



DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-1-54-64
УДК 629.78

Научная статья / Research article

Методология управления потоками целевой информации в космической системе дистанционного зондирования Земли

Часть 1. Формализация задачи

А.В. Старков^{а*}, А.А. Емельянов^б, Л.А. Гришанцева^б, К.И. Жуковская^б, А.А. Морозов^б, А.А. Тришин^а

^аМосковский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Российская Федерация, 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

^бАкционерное общество «Российские космические системы», Научный центр оперативного мониторинга Земли,
Российская Федерация, 127490, Москва, ул. Декабристов, влад. 51, стр. 25

*E-mail: starkov@goldstar.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 22 января 2021 г.

Доработана: 19 февраля 2021 г.

Принята к публикации: 05 марта 2021 г.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, обработка данных, распределение информационных ресурсов, оптимизация, эффективность, пункты приема информации, наземный комплекс приема обработки и распределения информации

Аннотация. Статья посвящена вопросам формализации задачи распределения потоков целевой информации при функционировании космической системы ДЗЗ. Систему предложено рассматривать как сложную, территориально-распределенную информационную систему, основной задачей которой является реализация полного цикла обслуживания, начиная с формирования заявки и заканчивая предоставлением готового тематического продукта. Проведена декомпозиция космической системы ДЗЗ как сложной информационной организационно-технической системы, определены системные и потребительские характеристики ее элементов. Обоснована возможность провести объективное свертывание системных показателей эффективности и перейти к двум частным, которые характеризуют эффективность целевого функционирования системы в целом: оперативность (времени) выполнения заявок потребителя на получение готового тематического продукта и стоимость готового тематического продукта. Предложен общий методический подход к решению поставленной технической задачи. Результатом является формальное представление задачи распределения потоков целевой информации при функционировании космической системы ДЗЗ как последовательности следующих операций: формирование заявки; определение перечня запросов к системе, необходимых для выполнения заявки; определение процессов и последовательности их выполнения, которые будут обрабатывать соответствующие запросы оптимизации временного распределения процессов по элементам системы, с учетом выбранных показателей эффективности и имеющих ограничения.

© Старков А.В., Емельянов А.А., Гришанцева Л.А., Жуковская К.И., Морозов А.А., Тришин А.А., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Для цитирования

Старков А.В., Емельянов А.А., Гришанцева Л.А., Жуковская К.И., Морозов А.А., Тришин А.А. Методология управления потоками целевой информации в космической системе дистанционного зондирования Земли. Часть 1. Формализация задачи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22. № 1. С. 54–64. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-1-54-64>

Methodology for managing the flows of target information in the remote sensing space system

Part 1. Task formalization

A.V. Starkov^a, A.A. Emelianov^b, L.A. Grishantseva^b, K.I. Zhukovskaya^b, A.A. Morozov^b, A.A. Trishin^a

^aMoscow Aviation Institute (National Research University)

4 Volokolamskoe Shosse, Moscow, 125993, Russian Federation

^bRussian Space Systems, Research Center for Earth Operative Monitoring

51, h.25 Decabristov St, Moscow, 127490, Russian Federation

*E-mail: starkov@goldstar.ru

Article history

Received: January 22, 2020

Revised: February 19, 2021

Accepted: March 05, 2021

Abstract. The article is devoted to the formalization of the problem of distribution of target information flows during the operation of the ERS space system. It is proposed to consider the system as a complex, geographically-distributed information system, the main task of which is to implement a full service cycle, starting with the formation of an application and ending with the provision of a finished thematic product. The decomposition of the ERS space system as a complex information organizational and technical system was carried out, the system and consumer characteristics of its elements were determined. The possibility is substantiated to carry out an objective curtailment of system performance indicators and go to two particular ones that characterize the effectiveness of the target functioning of the system as a whole: the promptness (time) of fulfilling consumer requests for a finished thematic product and the cost of the finished thematic product. A general methodological approach to solving the technical problem is proposed. The result is a formal presentation of the task of distributing the streams of target information during the operation of the ERS space system as a sequence of the following operations: formation of an application; determination of the list of requests to the system required to complete the application; determining the processes and the sequence of their execution that will process the corresponding requests; optimization of the time distribution of processes among the elements of the system, taking into account the selected performance indicators and existing limitations.

Keywords: remote sensing of the Earth, data processing, distribution of information resources, optimization, efficiency, information reception points, ground-based information reception and distribution complex

For citation

Starkov AV, Emelianov AA, Grishantseva LA, Zhukovskaya KI, Morozov AA, Trishin AA. Methodology for managing the flows of target information in the remote sensing space system. Part 1. Task formalization. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2021;22(1):54–64. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-1-54-64>

Введение

Одним из ключевых элементов космической системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

является единая территориально-распределенная информационная система (ЕТРИС), предназначенная для создания и распространения по заявкам потребителей

информационных продуктов, которые производятся на базе информации дистанционного зондирования, получаемой с помощью целевой аппаратуры космических аппаратов (КА), входящих в различные орбитальные группировки (ОГ). Она представляет собой сложную организационно-техническую систему, в которой функционирует множество объектов. Упорядоченные процессы взаимодействия объектов друг с другом образуют автоматизированный технологический процесс создания космических снимков, их многоступенчатой обработки, хранения и распространения [1].

