УДК 621.396

DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-4-54-62

# Управление орбитальным канальным ресурсом на основе немарковских приоритетных систем массового обслуживания. Часть 2. Методика диспетчеризации

А.А. Ковальский $^{1*}$ , Г.А. Митряев $^{1}$ , А.В. Питрин $^{1}$ 

<sup>1</sup>Военно-космическая академия имени. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

#### Информация о статье

Поступила в редакцию 06.10.2021 Поступила после рецензирования 08.11.2021 Принята к публикации 12.11.2021

**Ссылка для цитирования**: Ковальский А.А., Митряев Г.А., Питрин А.В. Управление орбитальным канальным ресурсом на основе немарковских приоритетных систем массового обслуживания. Часть 2. Методика диспетчеризации // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 4. С. 54–62. DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-4-54-62

Аннотация: В статье разработана методика диспетчеризации орбитального канального ресурса с оперативным назначением приоритетов на основе расчета параметров немарковской модели обслуживания с ограниченным временем пребывания заявки в системе. Представленная методика отличается от известных тем, что в ней учитываются приоритетность абонентов сети, высокая динамика движения потребителей информации, среднее время ожидания при обслуживании и распределении орбитального канального ресурса спутниковой командно-ретрансляционной системы. Проведен анализ влияния показателей качества обслуживания потоков информационных данных. Показано, что разработанная методика приоритетной диспетчеризации позволяет обеспечить требования, предъявляемые к качеству обслуживания потоков информационных данных. Проведен комплекс экспериментальных исследований, которые подтвердили возможность обеспечения требуемого уровня устойчивости при ухудшении радиоэлектронной обстановки. Сформированы практические предложения по совершенствованию комплекса координации и распределения ресурсов спутниковой командно-ретрансляционной системы.

**Ключевые слова:** спутниковая командно-ретрансляционная система, приоритетная диспетчеризация, орбитальный канальный ресурс, приоритетное обслуживание.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время решение задач информационного обеспечения государственных структур из космоса осуществляется с использованием орбитальной группировки (ОГ) космических аппаратов различного целевого назначения, в том числе и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Перспективная спутниковая командно-ретрансляционная система (СКРС), прототипом которой является многофункциональная космическая система ретрансляции «Луч», призвана решить задачу обеспечения профильных ведомств Российской Федерации информационными данными в заданные сроки с требуемым качеством.

Проведенный в работе [1] системный анализ процесса целевого функционирования СКРС в условиях сложной радиоэлектронной обстановки (РЭО), которая непосредственно реализует функцию передачи высокоскоростных потоков информационных данных между абонентами системы, показал, что ключевым показателем качества функционирования подсистемы ретрансляции СКРС является показатель устойчивости. Данный показатель определяет способность системы выполнять свои функции при выходе из строя части элементов сети в результате воздействия внутренних и внешних дестабилизирующих факторов, в том числе и в сложных условиях РЭО.

<sup>\*</sup>Адрес для переписки: sake636@mail.ru

В работе [1] проведено обоснование проблемной ситуации, которое заключается в необходимости обеспечения требуемого уровня устойчивости подсистемы ретрансляции СКРС высокоскоростных потоков информационных данных от космических аппаратов ДЗЗ и невозможности на основе существующего научно-методического аппарата планирования орбитального канального ресурса СКРС обеспечить своевременную передачу запланированного объема информационных данных в условиях сложной РЭО. Сделаны выводы об особенностях этапа координационного планирования средств подсистемы ретрансляции, заключающихся в распределении орбитального канального ресурса СКРС на основе немарковских приоритетных систем обслуживания.

К числу особенностей описываемой проблемной ситуации, определяющих актуальность исследований в направлении разработки и реализации новых подходов к организации оперативного управления орбитального канального ресурса СКРС на основе приоритетной диспетчеризации, относятся:

- увеличение на порядок численности ОГ космических аппаратов ДЗЗ и необходимость передачи значительных объемов информационных данных (до десятков терабайт) в сутки;

- уменьшенная длительность пребывания в зоне действия приемного луча перспективного космического аппарата ретрансляции (КАР) по сравнению с глобальным приемным лучом действующего космического аппарата ретрансляции, за счет использования гибридной зеркальной антенны (ГЗА), обеспечивающей пространственную защиту от помех:

– необходимость принятия решения о предоставлении доступа к ресурсу ретранслятора в условиях ограниченности зоны радиовидимости и влияния сложной РЭО (рисунок 1).

