

# ОПЕРАЦИОННО-ВРЕМЕННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ИХ РЕСУРСОВ

С. А. Карина<sup>а</sup>, канд. воен. наук, доцент

<sup>а</sup>Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, РФ

**Постановка проблемы:** улучшение информативных возможностей современных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, а также увеличение числа территориально распределенных объектов, события на которых представляют интерес для мониторинга, с одной стороны, и принципиальная ограниченность возможностей систем, обеспечивающих обработку поступающих геопространственных данных, с другой стороны, требуют оперативного перераспределения ресурсов систем в целях повышения полноты решения стоящих перед ними задач. **Цель:** разработка операционно-временной модели функционирования систем комплексной обработки геопространственных данных, которая будет учитывать коэффициент относительной значимости возникающих событий и позволит разработать эффективные методы оперативного управления ресурсами таких систем. **Результаты:** определен показатель качества функционирования системы комплексной обработки геопространственных данных, который характеризует полноту решения стоящих перед ней задач в заданный промежуток времени и учитывает значимость возникающих событий. Разработана операционно-временная модель функционирования такой системы, которая учитывает коэффициент относительной значимости возникающих событий и время запаздывания реакции на них. Предложены взаимодополняющие друг друга подходы к управлению ресурсами таких систем. Первый из них заключается в прогнозировании возникновения новых событий на основе информации об уже произошедших, а второй — в перераспределении ресурсов на решение задач по реагированию на события с учетом их относительной значимости. **Практическая значимость:** предложенная операционно-временная модель позволит существенно повысить эффективность применения систем комплексной обработки геопространственных данных и при этом снизить затраты на их эксплуатацию, поскольку является основой для разработки эффективных методов оперативного управления ресурсами комплексной обработки в условиях их дефицита.

**Ключевые слова** — геопространственные данные, дистанционное зондирование Земли, рациональное распределение ресурсов, комплексная обработка, базы знаний, управление с прогнозированием.

## Введение

В настоящее время средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) космического и воздушного базирования являются основным источником информации для решения расчетных и аналитических задач в интересах органов государственного и муниципального управления, связанных с мониторингом (исследованием) пространственных территориально распределенных объектов. Эти средства предоставляют до 80 % всех требуемых данных, при этом их потенциал продолжает возрастать [1, 2]. В качестве таких территориально распределенных объектов мониторинга (ОМ) могут выступать элементы городской инфраструктуры, лесные массивы, сельскохозяйственные угодья, объекты оборонно-промышленного комплекса, потенциально опасные объекты на территории муниципальных образований (склады с химически опасными компонентами, дамбы, нефтяные хранилища, промышленные предприятия) и т. п. Все вместе они составляют единую систему промышленного потенциала страны.

Обработка данных ДЗЗ, осуществляемая в указанных целях, представляется совокупностью взаимосвязанных операций в рамках единого технологического цикла (ЕТЦ). Каждая

операция выполняется одним или несколькими ресурсами, при этом результаты работы одного ресурса являются исходными данными для других. В качестве таких ресурсов могут выступать специализированные комплексы автоматизации; тематические базы и банки данных, в которых накапливаются «сырые» данные и результаты их обработки; подразделения и организации, осуществляющие отдельные сложные этапы специальной обработки в рамках ЕТЦ. При этом в совокупности они составляют единую систему комплексной обработки геопространственных данных (СКО ГПД) [3, 4].

## Формулировка задачи рационального распределения ресурсов СКО ГПД

Основными задачами ЕТЦ комплексной обработки ГПД является мониторинг событий (реагирование на события), которые происходят на соответствующих ОМ. Результатами работы СКО ГПД являются разрабатываемые информационные документы и аналитические справки, которые содержат сведения, необходимые для управления этими объектами. При этом полагается, что для решения задачи реагирования на одно событие на одном ОМ требуется разработка одного документа.

Важнейшей особенностью ЕТЦ комплексной обработки ГПД является территориально распределенный характер ресурсов, входящих в СКО ГПД [3, 4].

