области совершенствования информационного обеспечения всех космических объектов, а также абонентов-потребителей услуг космических систем [1–3]. Материально-техническую основу информационного обмена в этом случае составляет система спутниковой связи (ССС). Она обеспечивает предоставление услуг по передаче всех видов информации между абонентами, в роли которых выступают как люди — операторы, начальники дежурных смен, физические лица, так и устройства — системы реагирования, бортовое оборудование космических аппаратов и пр. Нарастание системы спутниковой связи неразрывно связано с запуском космических аппаратов связи с последующим получением разрешения на использование спутниковых радиоканалов: согласованием рабочих диапазонов, сеансов связи, режимов. Указанный процесс является протяженным во времени. Информационные потоки, передаваемые в интересах новых абонентов, создают дополнительную нагрузку на систему спутниковой связи, что приводит к дефициту пропускной способности. Возможности же системы спутниковой связи в настоящее время ограничены, и в условиях увеличения числа абонентов качество обслуживания вероятно

будет ниже требуемого, что на уровне отдельно взятого абонента (человека или устройства) может привести к невыполнению им задачи в установленные сроки. Качество предоставляемых телекоммуникационных услуг зависит от вида передаваемой информации и характеризуется понятием качество обслуживания — Quality of Service (QoS), которое в свою очередь напрямую определяется своевременностью, достоверностью и безопасностью передаваемой информации. Одним из возможных решений в представленной ситуации является совершенствование способов управления системой спутниковой связи. Под способом управления системой спутниковой связи понимаются порядок и приемы применения средств спутниковой связи для решения поставленных задач по передаче информационных потоков между абонентами.

Анализ управления системой спутниковой связи

В настоящей статье в качестве системы спутниковой связи рассмотрена совокупность взаимосвязанных и согласованных по задачам, месту и времени действий узлов и линий военной связи различного назначения, развертываемых (создаваемых), а также арендованных у операторов электросвязи, в соответствии с единым планом для решения задач информационного обеспечения абонентов. В связи с тем, что информация



Рис. 1. Технологическая структура системы спутниковой связи

имеет различные формы представления, к каждой из них предъявляются свои требования по своевременности, достоверности и безопасности передачи. Совокупность технологических параметров, позволяющих оценить выполнение этих требований — QoS в общей структуре ССС представлены на рис. 1.

Для обеспечения заданного значения этих параметров необходимо осуществлять планирование физического задействования ресурсов системы спутниковой связи и управление ими путем распределения частот и времени сеансов связи. Результаты анализа структуры, решаемых задач системой спутниковой связи и требований,

предъявляемых к качеству обслуживания абонентов, представлены на рис. 2.

Таким образом, качество управления системой спутниковой связи, зависящее от способа управления, оказывает непосредственное влияние на QoS трафика абонентов. Основной нагрузкой на систему спутниковой связи является информация управления орбитальной группировкой космических аппаратов (рис. 3). На рис. 3 представлена конфликтная ситуация, которая связана с задействованием всего ресурса системы спутниковой связи в интересах выполнения данной задачи [4–7], и состоящая в снижении устойчивости ССС главного испытательного космического центра, выполняющего управле-



Рис. 2. Функции, реализуемые в процессе выбора содержания способа управления ССС



Рис. 3. Распределение трафика в системе спутниковой связи

ние орбитальной группировкой космических аппаратов (ОГ КА), ниже требуемого уровня без резервирования ССС наземного автоматизированного комплекса управления в условиях отсутствия воздействия дестабилизирующих факторов.