Под потоком целевой информации при функционировании космической системы ДЗЗ понимается последовательное выполнение этапов приема, передачи и обработки информации, с учетом специальных правил и перенос их результатов от источника к потребителю, конечной целью которого является создание готового тематического продукта.

Наращивание орбитальной группировки КА ДЗЗ и увеличение ее производительности обуславливает значительное увеличение объемов принимаемых и обрабатываемых в системе данных [2]. В этой связи возникает необходимость построения оптимальной наземной космической инфраструктуры (НКИ) в части приема, обработки, хранения и распространения данных ДЗЗ. Важнейшим условием при этом становится создание современных комплексов приема данных с КА ДЗЗ на основе разработки совместимых между собой семейств унифицированных компонентов, а также создание комплексов обработки и хранения информации с использованием современных технологий вычислений [1]. Очевидно, что в отмеченных условиях существующий традиционный путь создания и использования наземных средств по отдельности в рамках каждой разрабатываемой космической системы приведет к нерациональному расходованию ресурсов, дублированию при создании аппаратно-программных средств, отсутствию технической, информационной и организационной совместимости.

Кроме того, возможности наземных центров обработки информации при существующем подходе к организации технологических процессов с учетом сложившегося к настоящему времени разрозненного порядка создания наземных комплексов ДЗЗ и состояния инфраструктуры приема, обработки и доведения данных ДЗЗ до потребителей показывают

исчерпанность применяющихся научных подходов к обеспечению конкурентоспособных уровней производительности и оперативности технологических процессов ДЗЗ [1]. Данное обстоятельство требует выработки новых системных и прикладных решений.

Таким образом, вопрос создания методологии решения важной научной проблемы управления потоками целевой информации при функционировании космической системы ДЗЗ как единой информационной системы является актуальной и практически важной задачей.

В рамках данной статьи представлены результаты системного анализа и формализации задачи управления потоками целевой информации при функционировании космической системы ДЗЗ как сложной информационной системы. С этой целью проводится формализация задачи и определяется методика ее решения.

1. Формализация задачи распределения потоков целевой информации при функционировании космической системы дистанционного зондирования Земли

Современное состояние космических систем ДЗЗ характеризуется следующими факторами. Во-первых, происходит существенное наращивание орбитальной группировки и объемов данных ДЗЗ. Так, в Российской Федерации в период до 2025 года планируется обеспечение круглосуточного и всепогодного наблюдения территории России, при пространственном разрешении наблюдения в видимом диапазоне от 1 до 0,4 метра, что будет соответствовать современному мировому уровню. За рубежом численность ОГ ДЗЗ растет еще более высокими темпами. Намечен переход к группировкам (кластерам) космических аппаратов, насчитывающих десятки и даже сотни космических аппаратов (КА). Как следствие — экспоненциальный рост объемов передаваемой и обрабатываемой информации в системе ДЗЗ в целом. При этом отмечается проблема несвоевременного предоставления готового продукта или отказа в обслуживании. Это говорит о том, что текущее планирование распределения потоков целевой информации при функционировании космической системы ДЗЗ требует значительного

улучшения. Для того чтобы определить, за счет чего может произойти это улучшение, был рассмотрен алгоритм обработки заявки потребителя, при котором обработка снимка до готового тематического продукта требует выполнения определенной последовательности действий, которые могут быть выполнены на разных наземных пунктах приема и обработки информации (ППИ) с разной степенью производительности и разными затратами. Выявлено, что недостатком существующей системы планирования является то, что, как правило, обработка снимков до готового тематического продукта проводится в рамках одного ППИ, без учета текущих возможностей других, с учетом разницы во времени. Учет степени текущей загруженности ППИ в системе осуществляется в «ручном» режиме, да и само понятие «степень загруженности» на данный момент носит скорее чисто интуитивный характер. Предполагаемое увеличение числа заявок и ввод новых КА в орбитальную группировку (ОГ) приведет к неравномерной нагрузке КА и наземного комплекса приема, обработки и распределения информации (НКПОР) и, как следствие, к отказам в обслуживании.