На рисунке 1 обозначены зоны радиовидимости лучей СКРС в динамически изменяющихся условиях РЭО. Так, зелеными и красными цветами обозначены зоны с удовлетворительной и неудовлетворительной помеховой обстановкой, соответственно. Передача информационных данных в красных зонах невозможна или нецелесообразна ввиду невыполнения требований по своевременности доставки сообщений. В желтых зонах работа по передаче информационных данных возможна, но скорость передачи существенно ограничена.

Управление орбитального канального ресурса в настоящее время осуществляется по плану задействования космических и наземных средств. Программа составляется и утверждается на сутки. Такой вариант управления ресурсом эффективно работает в условиях небольшого количества функционирующих космических аппаратов ДЗЗ. Однако перспективы развития ОГ космических аппаратов ДЗЗ таковы, что уже к 2030 г. планируется возрастание ОГ в 3–4 раза, что существенно увеличит информационную нагрузку на подсистему ретрансляции СКРС.

В целях уменьшения влияния РЭО на антенну КАР, основной особенностью проектируемой системы должно стать применение многолучевой ГЗА, обеспечивающей пространственную селекцию космических радиолиний за счет оперативного отключения радионаправлений при обнаружении мешающих радиоизлучений [2, 3].

Отключение отдельных лучей при жестком планировании фактически приводят к «простою» системы на время перепланирования. Используемая в настоящее время модель распределения ресурса не позволяет оперативно перераспределять потоки информационных данных, а время, необходимое для организационно-технической реализации перепланирования ресурса составляет до 3 часов.

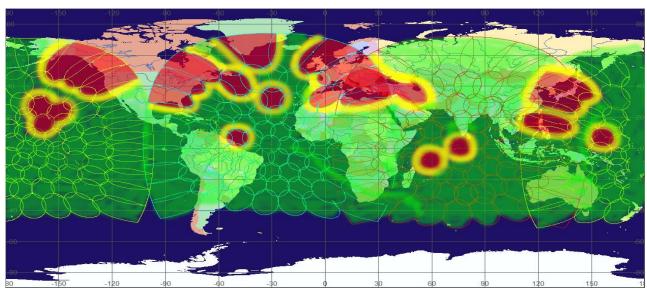


Рис. 1. Зоны радиовидимости лучей СКРС в сложных условиях РЭО

 $Fig.\ 1.\ Zones\ of\ Radio\ Visibility\ of\ Beams\ Satellite\ Command\ Relay\ System\ in\ Difficult\ Conditions\ of\ Radio\ Electronic\ Equipment$ 

Все описанные факторы позволили сформулировать проблемную ситуацию, заключающуюся в необходимости обеспечения требуемого уровня устойчивости подсистемы ретрансляции высокоскоростных потоков информационных данных от космических аппаратов ДЗЗ и невозможности на основе существующего научно-методического аппарата планирования орбитального канального ресурса СКРС обеспечить своевременную передачу требуемого объема информационных данных в условиях сложной РЭО [1].

Данная работа продолжает исследования по разработке моделей распределения ограниченного орбитального канального ресурса и методов оперативной диспетчеризации потоков неоднородной информации в условиях сложной РЭО [1].

#### ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ПРИОРИТЕТНОЙ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ

Для решения поставленной задачи, в работе [1] разработана модель оперативного распределения орбитального канального ресурса подсистемы ретрансляции на основе приоритетных систем обслуживания, в которой в отличие от известных моделей, время пребывания заявки в системе ограничено, сняты ограничения на вид распределения времени обслуживания заявок, а также получено выражение для вычисления начальных моментов распределения времени ожидания сообщений различных приоритетов.

Использование модели позволяет оценить вероятность несвоевременной доставки информационных данных, а также обеспечить требуемые показатели качества обслуживания приоритетных потоков и за счет этого обеспечить требуемую связность и устойчивость СКРС в целом.

На основе предложенной модели проведена разработка методики приоритетной диспетчеризации орбитального канального ресурса с оперативным назначением приоритетов на основе расчета параметров немарковской модели обслуживания с ограниченным временем пребывания заявки в системе. При разработке данной методики использованы подходы, изложенные в работах [4–10].

Элементом СКРС, решающим задачи распределения орбитального канального ресурса, должен являться программный комплекс координации и распределения ресурса.

Структурно методика приоритетной диспетчеризации орбитального канального ресурса СКРС состоит из 6 этапов. Произведем описание этапов предложенной методики.