Очевидно, что дополнительная нагрузка на систему связи при необходимости информационного обеспечения новых абонентов, приведет к срыву информационного обмена всех абонентов системы спутниковой связи ввиду дефицита пропускной способности ССС (рис. 4). На графиках рис. 4 представлены зависимости качества обслуживания абонентов от качества функционирования системы спутниковой связи. Одним из важнейших параметров оценивания качества обслуживания абонентов является вероятность доведения информации в заданное время $P_{\text{дов}}$, и для большинства задач дистанционного управления его значение должно быть не хуже 0,9 [8–11]. В работе введены показатели структурной и функциональной устойчивости. Показатель структурной устойчивости имеет смысл параметра, позволяющего рассчитать и оценить структурную связность сети, то есть физического наличия хотя бы одного канала связи при обеспечении информационного обмена между абонентами. Показатель функциональной устойчивости применяется для расчета и оценивания совокупности параметров QoS по своевременности, достоверности и безопасности информационного обмена по каналам ССС, наличие которых гарантируется по результатам расчета показателя структурной устойчивости. Показатель функциональной устойчивости $P_{\text{уст}}$, который в настоящей работе имеет смысл комплексного показателя, позволяет оценить качество функционирования ССС. Минимальное допустимое значение показателя функциональной устойчивости $P_{\text{уст}}$ — не ниже 0,9. На рис. 4 графики, представленные сплошными линиями, отражают ситуацию обеспечения связью абонентов в условиях информационного обмена с достаточной пропускной способностью ССС.

При необходимости обеспечения связью новых абонентов или в часы наибольшей нагрузки и увеличения интенсивности трафика уже существующих абонентов ССС, т.е. в ситуациях, характеризующихся дефицитом пропускной способности, зависимости представлены пун-

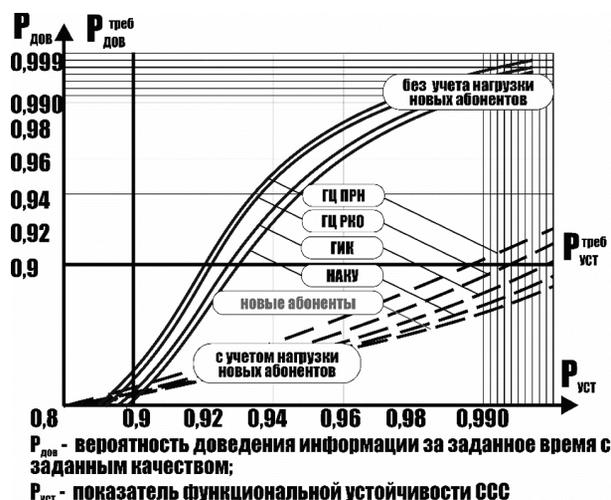


Рис. 4. Зависимость качества управления формированиями от качества функционирования системы спутниковой связи

ктирными линиями [5–10]. Представленные вероятностно-временные зависимости подтверждают выводы о снижении QoS при снижении функциональной устойчивости ССС при подключении новых абонентов.

Способ управления системой спутниковой связи в условиях дефицита пропускной способности

Предлагаемый способ управления системой спутниковой связи в условиях дефицита пропускной способности предполагает определение порядка задействования ресурса ССС с указанием в плане задействования и последующую координацию этого плана в соответствии с задачами всех (основных и новых) абонентов ССС. Итоговый план задействования средств ССС формируется по результатам оценивания показателя функциональной устойчивости для варианта управления системой спутниковой связи, предложенного на предыдущем шаге. Таким образом, способ управления ССС в условиях дефицита пропускной способности включает в себя две частные методики.

Первая частная методика (рис. 5) на основании результатов оценивания показателя структурной устойчивости системы связи позволяет сформировать план задействования ее ресурса по принципу максимизации глубины резервирования в каждом информационном направле-