Другой проблемой является наличие нерешенной задачи Оператора системы, связанной с оптимизацией маршрута передачи обрабатываемого снимка между всеми узлами системы, который обеспечит выполнение нужной последовательности технологических операций. Кроме того, при наращивании ОГ КА ДЗЗ возникнет ситуация с избыточностью источников космической информации. В связи с этим целесообразно рассмотреть вариант объединения информационных потоков космического и наземного сегмента в один общий поток и рассматривать оптимизацию его распределения с точки зрения общесистемных показателей эффективности.

Сложность задачи оптимизации заключается здесь в наличии большого числа показателей, используемых на разных этапах планирования. Условно их можно систематизировать по следующим группам [3]:

1. Технические показатели эффективности целевого функционирования, отражающие оценки отдельных свойств системы: разрешение обработанных снимков; точность плановой привязки обработанных снимков; суммарный объем полученной в НКПОР информации; суммарная отснятая площадь (производительность системы) и др.

2. Функциональные показатели эффективности системы, отражающие оценки свойств подсистем: вероятности обслуживания заявок в зависимости от приоритета; вероятности отказа в обслуживании заявок в зависимости от приоритета; оперативность исполнения заявок в зависимости от приоритета; глубина обработки отснятых маршрутов в зависимости от приоритета; суммарная относительная площадь, выданная потребителям, в зависимости от приоритета и др.

3. Показатели эффективности системы в целом, отражающие интегральные оценки свойств системы: суммарное время обслуживания заявок; эффективная производительность системы (суммарная относительная площадь, выданная потребителям); совокупная ценность продуктов обработки отснятых маршрутов; осредненная оперативность исполнения заявок; суммарный объем архивов НКПОР и др.

Все показатели эффективности зависят от баллистической структуры, характеристик целевой аппаратуры и наземного комплекса приема, обработки и распределения информации. При этом оптимизация целевых параметров функционирования представляет собой два основных блока: оптимизация работы бортовой целевой аппаратуры КА и наземного комплекса.

В нашем случае, когда в состав системы входят компоненты космического и наземного сегмента, предлагается использовать метод объективного свертывания и перейти к частным показателям, характеризующим эффективность целевого функционирования, которыми являются оперативность (время) выполнения заявок на получение готового тематического продукта и стоимость готового тематического продукта (рис. 1) [4].

Оперативность выполнения заявок зависит от оперативности приема-передачи информации с борта КА на ППИ и времени, необходимого для проведения съемки. Данный показатель напрямую зависит от параметров заявки потребителя (географического положения, наблюдаемой площади, спектральных диапазонов, требований к тематическому продукту), географического расположения ППИ, их возможностей по получению готового тематического продукта, баллистического построения орбитальной группировки КА ДЗЗ и поэтому может использоваться как комплексный (интегральный) показатель эффективности космической системы ДЗЗ как информационной системы.



Рис. 1. Объективное свертывание показателей эффективности

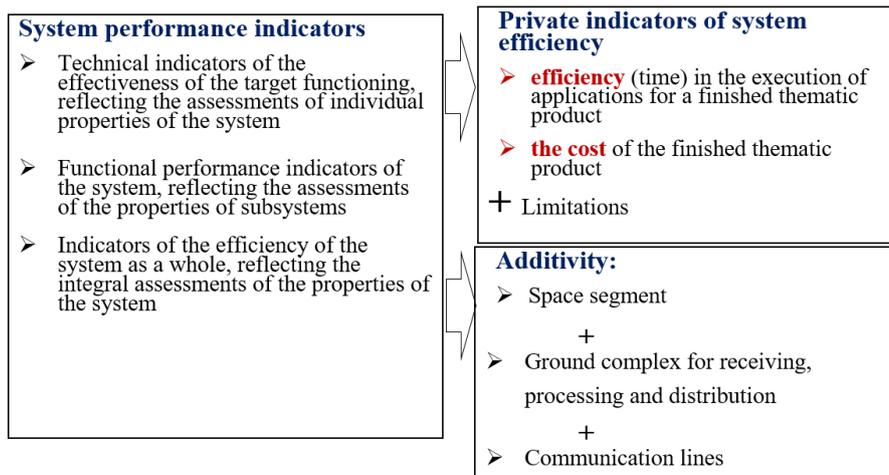


Figure 1. Objective curtailment of performance indicators

Стоимость готового тематического продукта также характеризует эффективность целевого функционирования. Если рассматривать систему в целом, то, конечно, в качестве показателя необходимо выбирать доход или прибыль. Но формализовать модель расчета такого рода показателей не представляется возможным, поэтому стоимость готового продукта, как определяющая часть при расчете дохода или прибыли, и выбрана в качестве показателя эффективности. Он может быть рассчитан на основе моделирования процесса обработки информации с момента подачи заявки до момента передачи требуемого тематического продукта потребителю и, таким образом, характеризует эффективность целевого функционирования системы с учетом параметров бортовой целевой аппаратуры КА, баллистического построения орбиталь-

ной группировки, факторов внешней среды, режимов съемки, передачи и дальнейшей наземной обработки информации. Таким образом, этот показатель также является комплексным (интегральным).