<u>Этап 1.</u> Анализ характеристик потоков информационных данных в подсистеме ретрансляции СКРС

В рамках данного этапа производится определение характеристик потоков информационных данных на основе анализа статистики, полученной с использованием штатных средств дистанционного мониторинга и управления. Результатами выполнения первого этапа являются параметры входных потоков (средняя интенсивность поступления заявок k-го приоритета, поступающих от  $\mu$ -го космического аппарата ДЗЗ), а также параметры аппроксимации потоков информационных данных вероятностными распределениями:

$$W(\tau) = e^{-\mu\tau} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\mu\tau)^i}{i!}$$

<u>Этап 2.</u> Анализ характеристик радиоэлектронной обстановки при функционировании СКРС

На данном этапе производится уточнение вероятностных характеристик деструктивных воздействий на подсистему ретрансляции СКРС на основе исходных данных о РЭО и функционировании каналов связи СКРС» [1, 5, 6].

<u>Этап 3.</u> Анализ характеристик процесса оперативного назначения приоритетов в подсистеме ретрансляции СКРС

На данном этапе производится оценивание работоспособности лучей ГЗА, время остаточного радиоконтакта каждого космического аппарата ДЗЗ в зоне работоспособных (непораженных) лучей КАР, а также оценить наличие заявок на обслуживание в системе:

$$S(t) = \langle T_{Ka}(t), T_{3c}(t), M_{CB}(t), V_{Tp}(t) \rangle.$$

Этап 4. Формирование классов «срочных» и «несрочных» сообщений

Текущий этап реализует решение двух дополнительных оптимизационных задач, где  $\bar{P}_{\nu\chi}^{\rm HC}$  – вероятность несвоевременной доставки в зоне радиоконтакта  $\chi$ -го луча  $\nu$ -го КАР;  $\bar{P}_{\lambda}^{\rm HC}$  – вероятность несвоевременной доставки в зоне радиоконтакта  $\lambda$ -го пункта приема/передачи информации (ППИ);  $W_1(t)$  и  $W_2(t)$  – функции распределения несвоевременной доставки:

$$\begin{split} &\bar{\mathbf{P}}_{\nu\chi}^{\scriptscriptstyle \mathrm{HC}} (t_{\nu\chi}^{\scriptscriptstyle \Pi}) = D_z \big(t_{\nu\chi}\big) \int_0^{t_{\nu\chi}^{\scriptscriptstyle \Pi}} [1-W_1(t)] dD_z(t) + \bar{D}_z \big(t_{\nu\chi}^{\scriptscriptstyle \Pi}\big) \int_{t_{\nu\chi}^{\scriptscriptstyle \Pi}}^{\tau_{\nu\chi}^{\scriptscriptstyle \Pi}} [1-W_2(t)] dD_{\hat{z}}(t) \xrightarrow[t_{\nu\chi}^{\scriptscriptstyle \Pi}]{} \min, \\ &\bar{\mathbf{P}}_{\lambda}^{\scriptscriptstyle \mathrm{HC}} (t_{\lambda}^{\scriptscriptstyle \Pi}) = D_z (t_{\lambda}^{\scriptscriptstyle \Pi}) \int_0^{t_{\lambda}^{\scriptscriptstyle \Pi}} [1-W_1(t)] dD_z(t) + \bar{D}_z (t_{\lambda}^{\scriptscriptstyle \Pi}) \int_{t_{\lambda}^{\scriptscriptstyle \Pi}}^{\tau_{\lambda}^{\scriptscriptstyle \Pi}} [1-W_2(t)] dD_{\hat{z}}(t) \xrightarrow[t_{\lambda}^{\scriptscriptstyle \Pi}]{} \min. \end{split}$$

Также необходимо отметить, что в разработанной методике назначение и коррекция приоритетов в обслуживании производится по критерию не превышения вероятности несвоевременной доставки сообщения от источника к потребителю от требуемой.

<u>Этап 5.</u> Распределение орбитального канального ресурса СКРС

На данном этапе реализуется выполнение целевой функции задачи диспетчеризации орбитального канального ресурса с оперативным назначением приоритетов, определяющей максимальный объем информации, передаваемой в течение остаточного времени радиоконтакта, где S – штраф, назначаемый менее приоритетным информационным направлением связи, для которых остаточное время радиоконтакта превышает расчетное пороговое время:

Целевая функция (1) дополняется системой ограничений:

- 1)  $\sum_{\nu=1}^{N} \sum_{\chi=1}^{K} u_{\nu\chi\mu}^{\text{кар}}(t) + \sum_{\lambda=1}^{L} u_{\mu\lambda}^{\text{ппи}}(t) \leq 1$ ,  $\mu = \overline{1,M}$  ограничение на одновременность работы  $\mu$ -го космического аппарата ДЗЗ;
- 2)  $\sum_{\mu=1}^{M} u_{\nu\chi\mu}^{\text{кар}}(t) \le 1$ ,  $\chi = \overline{1,K}$ ,  $\nu = \overline{1,N}$  ограничение на одновременность работы  $\chi$ -го луча  $\nu$ -го космического аппарата ретрансляции только по одному космическому аппарату ДЗЗ:
- ному космическому аппарату ДЗЗ; 3)  $\sum_{\chi=1}^K \sum_{\mu=1}^M u_{\nu\chi\mu}^{\rm kap}(t) \le 1$ ,  $\nu=\overline{1,N}$  – ограничение на одновременность задействования  $\nu$ -го космического аппарата ретрансляции;
- 4)  $\sum_{\mu=1}^{M} u_{\mu\lambda}^{\Pi\Pi\mu}(t) \leq 1$ ,  $\lambda = \overline{1,L}$  ограничение на одновременность задействования  $\lambda$ -го ППИ, где  $u_{\mu\lambda}^{\Pi\Pi\mu}(t) \in \{0,1\}$ ,  $\mu = \overline{1,M}$ ,  $\lambda = \overline{1,L}$ ;
- $5) V_{\mu} \sum_{\nu=1}^{N} \sum_{\chi=1}^{K} \left[ c_{\nu\chi\mu}^{\kappa ap}(t) t_{\nu\mu\chi}^{\kappa ap} \right] + \sum_{\lambda=1}^{L} \left[ c_{\mu\lambda}^{\Pi\Pi\mu}(t) t_{\mu\lambda}^{\Pi\Pi\mu} \right] \ge$   $\ge 0$  ограничение на объем передаваемой информации.

Задача (1) с заданной системой ограничений относится к классу задач булева программирования и решается с использованием метода ветвей и границ [11–16]. Также необходимо отметить, что в рамках данного этапа решается задача диспетчеризации орбитального канального ресурса при обслуживании потоков, реализованной в виде блочного алгоритма, который функционирует параллельно в темпе поступления исходных данных от абонентов (рисунок 2, где КА – космические аппараты; ОКР – орбитальный канальный ресурс; РВ – реальное время).

Алгоритм диспетчеризации орбитального канального ресурса при обслуживании потоков ИД предусматривает решение в режиме реального времени следующих задач:

– блоки 1–3: прием заявки на предоставление КАР орбитального канального ресурса для обслуживания космических аппаратов ДЗЗ;

- блок 4: определение требуемого времени для передачи данных времени;
- блок 5: проверка нахождения космических аппаратов ДЗЗ в зоне радиовидимости пункта приема/передачи информации;
- блок 6: сравнение скоростей передачи информационных данных через пункт приема/передачи информации и космические аппараты ДЗЗ;
- блоки 7–8: проверка параметров КАР в зоне радиовидимости пункта приема/передачи информации;
- блоки 9–12: разбиение потока заявок на 2 класса приоритетов срочных и несрочных;
- блоки 13, 16: сброс заявок низших приоритетов:
- блоки 14, 15: постановка заявки в очередь или прекращение обслуживания менее приоритетного космического аппарата ДЗЗ;
- блоки 17, 18: коммутация космического аппараты Д33 с космическим аппаратом КАР и космическим аппаратом Д33 с ППИ;
  - блоки 19-21: проверка качества обслуживания.

<u>Этап 6</u>. Оценивание устойчивости подсистемы ретрансляции СКРС в условиях сложной РЭО, для этого воспользуемся формулой общего вида [17–22]:

$$P_{\mathbf{y}}(\mathbf{S}(t), P^{\pi \mathbf{p}}) = \left(1 - \prod_{j=1}^{J} \left(1 - P_{\mathbf{y}_{j}}\right)\right) =$$

$$= \left(1 - \prod_{j=1}^{J} \left(1 - K_{\Gamma_{j}} P_{\mathbf{CB}_{j}}\right)\right).$$

Все перечисленные задачи не являются характерными для комплекса координации и распределения ресурса, реализованного в настоящее время. Использование алгоритма, а также предложенной

методики в целом позволит оперативно назначать приоритеты потокам информационных данных, что исключит «простой» СКРС, возникающий при организационно-техническом планировании орбитального канального ресурса, а также поможет оптимизировать процесс динамического перераспределения орбитального канального ресурса.

В условиях сложной РЭО предложенный алгоритм позволит выполнить требования, предъявляемые к качеству обслуживания потоков информационных данных (в первую очередь – своевременность доставки) и за счет этого обеспечит требуемую связность (вероятность связности) сети связи и, соответственно, устойчивость СКРС в целом.