Рассмотрим одну из основных составляющих ЕТЦ комплексной обработки ГПД — управление ресурсами СКО ГПД в целях поддержания устойчивости ее функционирования в любых условиях.

Качество функционирования СКО ГПД можно описать совокупностью следующих взаимосвязанных критериев:

1) количеством  $\tilde{u}(\Delta t)$  зафиксированных событий  $\{\tilde{s}_i\}$  на ОМ за период времени  $\Delta t$ ;

2) временем  $\tau$ , требуемым на разработку одного информационного документа.

Также следует ввести комплексный показатель, характеризующий полноту решения задач системой комплексной обработки ГПД в заданный промежуток времени:

$$p(\Delta t) = \frac{\tilde{u}(\Delta t)}{u(\Delta t)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $u(\Delta t)$  — количество реально произошедших событий  $\{s_i\}$  за период  $\Delta t$ .

Таким образом, управление ресурсами СКО ГПД сводится к проблеме рационального их распределения между решаемыми задачами таким образом, чтобы показатель  $p(\Delta t)$  был максимальным (стремился к 100 %).

Однако в реальности показатель  $p(\Delta t)$  в формуле (1) не может в полной мере характеризовать качество функционирования СКО ГПД, поскольку не учитывает такую характеристику, как относительная значимость зафиксированных событий.

По аналогии с подходом, предложенным в работе [5], пусть события на ОМ разделяются на  $M$  типов. Значимость  $\xi_m$  каждого типа события может определяться номером  $m$  его типа или величиной, пропорциональной  $m$ . Коэффициент пропорциональности удобно выбрать из условия, что сумма значимостей событий всех типов нормирована на 1:

$$\sum_{m=1}^M (\xi_m) = 1.$$

В итоге качество функционирования СКО ГПД можно охарактеризовать комплексным показателем  $P(\Delta t)$ , который учитывает значимость зафиксированных событий и определяется следующим образом:

$$P(\Delta t) = \frac{\tilde{U}(\Delta t)}{U(\Delta t)} \cdot 100\% = \frac{\sum_{m=1}^M (\xi_m \tilde{u}_m)}{\sum_{m=1}^M (\xi_m u_m)} \cdot 100\%,$$

где  $\tilde{U}(\Delta t)$  — количество зафиксированных событий на ОМ за заданный период времени с учетом

их относительной значимости;  $U(\Delta t)$  — количество реально произошедших событий за тот же период. При этом  $\tilde{u}_m$  определяется как количество зафиксированных  $\{\tilde{s}_{m_i}\}$ , а  $u_m$  — как количество произошедших  $\{s_{m_i}\}$  событий заданного типа.

Сформулируем задачу рационального распределения ресурсов СКО ГПД следующим образом.

Пусть на вход СКО ГПД поступают задачи по реагированию на события разной степени значимости. Частоту поступления задач можно описать нормальным законом распределения. Каждая задача для своего решения требует подключения определенных ресурсов. Необходимо осуществить перераспределение ресурсов системы таким образом, чтобы обеспечить максимально возможное значение комплексного показателя  $P(\Delta t) \rightarrow \max$ .

Решение этой задачи видится в одновременном применении следующих подходов:

1) распределению ресурсов СКО ГПД в условиях их дефицита на решение задач по реагированию на события разных типов с учетом их относительной значимости;

2) минимизации общего времени  $\tau$ , требуемого для решения задачи по реагированию на очередное событие  $m$ -го типа.

### Разработка операционно-временной модели функционирования СКО ГПД

Задача рационального распределения ресурсов СКО ГПД отнесена к предметной области систем массового обслуживания. Но в данном случае это не просто система массового обслуживания с фиксированным набором параметров, а управляемая система с прогнозированием.

Пусть для решения задач в СКО ГПД существует  $N$  типов ресурсов. Потребности в ресурсах задаются матрицей  $\mathbf{R} = \{r_{nm}\}$ ,  $n = 1, N$ ,  $m = 1, M$ . При этом элементы матрицы определяют потребность задачи  $m$ -го типа в  $n$ -м ресурсе. Доступность ресурсов определяется вектором  $\sigma = \{\sigma_n\}$ ,  $n = 1, N$ .