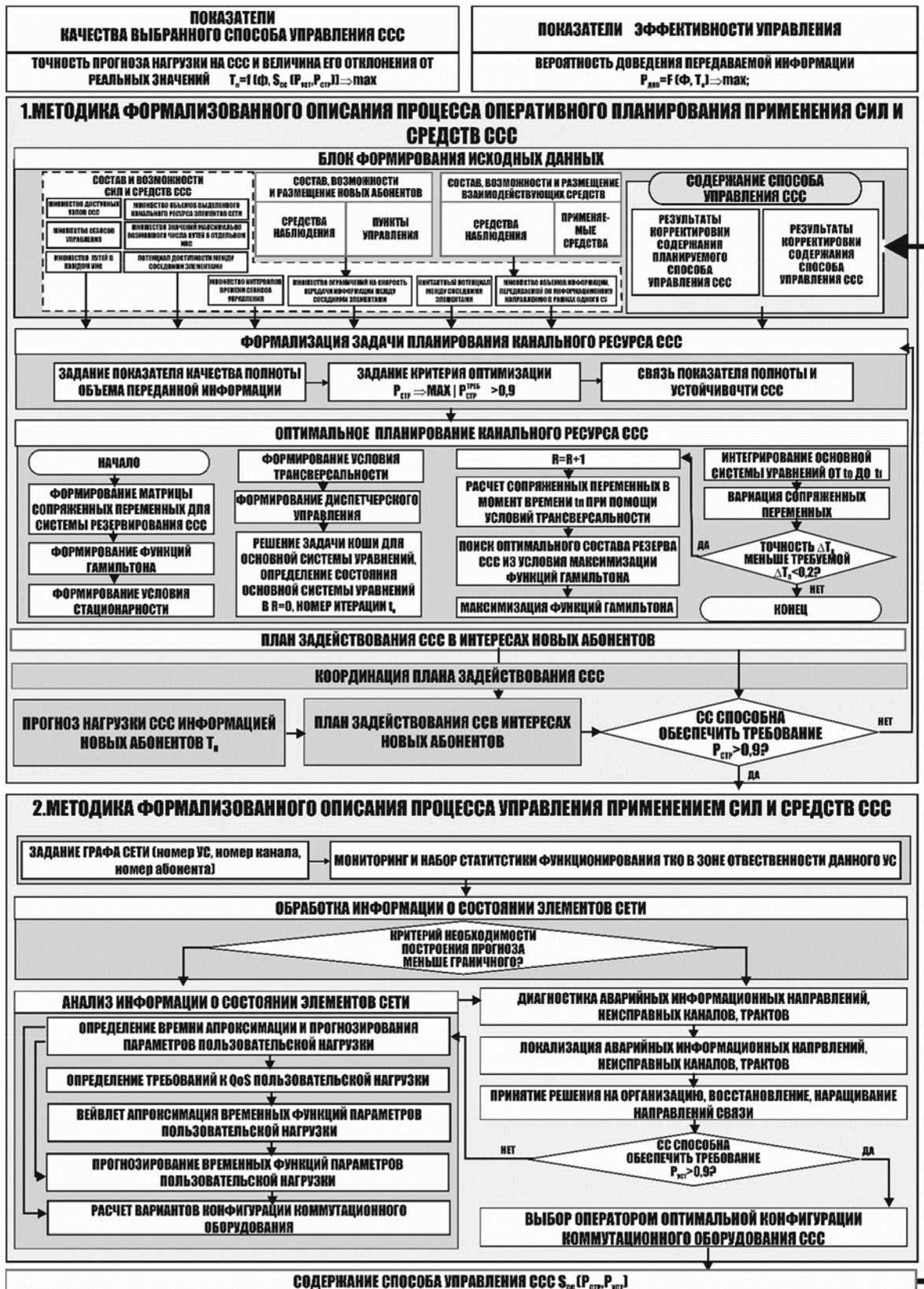


Рис. 5. Методика описания процесса планирования и управления ССС

нии, что отличает ее от существующего подхода к планированию. Также элементом новизны методики является координация сформированного плана задействования в интересах новых абонентов ССС с планами задействования прочих абонентов.

Практическая значимость предложенной методики описания процесса управления системой спутниковой связи в условиях дефицита пропускной способности (рис. 5), включающая описание процесса оперативного планирования применения сил и средств ССС, заключается в реализации возможности определения качества системы спутниковой связи, оцениваемого по комплексному показателю устойчивости на основе исходных данных о ее состоянии и прогнозу нагрузки. Также элементом новизны является формализованное описание процесса оперативного управления применением средств ССС, что позволяет оценивать и прогнозировать интенсивность трафика в узлах коммутации ССС и определять точность сформированного прогноза с возможностью подстройки во временной области.