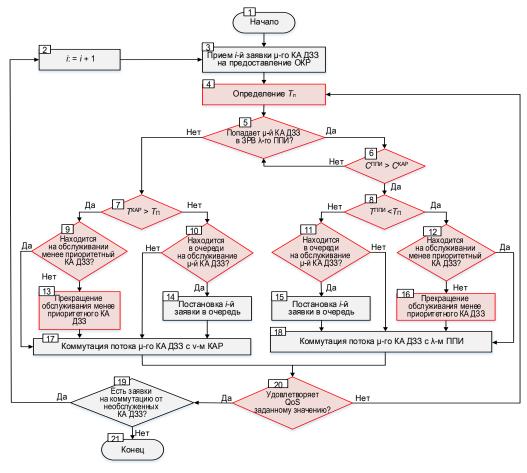


Рис. 2. Алгоритм диспетчеризации орбитального канального ресурса СКРС при обслуживании потоков информационных данных

Fig. 2. Algorithm for Scheduling the Orbital Channel Resource of the Satellite Command Relay System When Servicing Information Data Streams

#### АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ

Для оценки эффективности практического использования полученных результатов по совершенствованию комплекса координации и планирования ресурсов СКРС в работе проведен комплекс экспериментальных исследований, которые показали возможность обеспечения требуемого уровня устойчивости при ухудшении РЭО. Оценивание устойчивости подсистемы ретрансляции СКРС проводилось на основе анализа суммарного суточного объема передаваемых потоков информационных данных от космических аппаратов ДЗЗ, а также из расчета задействования СКРС при обслуживании 40 космических аппаратов ДЗЗ. В качестве исходных для формализации топологической и технической структур СКРС использован граф распределе-

ния потоков информационных данных, изображенный на рисунке 3, где CP – спутник-ретранслятор; ЦСОИ – центр сбора и обработки информации; КА – космические аппараты.

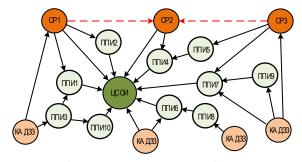


Рис. 3. Граф распределения потоков информационных данных в СКРС

Fig. 3. Graph of Distribution Data Streams in the Satellite Command Relay System

Для проведения оценки вероятностей отказа лучей ГЗА использовались данные, изложенные в «Модели функционирования каналов связи СКРС» [5], а в части, касающейся анализа вероятных характеристик изменения РЭО при функционировании СКРС в «Модели радиоэлектронной обстановки» [6]. Коэффициент готовности как составляющая внутренних дестабилизирующих факторов принимался в работе равным 0,99.

Результаты исследований представлены на рисунке 4, где ОКР – орбитальный канальный ресурс, иллюстрирующим возможности усовершенствованного комплекса координации и планирования ресурсов СКРС по обеспечению требуемого уровня устойчивости подсистемы ретрансляции при ухудшении РЭО на суточном плане.

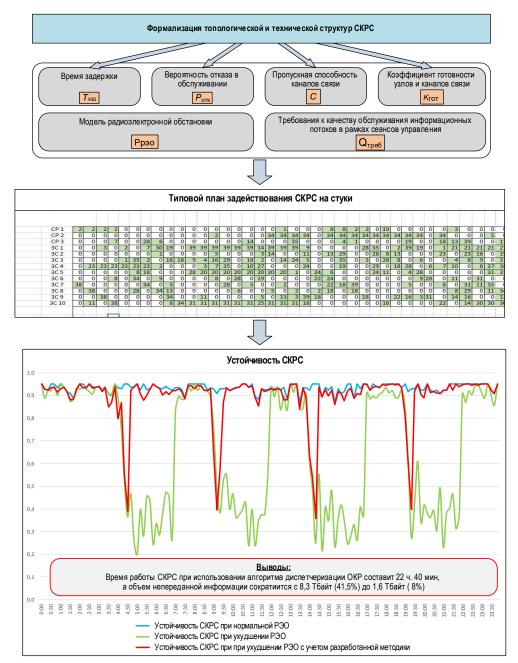


Рис. 4. Оценивание устойчивости СКРС условиях ухудшения РЭО

Fig. 4. Evaluation of the Stability of the Satellite Command Relay System in Difficult Conditions of Radio Electronic Equipment

Так, устойчивость подсистемы ретрансляции СКРС при существующей технологии распределения орбитального канального ресурса в условиях сложной РЭО может снижаться в пределах от 0,2 до 0,5 в сред-

нем 3–4 раза в сутки на 4–5 часов, что зависит от динамики изменения РЭО. При модернизации технологии распределения орбитального канального ресурса в условиях сложной РЭО на основе предложен-

ной методики устойчивость подсистемы ретрансляции СКРС будет снижаться в среднем в пределах от 0,4 до 0,6 в среднем 3–4 раза на 0,5–1 часа. Так, время устойчивой работы СКРС при использовании методики приоритетной диспетчеризации орбитального канального ресурса составит 22 ч. 40 мин., а объем непереданной информации сократятся с 8,3 Тбайт (41,5 %) до 1,6 Тбайт (8 %), что показывает ее эффективность. Использование предложенной методики позволяет обеспечить требуемый уровень устойчивости подсистемы ретрансляции СКРС в условиях сложной РЭО за счет оперативной диспетчеризации орбитального канального ресурса.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проведения исследований получены следующие основные результаты.