Как видно из характеристик упомянутых выше показателей, каждый из них зависит от орбитального построения КСН и параметров бортовой целевой аппаратуры КА, характеристик НКПОР и в целом характеризует степень достижения целей космической системы ДЗЗ — получение потребителем информации с заданными требованиями по спектральному разрешению, периодичности наблюдений и оперативности передачи информации.

При этом оперативность (время) выполнения и стоимость обслуживания единичной j -й заявки на получение q -го тематического продукта включают

в себя соответствующие показатели для космического сегмента (КА), наземной космической инфраструктуры (НКИ) и линий связи (ЛС), и равны

$$T_{\text{обсл } jq} = T_{jq \text{ КА}} + T_{jq \text{ НКИ}} + T_{jq \text{ ЛС}},$$

$$C_{jq} = C_{jq \text{ КА}} + C_{jq \text{ НКИ}} + C_{jq \text{ ЛС}}.$$

Решение задачи оптимизации выбранных показателей эффективности требует наличие вектора независимых переменных. Независимая переменная должна быть относительно самостоятельным фактором, который оказывает свойственное именно ему воздействие на систему. Для космической системы ДЗЗ, рассматривая ее как информационную систему, в качестве таких независимых переменных в работе предложено использовать *системное время* и *объем* (или условный объем, или трафик) перемещаемой в системе информации [4]. Действительно, зная время и объем информации, можно прямо или косвенно рассчитать как время, так и стоимость необходимые для обработки заявки при выбранном маршруте ее прохождения по узлам системы.

В качестве общих ограничений в каждом узле системы выступают:

- ограничение на максимальное количество одновременно выполняемых процессов: $N_{\text{проц}} \leq N_{\text{проц max}}$;
- ограничение на максимальный объем информации: $V_{\text{вх}} + V_{\text{вых}} < V_{\text{своб}}$.

Таким образом, в результате объективного свертывания показателей эффективности и выборе време-

ни и объема перемещаемой информации в качестве независимых переменных удалось:

- уменьшить размерность вектора показателей эффективности до двух, что позволяет в дальнейшем использовать эффективные методы многокритериальной оптимизации;
- выявить аддитивность показателей эффективности, что в дальнейшем позволит существенно упростить математическое описание и расчет их составных частей.

С системной точки зрения, независимо от того, на каком этапе решается задача распределения целевой информации с разнотипных КА по составным частям системы она сводится к оптимизации информационного маршрута, включающего:

- выбор нужного кластера КА, который обеспечит съемку с требуемым качеством;
- выбор наземных ППИ для передачи отснятых данных с КА-исполнителя(ей);
- выбор наземных ППИ для проведения полного цикла обработки данных;
- выбор ППИ для передачи тематического продукта потребителю.

Формально распределение целевой информации по составным частям космической системы ДЗЗ можно представить в виде (рис. 2).

На входе имеется следующая информация:

- 1) информация о совокупности всех космических аппаратов и ППИ, которые определяют узлы нашей

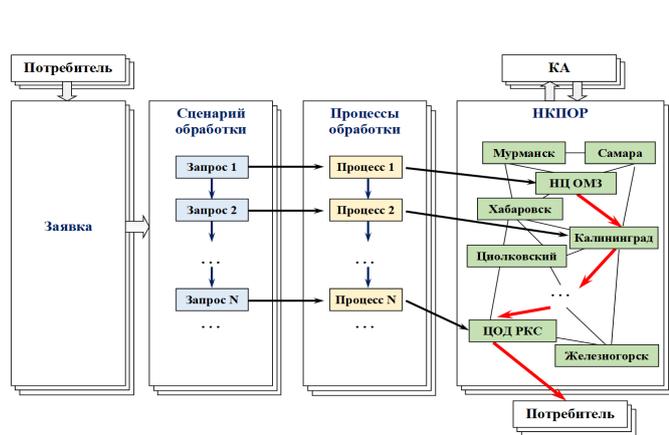


Рис. 2. Последовательность решения задачи [4]

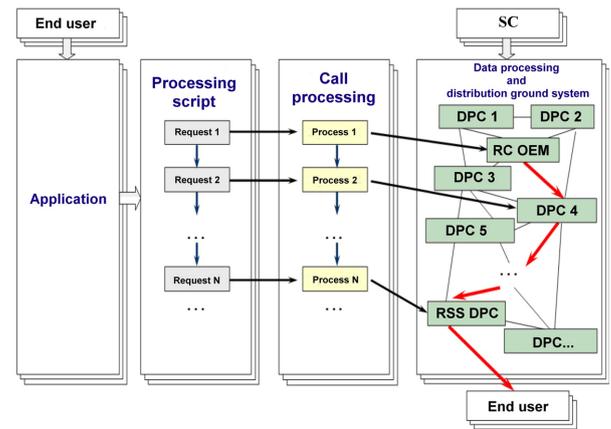


Figure 2. Problem solving sequence [4]