Обобщенная схема функционирования такой системы представлена на рис. 1.

Физический смысл элементов  $r_{nm}$  заключается в том, что они представляют собой двойку, включающую время  $\tau_{nm}$ , которое тратится ресурсом для получения соответствующего результата на заданном этапе комплексной обработки, и степень  $\chi_{nm}$  вклада ресурса в «общее дело»:

$$r_{nm} = \{\tau_{nm}, \chi_{nm}\}; 0 \leq \chi_{nm} \leq 1; \sum_{n=1}^N \chi_{nm} = 1.$$

Введение параметра  $\chi_{nm}$  обосновано тем, что позволяет исключить из процесса решения  $m$ -й задачи в случае сильной загруженности СКО ГПД необязательный  $n$ -й ресурс, когда он требует значительного времени, а его вклад невелик.



■ **Рис. 1.** Обобщенная схема функционирования СКО ГПД

Параметр  $\tau_{nm}$  определяется в соответствии со следующей формулой:

$$\tau_{nm} = \tau_{nm_1} + \tau_{nm_2} + \tau_{nm_3} + \tau_{nm_4}, \quad (2)$$

где  $\tau_{nm_1}$  — время передачи  $n$ -му ресурсу при решении  $m$ -й задачи исходных данных от предыдущего ресурса (с учетом фактора их территориальной распределенности) [4, 6];  $\tau_{nm_2}$  — время поиска данных, которые могут потребоваться  $n$ -му ресурсу на данном этапе решения  $m$ -й задачи, в базах данных всех известных ресурсов  $\{r_n\}$  (также с учетом фактора их территориальной распределенности и разнородности структур обрабатываемых в них данных) [4];  $\tau_{nm_3}$  — время, непосредственно затрачиваемое  $n$ -м ресурсом на процедуру выполнения текущего этапа решения  $m$ -й задачи;  $\tau_{nm_4}$  — время, затрачиваемое  $n$ -м ресурсом на передачу результатов своей работы следующему ресурсу в цепочке.

Практика показывает, что указанные компоненты  $\tau_{nm_i}$  в формуле (2) имеют различный «удельный вес», причем он зависит как от степени территориальной распределенности ресурсов, участвующих в решении задачи, так и от уровня автоматизации подсистем, обеспечивающих получение и поиск требуемых исходных данных. Наиболее распространенный случай предполагает, что передача исходных данных ресурсу, а также получение результатов его работы требуют информационного обмена по нестабильным каналам связи с низкой пропускной способностью. Примерами таких каналов могут выступать каналы передачи данных с космических аппаратов ДЗЗ посредством спутников-ретрансляторов, интернет-каналы, ведомственные территориально распределенные сети и т. д. Поиск необходимой ресурсу информации в тематических базах данных предполагает не автоматический, а автоматизированный или ручной режим работы.

При этом «накладные» расходы, не относящиеся непосредственно к решению задачи (времена  $\tau_{nm_1}$ ,  $\tau_{nm_2}$ ,  $\tau_{nm_4}$ ), будут составлять не менее 50 % всего времени, которое тратится ресурсом для получения результата на заданном этапе комплексной обработки (время  $\tau_{nm}$ ).

Кроме того, при значительном числе задач, которые в заданный период времени необходимо решать территориально распределенным ресурсам СКО ГПД (т. е. в период ее сильной загруженности, определяемой в первую очередь объемами добываемых и обрабатываемых данных), затраты на «накладные» расходы растут нелинейно. Так, на рис. 2 показана зависимость временных затрат на учет, первичную обработку (рис. 2, а), поиск и актуализацию (рис. 2, б) ГПД от их объемов. При этом среди основных причин нелинейного характера рассматриваемой зависимости необходимо выделить:

- во-первых, неоднородность информационных структур данных, хранящихся в разных тематических базах данных (как на разных уровнях, так и на одном уровне), которая приводит к необходимости ручного или полуавтоматического преобразования исходных данных к нужному формату, а также к значительным временным затратам при поиске требуемой информации;