Во-первых, разработана методика диспетчеризации орбитального канального ресурса с оперативным назначением приоритетов на основе расчета параметров немарковской модели обслуживания с ограниченным временем пребывания заявки в системе, которая отличается от известных методов тем, что в ней учитывается приоритетность различных абонентов сети с учетом высокой динамики их движения и среднее время ожидания в системе обслуживания с приоритетом при распределении орбитального канального ресурса СКРС.

Во-вторых, проведен анализ влияния показателей качества обслуживания потоков информационных

данных. Показано, что разработанная методика приоритетной диспетчеризации позволяет обеспечить требования, предъявляемые к качеству обслуживания потоков информационных данных.

В-третьих, проведен комплекс экспериментальных исследований, которые показали возможность обеспечения требуемого уровня устойчивости при ухудшении РЭО, который позволил сформировать практические предложения по совершенствованию программного комплекса координации и распределения ресурса СКРС.

Научная новизна разработанной методики диспетчеризации орбитального канального ресурса состоит в том, что в ней учитывается приоритетность различных абонентов сети с учетом высокой динамики их движения и среднее время ожидания в системе обслуживания с приоритетом при распределении орбитального канального ресурса спутниковой командно-ретрансляционной системы.

Использование разработанной методики позволяет обеспечить требуемые показатели качества обслуживания приоритетных потоков информационных данных и за счет этого обеспечить требуемую связность системы и, соответственно, устойчивость СКРС в целом.

Дальнейшие исследования в данной предметной области целесообразно проводить в направлении разработки математических моделей планирования ограниченного ресурса подсистемы ретрансляции с учетом аварий (выхода из строя) инфраструктуры СКРС.

#### Список используемых источников

- 1. Ковальский А.А., Митряев Г.А., Питрин А.В. Управление орбитальным канальным ресурсом на основе немарковских приоритетных систем массового обслуживания. Часть 1. Модель оперативного распределения // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 3. С. 38–46. DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-3-38-46
- 2. Владимиров В.И. Информационные основы радиоподавления линий радиосвязи в динамике информационного конфликта. Воронеж: ВАИУ, 2003. 139 с.
- 3. Макаренко С.И. Исследование влияния преднамеренных помех на возможности по ретрансляции сообщения и показатели качества обслуживания канального уровня модели ОЅІ для системы связи со случайным множественным доступом абонентов // Информационные технологии моделирования и управления. 2010. № 6(65). С. 807–815.
  - 4. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи. М.: «Альпина Паблишер», 2004. 536 с.
- 5. Косяков Е.Н., Митряев Г.А. Метод приоритетной диспетчеризации орбитального канального ресурса на основе немарковских приоритетных систем обслуживания // Известия института инженерной физики. 2018. № 4. С. 43–49.
- 6. Жуков С.Е., Ковальский А.А., Митряев Г.А., Квасов М.Н. Оперативное распределение радиоресурса системы спутниковой связи в целях обеспечения управления космическими аппаратами // Труды Научно-исследовательского института радио. 2017. № 2. С. 29–36.
- 7. Ковальский А.А., Зиннуров С.Х., Митряев Г.А. Решение задачи оптимального планирования радиоресурса спутниковой системы связи для сеансов управления орбитальной группировкой космических аппаратов // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 1. С. 67–74. DOI:10.31854/1813-324x-2018-1-67-74
- 8. Новиков Е.А., Ковальский А.А., Митряев Г.А. Алгоритм и методика оперативного планирования и распределения радиоресурса системы спутниковой связи для организации устойчивого управления орбитальной группировкой космических аппаратов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2019. № 3(666). С. 68–76.
- 9. Цветков К.Ю., Косяков Е.Н., Новиков Е.А., Павлов А.Р., Зиннуров С.Х. Оптимизация параметров распределения канального ресурса спутника-ретранслятора при организации малоканальных сетей для передачи самоподобного трафика. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015615146 от 08.05.2015.
- 10. Михайлов Р.Л., Макаренко С.И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на неё дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. № 4. 2013. С. 69–79.
- 11. Абрамов П.Б. Марковские модели немарковских процессов: монография. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2015. 204 с.