Вторая частная методика (рис. 5) позволяет на основе прогноза нагрузки на ССС оценивать возможность выполнения требований по своевременности, достоверности и безопасности к передаче конкретных видов информации, и управлять в дистанционном автоматическом режиме параметрами коммутационного оборудования для выполнения этих требований. Это определяет новизну второй частной методики.

Результатом методики является выбор способа управления системой связи, формирование совокупности сведений о порядке и приемах применения средств ССС для решения поставленных задач по передаче информационных потоков между абонентами, в том числе в условиях дефицита пропускной способности.

Анализ существующего и предлагаемого способов управления ССС позволил выделить следующие особенности каждого из них. Основными особенностями существующего способа управления системой связи являются:

- распределение канального ресурса ССС в интересах новых абонентов после обеспечения связью уже существующих, выполняющих задачи управления ОГ КА, в настоящее время по умолчанию обладающих первоочередным приоритетом;

- управление коммутационными устройствами в сети в ручном режиме, как правило путем осуществления долговременной коммутации.

Предлагаемый способ управления ССС предусматривает:

- распределение ресурса ССС не по остаточному принципу, а в зависимости от приоритета решаемых задач абонентами и с учетом интересов новых абонентов, что составляет суть координационного управления;

- в случаях дефицита ресурса под задачи новых абонентов, обладающих большим приоритетом в сравнении с остальными — корректировать план распределения ресурса системы связи, например, формирование предложения по коррекции плана применения средств наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) ОГ КА;

- образование каналов связи в результате сопряжения между собой разнородных и разнородных линий и каналов связи: спутниковых, линий системы обработки данных, линий привязки к единой сети электросвязи РФ;

- поддерживать требуемое качество обслуживания трафика в узлах коммутации за счет эффективного перераспределения ресурса ССС на основе более точного прогноза пользовательской нагрузки.

Указанные особенности определяют новизну заявляемого способа управления ССС.

Результаты расчета показателей структурной и функциональной устойчивости

Взаимосвязь структурной и функциональной устойчивости системы связи с точностью прогноза пользовательской нагрузки представлена на рис. 6. Результаты, полученные для существующего способа управления ССС, отмечены сплошным градиентом, для разработанного способа — штриховкой. Из графиков видно, что как при планировании ресурса системы связи (рис. 6, а), так и при управлении (рис. 6, б) разработанный способ позволяет получать более точные результаты прогноза нагрузки на систему связи. Это, в свою очередь, позволяет повысить структурную устойчивость (группа графиков в верхней части рис. 6, а) и функциональную устойчивость системы спутниковой связи.

существующего способа управления системой связи в условиях дефицита пропускной способности — выполнение требований к вероятности доведения информации за заданное время затруднительно для трафика всех групп и возможно лишь при достижении функциональной устойчивости значений не ниже 0,9;

– штрихпунктирные линии — для ситуации необходимости информационного обеспечения новых абонентов с использованием разработанного способа управления системой связи в условиях дефицита пропускной способности — обеспечение требуемых значений вероятности доведения информации за заданное время достигается для трафика всех групп, при значениях функциональной устойчивости ССС менее 0,9 осуществляется перестройка плана задействования средств ССС.

Таким образом, анализ зависимостей показал, что повышение вероятности доведения информации абонентам (существующим и новым) составляет до 20 % при использовании предлагаемого подхода к управлению системой спутниковой связи в условиях дефицита пропускной способности.

Заключение

Необходимость информационного обеспечения абонентов системы спутниковой связи в условиях дефицита пропускной способности — актуальная задача. Одно из возможных решений данной задачи заключается в изменении подхода к управлению ССС. В данной статье представлен способ управления силами и средствами системы спутниковой связи на основе последовательного оценивания показателей ее структурной и функциональной устойчивости. Элементы новизны такого подхода состоят в распределении частотно-временного ресурса ССС в соответствии с приоритетом абонентов, в том числе новых, и в координации с задачами существующих абонентов, их приоритетами по важности и срочности; в возможности коррекции сформированного плана с учетом или исключительно в интересах новых абонентов; в формировании каналов связи при сопряжении между собой разнородных и разнотиповых линий и каналов связи; в поддержании требуемого качества обслуживания трафика в узлах коммутации за счет

эффективного перераспределения ресурса ССС на основе более точного прогноза пользовательской нагрузки.