- во-вторых, ручной способ ввода данных на этапах учета и первичной обработки, обусловленный отсутствием автоматизированных средств информационного взаимодействия между различными программно-техническими средствами, при помощи которых осуществляется сбор, систематизация и хранение данных;

- в-третьих, наличие так называемого «человеческого фактора» при ручном вводе данных, который обуславливает возникновение ошибок, кроме того, при значительном росте объемов данных, которые необходимо обработать, растет усталость операторов, и риск появления ошибок только увеличивается.

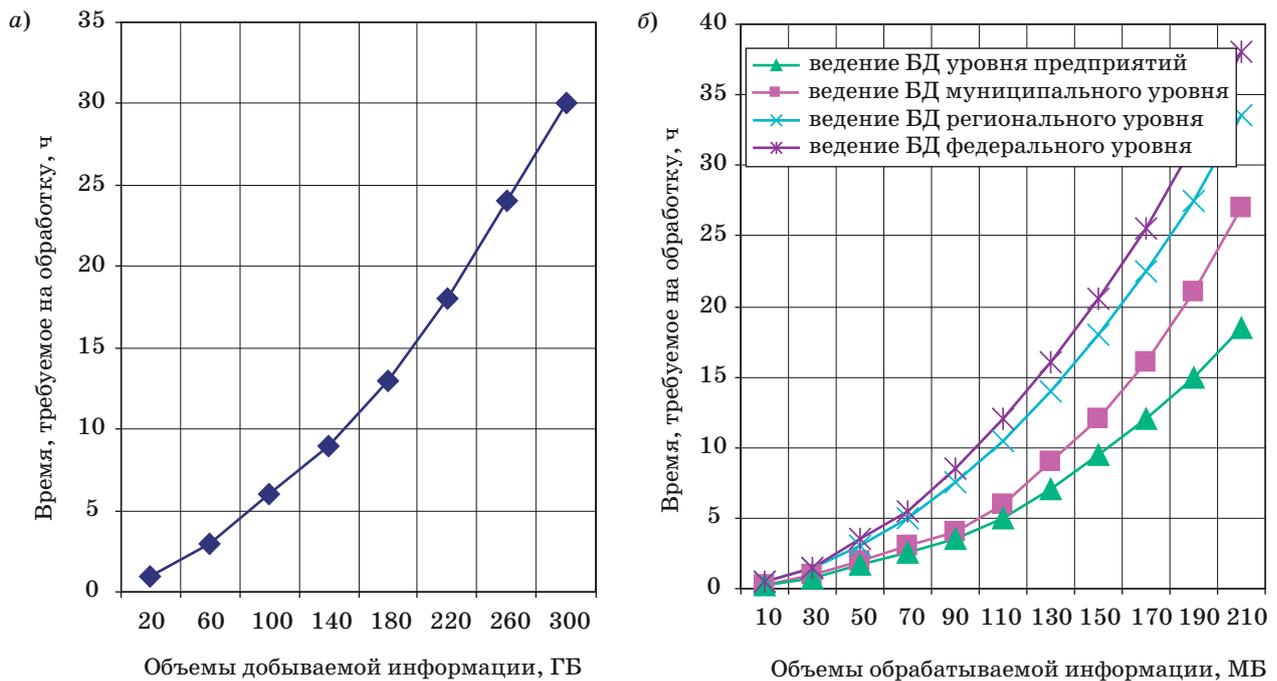


Рис. 2. Время, затрачиваемое на учет, первичную обработку (а), поиск и актуализацию (б) ГПД

Стоит отметить, что для расчета времени, в целом затрачиваемого на решение задачи реагирования на событие  $m$ -го типа, не достаточно просуммировать времена  $\tau_{nm}$ . Это связано с тем, что всегда существует задержка между моментом времени, когда событие произошло, и моментом времени, когда на него началась реакция СКО ГПД. Также в условиях ограниченности имеющихся ресурсов существует время ожидания доступности требуемого ресурса (время нахождения очереди к нему).