- 12. Рыжиков Ю.И., Уланов А.В. Применение гиперэкспоненциальной аппроксимации в задачах расчета немарковских систем массового обслуживания // Вестник Томского государственного университета Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 3(36). С. 60–65. DOI:10.17223/19988605/36/6
- 13. Романенко В.А. Системы и сети массового обслуживания. Самара: Издательство Самарского университета, 2021. С. 21–21.
- 14. Petrović G., Petrović N., Marinković Z. Application of the Markov theory to queuing networks // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. 2008. Vol. 6. Iss. 1. PP. 45–56.
- 15. Bolch G., Greiner S., de Meer H., Trivedi K.S. Queueing Networks and Markov Chains: Modeling And Performance Evaluation with Computer Science Applications. New York: Wiley-Interscience, 1998. 726 p.
- 16. Bidabad B., Bidabad B. Complex Probability and Markov Stochastic Process // Proceeding of the 1st Iranian Statistics Conference (Isfahan, Iran, 26–28 May 1992). Isfahan: Isfahan University of Technology Publ., 1992.
- 17. Карасева Е.А., Мартышкин А.И. Применение аппарата теории массового обслуживания для системного анализа многопроцессорных систем // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 4-9. С. 1401–1404.
  - 18. Тихоненко О.М. Модели массового обслуживания в информационных системах. Минск: Технопринт, 2003. 326 с.
- 19. Наумов В.А., Самуйлов К.Е. Условия мультипликативности стационарного распределения вероятностей марковских ресурсных систем массового обслуживания с потерями // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 46. С.64–72. DOI:10.17223/19988605/46/8
  - 20. Тихоненко О.М. Модели массового обслуживания информационных системах. Минск: УП «Технопринт», 2003.
- 21. Neuts M.F. A versatile Markovian arrival process // Journal of Applied Probability. 1979. Vol. 16. Iss. 4. PP. 764–779. DOI:10.2307/3213143
  - 22. Кениг Д., Штойян Д. Методы теории массового обслуживания. Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1981. 128 с.

\* \* \*

## The Orbital Channel Resource Control on Non-Markov Priority Systems of Mass Service Basis. Part 2. Dispatch Method

A. Kovalsky<sup>1</sup>, G. Mitryaev<sup>1</sup>, A. Pitrin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Military space academy of A.F. Mozhaysky, St. Petersburg, 197198, Russian Federation

#### **Article info**

DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-4-54-62 Received 6th October 2021 Revised 8th November 2021 Accepted 12th November 2021

**For citation:** Kovalsky A., Mitryaev G., Pitrin A. The Orbital Channel Resource Control on Non-Markov Priority Systems of Mass Service Basis. Part 2. Dispatch Method. *Proc. of Telecom. Universities. Proc. of Telecom. Universities.* 2021;7(4):54–62. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-4-54-62

**Abstract:** The article develops a methodology for scheduling an orbital channel resource with operational priority assignment based on the calculation of the parameters of a non-Markov service model with a limited residence time of a request in the system, which differs from known methods in that it takes into account the priority of various network subscribers, taking into account the high dynamics of their movement and the average waiting time in the service system with priority in the allocation of the orbital channel resource of the satellite command-relay system. The analysis of the influence of service quality indicators of information data flows is carried out.

It is shown that the developed method of priority scheduling makes it possible to meet the requirements for the quality of service. A complex of experimental studies was carried out, which showed the possibility of ensuring the required level of stability with the deterioration in difficult conditions of radio electronic equipment, which made it possible to formulate practical proposals for improving the complex of coordination and distribution of resources of in the satellite command relay system.