информационной системы, о которых нам известно: в части ОГ КА ДЗЗ — перечень и технические характеристики всех КА;

2) в части НКИ — перечень и характеристики (возможность хранения данных, степень обработки информации, подлежащей хранению, объем хранилища, тип выходной продукции, скорость передачи информации потребителям) пунктов приема информации;

3) политика распределения вычислительных ресурсов (совокупность запретов и приоритетов на получение, обработку, хранение и выдачу информации потребителям);

4) перечень потребителей (географическое расположение, приоритет, заявки);

5) количество и пропускная способность каналов передачи информации между узлами, перечень абонентов каждого канала;

6) время выполнения и условная стоимость каждой операции.

Потребители формируют заявки к системе, каждый со своими требованиями и частотой. Заявка, поступившая от потребителя, требует реакции информационной системы, которая заключается в формировании последовательности запросов на выполнение операций. Последовательность запросов определяется сценарием обработки. Каждому запросу из сценария может быть поставлен в соответствие один из типовых процессов. Каждый из процессов может быть выполнен только в заранее определенных узлах системы.

Таким образом, может быть сформулирована техническая постановка задачи, которая заключается в следующем.

Дано:

- информация о совокупности всех космических аппаратов и ППИ, которые определяют узлы нашей информационной системы;

- политика распределения вычислительных ресурсов (совокупность запретов и приоритетов на получение, обработку, хранение и выдачу информации потребителям);

- перечень потребителей (географическое расположение, приоритет, заявки);

- количество и пропускная способность каналов передачи информации между узлами, перечень абонентов каждого канала;

- математические модели для расчета времени выполнения и условной стоимости каждой операции.

Необходимо определить: распределение процессов обработки заявки пользователей по элементам инфраструктуры системы ДЗЗ (маршрут прохождения заявки) с целью повышения эффективности работы системы в целом с учетом выбранных показателей.

Выходом является технологическая карта, которая представляет собой совокупность:

- распределения процессов обработки информации ДЗЗ по узлам системы и архивам объектов НКИ;

- времени обеспечения потребителей заказанной информацией (с момента приема данных средствами НКИ или запроса архивных данных);

- оценки стоимости обработки информации;

- загруженности узлов и заполняемости их хранилищ информации.

2. Методический подход для решения задачи оптимизации распределения потоков целевой информации при функционировании космической системы дистанционного зондирования Земли

Введем следующие допущения:

- сценарий обработки заявки выполняется последовательно, недопустим возврат или откат на предыдущие этапы;

- отдельно взятый процесс не может быть распараллелен;

- параметры заявки не изменяются на всем интервале планирования;

- выполнение сценария по заявке не может быть прервано, результаты доступны потребителю только после окончания обработки и формирования технологической карты;

- информационная система функционирует идеально, без искажения информации и возможных технических неполадок;

- при невозможности немедленно отправить заявку на обслуживание по причине полной загруженности необходимых КА или ППИ она ставится в очередь;

- при обнаружении в процессе обработки заявки того факта, что в последующем узле ресурсов для ее обработки недостаточно, после завершения процесса обработки она остается в режиме ожидания до высвобождения соответствующих ресурсов.

В этом случае представление решения задачи как последовательности выполнения процессов обработки возможно при наличии взаимосвязанных математических моделей:

- единой модели процесса обработки информации космическим сегментом;
- единой модели обработки информации наземным сегментом (НКПОР);
- модели передачи данных.

Каждая из этих моделей должна получать на вход некий объем информации, преобразовывать его (уменьшать или увеличивать), вычислять системные показатели эффективности — время, требуемое для реализации процесса и его условную стоимость.

Для того чтобы методы и алгоритмы имели одинаковые схемы реализации, а модели процессов целевого функционирования имели общность в способах формирования и представления информации, необходимо все расчеты осуществлять на одинаковом множестве независимых параметров при наличии общесистемных ограничений.

Единая модель процесса обработки информации элементом космического сегмента (КС) может быть представлена в виде функции генерации трафика, входом которой являются параметры заявки, такие как география района съемки и его площадь,

требования к качеству снимков и типам съемочной аппаратуры, а также приоритетность выполнения заявки (рис. 3).

Входные данные определяются потребителем и включают в себя географические данные по району(нам) наблюдения; тип используемой аппаратуры наблюдения; приоритет заявки (обычная или важная).

Ограничения: при расчете частных показателей эффективности являются: максимальное количество одновременно выполняемых процессов — 1; ограничение на максимальный объем информации, связанное с возможностями БЗУ; возможность выполнения маневра по крену для увеличения полосы обзора.