Время, в целом затрачиваемое на решение задачи реагирования на  $i$ -е событие  $m$ -го типа на ОМ, можно определить формулой

$$\tau_{m_i} = t_{1_i} + t_{2_i} + \sum_{n=1}^N (\omega_{nm} (\tau_{nm} + T_n)),$$

где  $t_{1_i}$  — время задержки начала реакции на  $i$ -е событие;  $t_{2_i}$  — время, отводимое на доведение результатов заинтересованным лицам;  $T_n$  — время ожидания доступности  $n$ -го ресурса (нахождения в очереди);

$$\omega_{nm} = \begin{cases} 0, & \chi_{nm} \leq X \\ 1, & \chi_{nm} > X \end{cases}$$

Кроме того, стоит отметить, что времена  $t_{1_i}$  и  $T_n$  в общем случае не являются константами и зависят от загруженности СКО ГПД.

Физический смысл параметра  $\omega_{nm}$  заключается в следующем. Если значение  $\chi_{nm}$  не больше некоторого настраиваемого глобального конфи-

гурационного параметра  $X$ , то  $n$ -й ресурс исключается из процесса решения  $m$ -й задачи, и время  $\tau_{nm}$  не учитывается при расчете общего времени, затрачиваемого на ее решение.

Физический смысл параметра  $t_{1_i}$  заключается в том, что всегда существует разница между моментом времени, когда событие на ОМ произошло, и моментом, когда оно было зафиксировано средствами ДЗЗ и передано в СКО ГПД. Связана она с тем, что, с одной стороны, наблюдение средствами ДЗЗ за заданным объектом не является непрерывным, а носит дискретный характер, а с другой — передача данных с борта космического аппарата на пункты их приема происходит не сразу после фиксации заданного объекта мониторинга, а по заданному дискретному регламенту.

Параметр  $T_n$  определяется следующим образом:

$$T_n = \varepsilon_n \cdot F(n),$$

где  $F(n)$  — процедура, определяющая время ожидания доступности ресурса  $n$ -го типа;  $\varepsilon_n$  определяет возможность наличия очереди к ресурсу  $n$ -го типа.

Значение для  $\varepsilon_n$  задается на основе анализа значения соответствующего элемента вектора  $\sigma = \{\sigma_n\}$ ,  $n = 1, N$ , которое определяется исходя из следующих соображений.

Ресурсы в СКО ГПД разделяются на два класса. В первый входят ресурсы, связанные с участием в процессе обработки человека-оператора, т. е. предполагающие автоматизированный или

ручной режим работы. Для таких ресурсов изначально значение  $\sigma_n > 0$ . Оно уменьшается на 1, когда ресурс  $n$ -го типа назначается для решения той или иной задачи, и увеличивается на 1, когда ресурс  $n$ -го типа завершает свою работу над очередной задачей. В случае, когда  $\sigma_n = 0$ , считается, что такой ресурс недоступен.

Во второй класс входят ресурсы, которые функционируют без участия человека-оператора, т. е. в автоматическом режиме. Считается, что временем ожидания их доступности можно пренебречь, и они способны параллельно обслуживать решение сразу большого числа задач. Для таких ресурсов  $\sigma_n = -1$ . Характерными примерами таких ресурсов могут служить различные базы тематических данных, а также вычислительные сервисы, функционирующие по принципу «черного ящика».

Тем самым  $\varepsilon_n$  задается следующим образом:

$$\varepsilon_n = \begin{cases} 1, & \sigma_n = 0 \\ 0, & \sigma_n \neq 0 \end{cases}$$

Опишем алгоритм, реализующий функцию  $F(n)$ .

На шаге 1 вычисляется, для решения задач какого типа назначен каждый из имеющихся ресурсов  $n$ -го типа (вычисление матрицы  $W_{nm}$ ):

$$W_{nm} = \{r_{nm}^{k_n}, \Delta\tau^{k_n}\},$$

где  $r_{nm}^{k_n}$  —  $k$ -й ресурс  $n$ -го типа,  $k_n = 1, K_n, K_n$  — количество ресурсов  $n$ -го типа;  $\Delta\tau^{k_n}$  — время, которое уже прошло с начала решения текущей задачи  $k_n$ -м ресурсом.