**Keywords:** satellite command relay system, priority dispatching, orbital channel resource, priority service.

#### References

- 1. Kovalsky A., Mitryaev G., Pitrin A. The Orbital Channel Resource Control on Non-Markov Priority Systems of Mass Service Basis. Part 1. Operational Distribution Model. *Proc. of Telecom. Universities.* 2021;7(3): 38–46. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-3-38-46
- 2. Vladimirov V.I. Information Bases of Radio Suppression of Lines of a Radio Communication in Dynamics of Information Conflict. Voronezh: VAIU; 2003. 139 p. (in Russ.)
- 3. Makarenko S.I. A Research of Influence of Deliberate Noises on Opportunities for Relaying of the Message and Figures of Merit of Service of the Data Link Layer of the OSI Model for the Communication System with Accidental Multiple Access of Subscribers. *Informatsionnyye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya*. 2010;6(65):807–815. (in Russ.)
- 4. Kamnev V.E., Cherkasov V.V., Chechin G.V. *Satellite Communication Networks*. Moscow: Alpina Pablisher Publ.; 2004. 536 p. (in Russ.)
- 5. Kosyakov E.N., Mitryaev G.A. The Method of Priority Dispatching of Orbital Channel Resource on the Basis of Non-Markov Priority Queuing Systems. *Izvestiya Instituta inzhenernoy phiziki*. 2018;4:43–49. (in Russ.)
- 6. Zhukov S., Kovalsky A., Mitryaev G., Kvasov M. Operational Distribution of the Radio Resource of Satellite Communication System for the Purpose of Ensuring Management of Spacecrafts. *Trudy Nauchno-issledovatelskogo instituta radio*. 2017;2:29–36. (in Russ.)
- 7. Zinnurov S., Kovalsky A., Mitryaev G. Task's Solution of Satellite Communication System's Optimal Radio Resource Planning for the Sessions of Space Appliance's Orbital Group Managing. *Proc. of Telecom. Universities.* 2018;4(1):67–74. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324x-2018-1-67-74
- 8. Novikov E.A., Kovalsky A.A., Mitryaev G.A. An Algorithm and a Technique of Operational Planning and Distribution of a Radio Resource of the Satellite Communication System for the Organization of Steady Management of Orbital Grouping of Spacecrafts. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*. 2019;3(666):68–76. (in Russ.)
- 9. Tsvetkov K.Yu., Kosyakov E.N., Novikov E.A., Pavlov A.R., Zinnurov S.Kh. Optimization of the Distribution Parameters of the Channel Resource of the Relay Satellite When Organizing Low-Channel Networks for the Transmission of Self-Similar Traffic. Patent RF, no. 2015615146, 05.08.2015.
- 10. Mikhaylov R.L., Makarenko S.I. Estimating Communication Network Stability Under the Conditions of Destabilizing Factors Affecting It. *Radio and telecommunication systems*. 2013;4:69–79. (in Russ.)
- 11. Abramov P.B. *Markov Models of Non-Markov Processes*. Voronezh: Publishing and printing center "Nauchnaya kniga"; 2015. 204 p. (in Russ.)
- 12. Ryzhikov Yu.I., Ulanov A.V. A Use of Hyperexponential Distribution in Non-Markovian Queuing Systems Analyses. Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. 2016;3(36):60–65. (in Russ.)
  - 13. Romanenko V.A. Queuing Systems and Networks. Samara: Samara University Publ.; 2021. (in Russ.)
- 14. Petrović G., Petrović N., Marinković Z. Application of the Markov theory to queuing networks. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*. 2008;6(1):45–56.
- 15. Bolch G., Greiner S., de Meer H., Trivedi K.S. *Queueing Networks and Markov Chains: Modeling And Performance Evaluation with Computer Science Applications*. New York: Wiley-Interscience; 1998. 726 p.
- 16. Bidabad B., Bidabad B. Complex Probability and Markov Stochastic Process. *Proceeding of the 1st Iranian Statistics Conference 26–28 May 1992, Isfahan, Iran.* Isfahan: Isfahan University of Technology Publ.; 1992
- 17. Karaseva E.A., Martyshkin A.I. Application of the Apparatus of Queuing Theory for the System Analysis of Multiprocessor Systems. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik*. 2017;4-9:1401–1404. (in Russ.)
  - 18. Tikhonenko O.M. Models of Queuing in Information Systems. Minsk: Technoprint Publ.; 2003. 326 p. (in Russ.)
- 19. Naumov V.A., Samouylov K.E. Conditions for the Product Form of the Stationary Probability Distribution of Markovian Resource Loss Systems. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie vychislitelnaja tehnika i informatika*. 2019;46:64–72. (in Russ.) DOI:10.17223/19988605/46/8
  - 20. Tikhonenko O.M. Models of mass service in information systems. Minsk: UP "Technoprint", 2003. (in Russ.)
- 21. Neuts M.F. A versatile Markovian arrival process. *Journal of Applied Probability*. 1979;16(4):764–779. DOI:10.2307/3213143
  - 22. Koenig D., Stoyan D. Methods of Queuing Theory. Translated from German. Moscow: Radio i svyaz; 1981. 128 p. (in Russ.)

### Сведения об авторах:

КОВАЛЬСКИЙ Александр Александрович

кандидат технических наук, доцент, докторант военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, vka@mil.ru

https://orcid.org/0000-0002-6878-5858

МИТРЯЕВ Геннадий Андреевич

кандидат технических наук, начальник лаборатории военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, vka@mil.ru

https://orcid.org/0000-0002-3840-8672

ПИТРИН Алексей Владимирович адъюнкт военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, vka@mil.ru

https://orcid.org/0000-0002-4662-9790