Допущения: возможно одновременное включение аппаратуры разного типа; во время включения возможно проведение наблюдений в интересах других заявок, если это не связано с переориентацией линии визирования; после передачи информации на наземный сегмент происходит ее удаление из БЗУ.

Выходом является созданный объем первичной информации, получаемой с КА. Для расчета оперативности обработки и стоимости района наблюдения, представленного в заявке, для каждого КА необходимо уметь вычислять:

- множество возможных моментов времени начала и продолжительность съемки;
- множество возможных моментов времени начала и продолжительность сеансов связи.

Укрупненно единую модель процесса обработки информации в узле НКПОР можно представить



Рис. 3. Модель процесса обработки информации (космический сегмент)

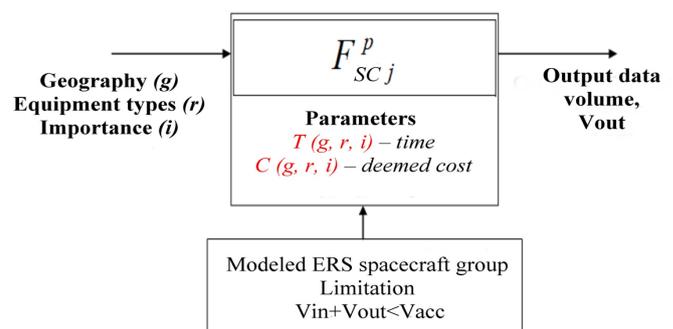


Figure 3. Information processing, space segment



Рис. 4. Модель процесса обработки информации (наземный сегмент)

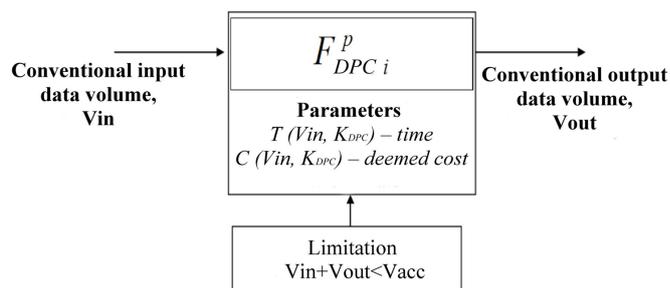


Figure 4. Space data processing by ground segment

как взаимосвязанную последовательность функций изменения условного объема информации при применении к ней соответствующего процесса обработки (используя функцию изменения трафика, рис. 4) [5].

Функция зависит от объема входной информации и производительности наземного ППИ. В простейшем случае производительность может быть задана в виде повышающего или понижающего коэффициентов. Ограничениями при расчете частных показателей эффективности здесь являются максимальное количество одновременно выполняемых процессов; ограничение на максимальный объем информации.

Таким образом, если имеется сформированная заявка, для выполнения которой выбран соответствующий кластер КА и математически описаны все процессы ее обработки, то все возможные варианты расчета показателей эффективности выполнения заявки образуют направленный граф (рис. 5) [5].

Вершиной графа является заявка. Формализованные данные заявки передаются на элементы космического сегмента для расчета возможных вариантов проведения съемки и передачи информации на ППИ. Далее представлены процессы обработки в НКПОР, каждый уровень соответствует процессу, который может быть выполнен на том или ином ППИ. На нижнем уровне находится потребитель. Предполагается, что он для конкретной заявки единственный и все заключительные процессы обработки завязаны на нем. Характеристики каналов связи между узлами считаются известными, по ним мы можем определить время и стоимость передачи информации. Прохождение трафика по графу приведет к вычислению системных показателей.

Таким образом, математическая постановка задачи заключается в оптимизации маршрута прохождения заявки по узлам графа с учетом возможности вычис-