На шаге 2 на основе анализа регламента ( $r_{nm}$ ), задающего, сколько времени должно тратиться для решения задачи  $m$ -го типа, а также информации о том, сколько времени уже решается текущая задача каждым ресурсом  $n$ -го типа, про-

изводится их ранжирование по прогнозируемому времени ожидания их доступности и вычисляется минимальное время ожидания освобождения какого-либо ресурса  $n$ -го типа:

$$T'_n = \min_{1 \leq k_n \leq K_n} (\tau_{nm} - \Delta\tau^{k_n}).$$

На шаге 3 вычисляется количество задач  $s_i$ , которые уже находятся в очереди к ресурсу  $n$ -го типа, и вычисляется время, требуемое на прохождение данной очереди:

$$T''_n = \sum_i \tau_{nm}^i.$$

На шаге 4 вычисляется общее время  $T_n$  ожидания доступности ресурса  $n$ -го типа:

$$T_n = T'_n + T''_n.$$

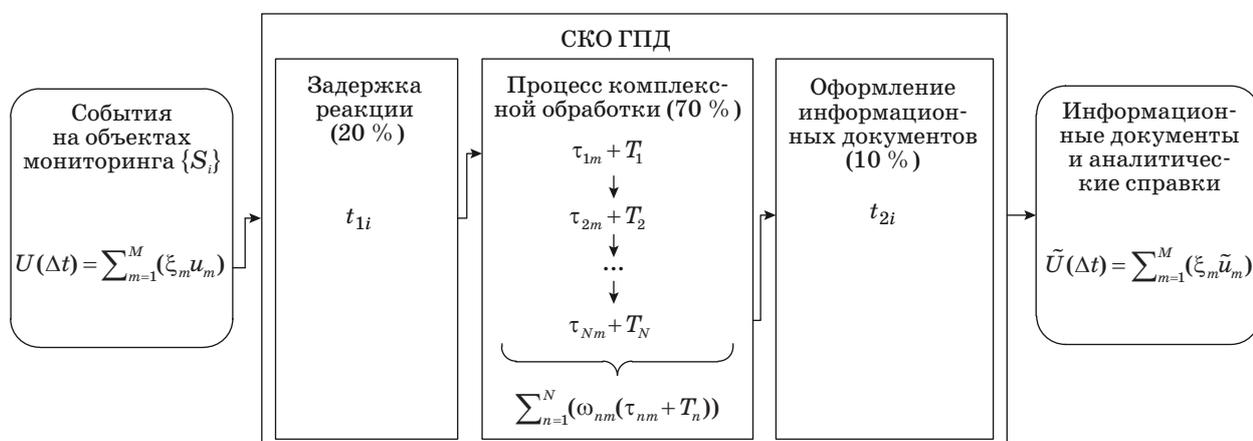
Схема операционно-временной модели функционирования системы комплексной обработки геопространственных данных представлена на рис. 3. Данная модель позволяет оценить затраты времени на основные этапы функционирования СКО ГПД.

С учетом разработанной операционно-временной модели функционирования СКО ГПД подходы к решению задачи рационального распределения ее ресурсов могут быть переформулированы следующим образом:

— во-первых, минимизация общего времени  $\tau_{mi}$ , требуемого для решения очередной задачи  $m$ -го типа;

— во-вторых, перераспределение ресурсов СКО ГПД в условиях их дефицита на решение задач по реагированию на события с учетом их относительной значимости.

В рамках первого подхода необходимо констатировать, что модель функционирования существующей СКО ГПД имеет ярко выраженный ре-



■ Рис. 3. Схема операционно-временной модели функционирования СКО ГПД

активный характер, который заключается в том, что деятельность ее ресурсов либо является стационарной (плановой), либо является результатом реакции на события, произошедшие на объектах мониторинга (причем если их удалось зафиксировать средствами наблюдения). Такая модель никак не учитывает характер развития ситуаций в пространстве объектов мониторинга. Тот факт, что СКО ГПД функционирует в рамках такой модели, приводит к тому, что она всегда будет опаздывать за развитием ситуации и находиться в роли догоняющего.