Литература

1. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые системы связи: учебное пособие для вузов / под ред. А.М. Сомова. Горячая линия–Телеком, 2012. 244 с.
2. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления: учебник / Ю.С. Мануйлов, В.Н. Калинин, В.С. Гончаревский, И.И. Делий; под общ. ред. Ю.С. Мануйлова. — СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. 609 с.
3. Буртный К.П. Россия в современном мире. Основные направления социально-экономического, политического и военно-технического развития страны. Задачи офицерского состава на 2021 учебный год. <http://army.ric.mil.ru> [Электронный ресурс], дата обращения 20.02.2022.
4. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем: учеб. пособие. — СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.
5. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. — СПб.: Корона принт, 2004. 380 с.
6. Зиннуров С.Х., Новиков Е.А., Степанова Е.А. Моделирование процессов генерации и обслуживания трафика со сложной структурой с использованием программного комплекса логико-событийного моделирования MATLAB/SIMULINK/STATEFLOW // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2020. № 675. С. 69–76.
7. Алиев Р.Т., Король В.В. Анализ характеристик мультимедийного трафика в локальных вычислительных сетях // Имитационное моделирование. Теория и практика. 2003. Т. 1. С. 45–49.
8. Косяков Е.Н., Новиков Е.А. Метод оперативного управления радиоресурсом спутника-ретранслятора на основе динамического резервирования каналов с запаздыванием // Информатика и космос. 2014. № 3. С. 9–13.
9. Новиков Е.А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2 (69). С. 79–87.

10. Новиков Е.А. Оценка пропускной способности спутника-ретранслятора при резервировании радиоресурса с упреждением // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 3 (15). С. 62–69.

11. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. Пер. с англ. / под ред. Б.С. Цыбакова. — М.: Мир, 1979. 600 с.

References

1. Somov A.M., Kornev S.F. Satellite communication systems. Hotline–Telecom Publ., 2012. 244 p.

2. Manuilov Y.S., Kalinin V.N. Goncharevsky V.S., Deliy I.I. Management of spacecraft and ground control complex facilities. — Saint-Petersburg: Military space Academy of A.F. Mozhaisky. 2010. 609 p.

3. Burtnyj K.P. The main directions of socio-economic, political and military-technical development of the country. Tasks of the officer staff for the 2021 academic year. <http://army.ric.mil.ru> [Electronic resource], accessed 20.02.2022.

4. Aliev T.I. Bases of Modeling of Discrete Systems. — Saint-Petersburg: Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics Publ, 2009. 363 p.

5. Ryzhikov Ju.I. Imitating modeling. Theory and technology. — SPb.: Korona print, 2004. 380 p.

6. Zinnurov S.H., Novikov E.A., Stepanova E.A. Modeling of processes of generation and services of the traffic with a complex structure using the MATLAB/SIMULINK/STATEFLOW logic-event modeling software package // Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy, 2020. № 675, P. 77–86.

7. Aliev R.T., Korol V.V. The Analysis of Traffic Characteristics of Local Area Networks // Imitating Simulation. Theory and Practice. 2003. Vol. 1. P. 45–49.

8. Kosiakov E.N., Novikov E.A. Method of operational radio-resource management on the basis of the dynamic reservations with delay // Information and Space. 2014. Vol. 4. № 3. P. 9–13.

9. Novikov E.A. Operative distribution of Satellite repeater radio resource in terms of non-stationary ingress flow with account of time lagged control // Information and Control Systems. 2014. Vol. 69. № 2. P. 79–87.

10. Novikov E.A. Assessment of reflecting satellite transmission capacity when reserving a feed-forward radio resource // Radio and Telecommunication Systems. 2014. Vol. 15. № 3. P. 62–69.

11. Kleinrock L. Computing systems with queues. Translated from English / Edited by B.S. Tsybakov. — Moscow: Mir, 1979. 600 p.