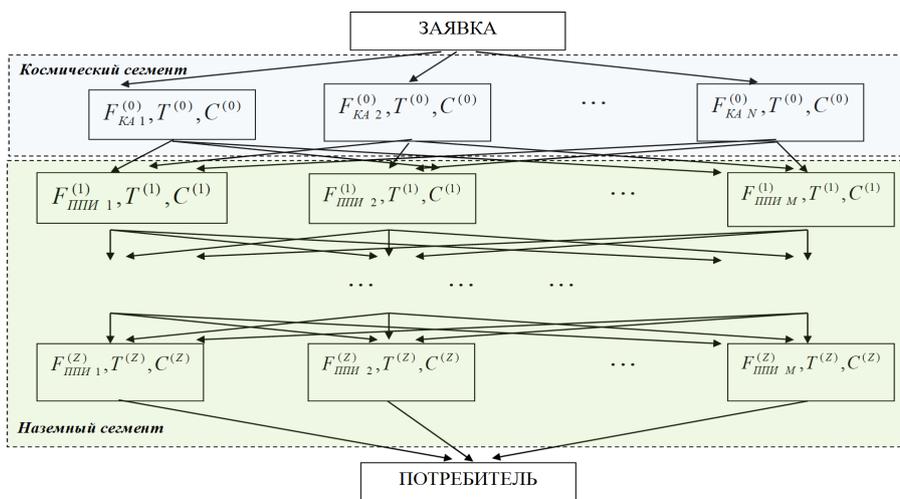


Рис. 5. Граф возможных вариантов выполнения заявки

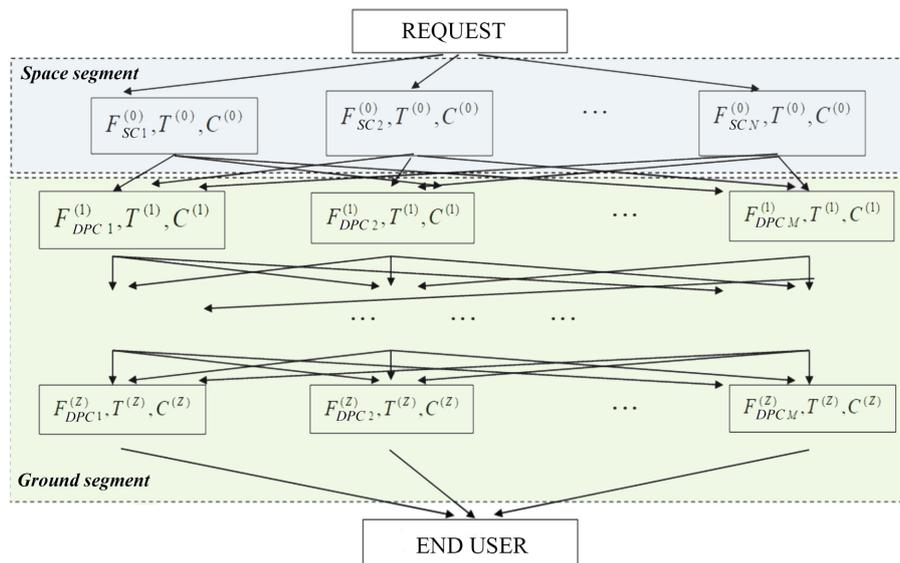


Figure 5. Request distribution graph

ления представленных выше системных показателей или их свертки, при наличии текущих ограничений.

Заключение

В статье предложена методология разрешения проблемы управления потоками целевой информации при функционировании космической системы дистанционного зондирования Земли в части формализации самой задачи. Для этого проведена декомпозиция космической системы ДЗЗ как сложной информационной организационно-технической системы, по результатам которой:

- определены системные и потребительские характеристики ее элементов;
- определены основные рабочие процессы в системе;
- сформированы показатели эффективности системы, которые были разделены на группы: технические, функциональные и интегральные;

Обоснована возможность объективного свертывания показателей эффективности и перехода к двум частным, характеризующих целевое функционирование системы в целом: оперативности (времени) выполнения заявок потребителя на получение готового тематического продукта и стоимости готового тематического продукта. Обоснован выбор незави-

симых переменных — системного времени и объема информации.

Результатом стало формальное представление задачи распределения потоков целевой информации при функционировании космической системы ДЗЗ как последовательности операций, связанных:

- с формированием заявки;
- определением перечня запросов к системе, необходимых для выполнения заявки;
- определением процессов и последовательности их выполнения, которые будут обрабатывать соответствующие запросы;
- оптимизацией временного распределения процессов по элементам системы, с учетом выбранных показателей эффективности и имеющихся ограничений.

Список литературы

1. Борисов А.В., Емельянов А.А., Емельянов К.С. Подходы к формированию обобщенных критериев эффективности космических систем ДЗЗ с учетом требований потребителей // Системный анализ, управление и навигация. Тезисы докладов XXII Международной научной конференции. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2017. С. 79—80.
2. Занин К.А. Выбор орбитального построения космической системы дистанционного зондирования Земли по критериям качества информации // Космонавтика и ракетостроение. 2009. № 3 (56). С. 152—161.

3. Емельянов А.А., Малышев В.В., Смольянинов Ю.А., Старков А.В. Формализация задачи оперативного планирования целевого функционирования разнотипных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды МАИ. 2017. № 96. С. 1—11.

4. Емельянов А.А., Малышев В.В., Старков А.В., Гришанцева Л.А., Зубкова К.И., Зай Яр Вин. Анализ и формирование показателей эффективности в задаче распределения потоков целевой информации при функционировании космических систем ДЗЗ // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 8. С. 28—31.