Таким образом, первый подход заключается в интеллектуализации процесса функционирования СКО ГПД на основе применения баз знаний интеллектуальных систем [7–9], а именно в переходе от реактивных моделей и методов ведения мониторинга к *проактивным*, которые будут способны:

— во-первых, предвидеть возможные варианты развития ситуаций в пространстве объектов мониторинга (т. е. возникновения на них новых событий, причиной которых служат уже произошедшие события на других объектах мониторинга), в том числе в условиях неполноты информации о них [9, 10];

— во-вторых, ограничить степень участия человека в цикле управления ресурсами комплексной обработки, а также автоматически предлага-

вать варианты формирования сценариев решения задач мониторинга [11, 12].

В рамках второго подхода необходимо учесть тот факт, что событие, имеющее небольшое значение коэффициента относительной значимости, в итоге может служить причиной возникновения событий с высоким значением этого коэффициента. Тем самым с учетом положений первого подхода необходимо динамически изменять (повышать) коэффициент относительной значимости таких событий в процессе функционирования СКО ГПД.

## Заключение

Следует ожидать, что использование предложенных взаимодополняющих подходов к управлению ресурсами СКО ГПД при решении задач мониторинга территориально распределенных объектов позволит существенно уменьшить время реагирования на каждое возникающее событие и тем самым повысить качество функционирования СКО ГПД в целом. При этом центральным звеном в предложенных подходах будет являться система прогнозирования возникновения событий на ОМ. Решающую роль в адекватности прогнозирования будут играть качество и полнота базы знаний о ситуациях в пространстве объектов мониторинга. Однако детальное изучение этого вопроса является предметом отдельного исследования.

## Литература

1. Севастьянов Н. Н., Бранец В. Н., Панченко В. А. и др. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли // Тр. МФТИ. 2009. Т. 1. № 3. С. 14–22.
2. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Ходненко В. П. Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов // Вопросы электро-механики. 2010. Т. 114. С. 15–26.
3. Карин С. А. Интеграция в едином информационном пространстве разнородных геопространственных данных // Информационно-управляющие системы. 2012. № 2. С. 89–94.
4. Карин С. А. Построение предметно-ориентированной онтологии в системах обработки пространственных данных // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4. С. 78–84.
5. Белоусов С. М. Математическая модель многопоточной системы массового обслуживания, управляемой планировщиком ресурсов // Вестник Новосибирского государственного университета. Сер. Информационные технологии. 2006. Т. 4. № 1. С. 14–26.
6. Карин С. А., Дудин Е. А. Подходы к созданию распределенной системы сбора, хранения и обработки геопространственных данных // Информация и космос. 2014. № 3. С. 46–51.
7. Найханова Л. В. Технология создания методов автоматического построения онтологий с применением генетического и автоматного программирования: монография. — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. — 244 с.
8. Бениаминов Е. М. Алгебраические методы в теории баз данных и представлении знаний. — М.: Научный мир, 2003. — 184 с.
9. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб.: Питер, 2000. — 384 с.
10. Калиниченко Л. А. Машины баз данных и знаний. — М.: Наука, 1990. — 296 с.
11. Берзин Е. А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. — М.: Сов. радио, 1974. — 304 с.
12. Лапшин В. А. Онтологии в компьютерных системах. — М.: Научный мир, 2010. — 224 с.