5. Emelianov A.A., Grishantseva L.A., Zubkova K.I., Malyshev V.V., Nguyen Viet Hoai Nam, Starkov A.V., Zay Yar Win. Mathematical model of ERS data processing ground segment operation in terms of processing distribution // *Advances in the Astronautical Sciences*. CA, USA: Univelt Inc., 2020. Vol. 170. P. 495—504.

References

1. Borisov AV, Emelianov AA, Emelianov KS. Podhody k formirovaniyu obobshchennykh kriteriev effektivnosti kosmicheskikh sistem DZZ s uchetom trebovanij potrebitelej [Approaches to the formation of generalized criteria for the effectiveness of remote sensing space systems taking into account

the requirements of consumers]. *Sistemnyj analiz, upravlenie i navigaciya. Tezisy dokladov XXII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii [System analysis, management, and navigation. Abstracts of the XXII International Scientific Conference.]*, Moscow: MAI-PRINT Publ.; 2017. p. 79—80. (In Russ.)

2. Zanin KA. Development of methods for identifying orbital configuration of space earth remote sensing system applying information quality criteria. *Cosmonautics and rocket engineering*. 2009;3(56):152—161. (In Russ.)

3. Emelianov AA, Malyshev B, Smolyaninov YuA, Starkov AV. Formalization of the problem of operative target functioning of diverse spacecraft for remote Earth probing. *TRUDY MAI*. 2017;96:1—11. (In Russ.)

4. Emelianov AA, Malyshev VV, Starkov AV, Grishantseva LA, Zubkova KI, Zay Yar Win. Analysis and generation of performance indicators in the problem of flow distribution target information in the operation of ERS data processing. *Scientific and technical Volga region bulletin*. 2019;8:28—31. (In Russ.)

5. Emelianov AA, Grishantseva LA, Zubkova KI, Malyshev VV, Nguyen Viet Hoai Nam, Starkov AV, Zay Yar Win. Mathematical model of ERS data processing ground segment operation in terms of processing distribution. In: *Advances in the Astronautical Sciences* (vol. 170). CA, USA: Univelt Inc.; 2020. p. 495—504.

Сведения об авторах

Старков Александр Владимирович, профессор кафедры системного анализа и управления МАИ, доктор технических наук; eLIBRARY SPIN-код: 5242-3413; e-mail: starkov@goldstar.ru

Емельянов Андрей Александрович, начальник Научного центра оперативного мониторинга Земли — заместитель директора проектов по созданию систем дистанционного зондирования Земли акционерного общества «Российские космические системы», кандидат технических наук; eLIBRARY SPIN-код: 4484-1479; e-mail: ntsomz@ntsomz.ru

Гришанцева Любовь Александровна, начальник сектора Научного центра оперативного мониторинга Земли акционерного общества «Российские космические системы», кандидат физико-математических наук; eLIBRARY SPIN-код: 9940-8756; e-mail: grishantseva_la@ntsomz.ru

Жуковская Ксения Ивановна, инженер-исследователь 1 категории Научного центра оперативного мониторинга Земли акционерного общества «Российские космические системы»; eLIBRARY SPIN-код: 4805-5960; e-mail: zubkova.k@ntsomz.ru

Морозов Александр Андреевич, инженер-исследователь 3 категории Научного центра оперативного мониторинга Земли акционерного общества «Российские космические системы»; e-mail: aamorozko@mail.ru

Тришин Алексей Александрович, студент кафедры информационно-управляющих комплексов летательных аппаратов МАИ; e-mail: trishin0202@mail.ru

About the authors

Alexander V. Starkov, Professor of the Department of System Analysis and Management, MAI, Doctor of Technical Sciences; eLIBRARY SPIN-code: 5242-3413; e-mail: starkov@goldstar.ru

Andrey A. Emelyanov, Head of the Scientific Center for Operational Monitoring of the Earth, Candidate of Technical Sciences of the joint-stock company «Russian Space Systems»; eLIBRARY SPIN-code: 4484-1479; e-mail: ntsomz@ntsomz.ru

Lyubov A. Grishantseva, Head of the Sector of the Scientific Center for Operational Monitoring of the Earth of the joint-stock company «Russian Space Systems», Candidate of Physical and Mathematical Sciences; eLIBRARY SPIN-code: 9940-8756; e-mail: grishantseva_la@ntsomz.ru

Ksenia I. Zhukovskaya, Research Engineer of the 1st Category of the Scientific Center for Operational Monitoring of the Earth of the Joint-Stock Company «Russian Space Systems»; eLIBRARY SPIN-code: 4805-5960; e-mail: zubkova.k@ntsomz.ru

Alexander A. Morozov, Research Engineer of the 3rd category of the Scientific Center for Operational Monitoring of the Earth of the Joint-Stock Company «Russian Space Systems»; e-mail: aamorozko@mail.ru

Alexey A. Trishin, Student of the Department of Information and Control Systems of Aircraft, MAI; e-mail: trishin0202@mail.ru