UDC 528.83

doi:10.15217/issn1684-8853.2017.2.51

**Operational and Temporal Model of Complex Geospatial Data Processing Systems with Insufficient Resources**Karin S. A.<sup>a</sup>, PhD, Mil., Associate Professor, sergey.karin@gmail.com<sup>a</sup>A. F. Mozhayskii Military Space Academy, 13, Zhdanovskaia St., 197082, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Introduction:** Improving the information capabilities of modern remote sensing satellites and increasing the number of geographically distributed objects whose events can be interesting for the monitoring are fundamentally limited by the possibilities of the geospatial data processing systems. Therefore, the system resources should be rapidly reallocated in order to solve all the problems more exhaustively. **Purpose:** To develop an operational and temporal model for the functioning of complex geospatial data processing systems, which would take into account the coefficient of relative importance of the incoming events and allow you to develop effective methods of operational management of such systems. **Results:** We have determined a quality score for the functioning of a geospatial data integrated processing system. It characterizes the completeness of solving the problems within a specified period of time, taking into account the event significance. An operational and temporal model has been developed for the functioning of such a system, which takes into account the coefficient of relative importance of incoming events and the delays in responses to them. Mutually complementary approaches have been proposed to the resource management of such systems. The first one is predicting the emergence of new events on the base of the information about the previous events. The second one is the redistribution of resources in order to meet the challenges in responding to the events according to their relative importance. **Practical relevance:** The proposed operational and temporal model can significantly improve the effectiveness of integrated geospatial data processing systems and thus reduce the cost of their operation, as it is the basis for developing efficient methods of operative management of complex processing resources when these resources are insufficient.

**Keywords** — Geospatial Data, Earth Remote Sensing, Rational Allocation of Resources, Complex Data Processing, Knowledge Base, Feedforward Control.

**References**

1. Sevast'ianov N. N., Branets V. N., Panchenko V. A., et al. Analysis of the Current Capabilities of Small Satellites to Create a Remote Sensing. *Trudy MFTI*, 2009, vol. 1, no. 3, pp. 14–22 (In Russian).
2. Makridenko L. A., Volkov S. N., Khodnenko V. P. Conceptual Questions of Creation and Application of Small Satellites. *Voprosy elektromekhaniki*, 2010, vol. 114, pp. 15–26 (In Russian).
3. Karin S. A. Integration in the Single Information Space of Heterogeneous Geospatial Data. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2012, no. 2, pp. 89–94 (In Russian).
4. Karin S. A. Construction of the Domain-Dpecific Ontologies in Spatial Data Processing Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2014, no. 4, pp. 78–84 (In Russian).
5. Belousov S. M. Mathematical Model of a Multi-threaded Queuing System, Controlled by the Scheduler Resources. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Informatsionnye tekhnologii*, 2006, vol. 4, no. 1, pp. 14–26 (In Russian).
6. Karin S. A., Dudin E. A. Approaches to the Creation of a Distributed System for the Collection, Storage and Retrieval of Geospatial Data. *Informatsiia i kosmos*, 2014, no. 3, pp. 46–51 (In Russian).
7. Naikhanova L. V. *Tekhnologiia sozdaniia metodov avtomaticheskogo postroeniia ontologii s primeneniem geneticheskogo i avtomatnogo programmirovaniia* [Technology for Creating Methods of Automatic Construction of Ontologies Using Genetic Programming and Automata]. Ulan-Ude, BNTs SO RAN Publ., 2008. 244 p. (In Russian).
8. Beniaminov E. M. *Algebraicheskie metody v teorii baz dannykh i predstavlenii znanii* [Algebraic Methods in the Theory of Databases and Knowledge Representation]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2003. 184 p. (In Russian).
9. Gavrilova T. A., Khoroshevskii V. F. *Bazy znanii intellektual'nykh sistem* [Knowledge Databases in Intelligent Systems]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2000. 384 p. (In Russian).
10. Kalinichenko L. A. *Mashiny baz dannykh i znanii* [Data and Knowledge Base Machines]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 296 p. (In Russian).
11. Berzin E. A. *Optimal'noe raspredelenie resursov i elementy sinteza sistem* [Optimal Allocation of Resources and Elements of Synthesis of Systems]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1974. 304 p. (In Russian).
12. Lapshin V. A. *Ontologii v komp'iuternykh sistemakh* [Ontology in Computer Systems]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2010. 224 p. (In Russian).