

# НАПРАВЛЕНИЯ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛА ПРИКЛАДНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОИСКОВЫХ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.И. Алчинов, И.Н. Гороховский

**Аннотация.** В развитие концепции создания прикладной географической информационной системы моделирования поисковых корреляционно-экстремальных навигационных систем для управления движущимися объектами исследована возможность использования параллельных, распределённых и облачных вычислений при моделировании КЭНС. Использование КЭНС в современных условиях порождает необходимость диагностирования работы навигационной системы при стрессовом воздействии на их съёмочные системы. Моделирование параметров стрессового воздействия предполагает обращение к специализированным базам данным, содержащим характеристики объектов местности в разных диапазонах длин волн электромагнитного излучения. Этих характеристик в геоинформационных системах (ГИС) и облачных средах, как правило, нет. Показано, что диагностику КЭНС следует производить на основе моделирования съёмочной системы с использованием облачных ГИС. Рассмотрены вопросы организации параллельных вычислений для решения задач, связанных с распознаванием образов. Выявлена специфика параллельной структуры поисковых алгоритмов КЭНС, учёт которой при реализации этих алгоритмов средствами вычислительных систем, поддерживающих параллельные вычисления, позволяет наиболее полно использовать их преимущества.

**Ключевые слова:** облачные вычисления, облачный сервис, параллельные вычисления, вычислительные системы, распознавание образов, облачная географическая информационная система, поисковая корреляционно-экстремальная навигационная система.

## ВВЕДЕНИЕ

Бортовые поисковые корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС) беспилотных аппаратов различного назначения (морских, космических и наземных) решают задачу определения параметров их движения путём проверки гипотез о значениях этих параметров в процессе совмещения текущего изображения участка местности (ТИМ), полученного бортовой съёмочной системой (СС) в очередном сеансе автономной навигации в заданном районе, и фрагментов эталонного изображения (ЭИ) этого района, которое записывается в память бортового вычислителя заблаговременно. В процессе поиска фрагмента ЭИ, близкого по содержанию к ТИМ в смысле исполь-

зуемой в бортовом алгоритме функции близости, используется регулярная сетка сдвигов рамки соответствующего размера и ориентации, выделяющей очередной фрагмент ЭИ. Проверяются гипотезы о равенстве искомым параметрам значениям в узлах сетки. Принимается гипотеза, для которой функция близости изображений экстремальна. Применяются различные схемы поиска экстремума: глобальные (полный перебор) и локальные (градиентные). Как показано в работах авторов [1, 2], предметная область автономной навигации в современных условиях требует развития методов проверки гипотез о значениях параметров движения мобильных автоматов более общего вида, чем описанные выше. Будем в статье называть такие методы обзорно-сравнительными. Для технических же систем, реализующих эти методы, сохра-



ним приведённое выше исторически сложившееся название и обозначение.

В указанных статьях было дано обоснование актуальности ускоренного развития КЭНС на современном этапе и показано, что перспективным направлением работы по достижению этой цели является создание прикладной географической системы моделирования КЭНС (ПГИСМ КЭНС), оснащённой средствами сборки компьютерных моделей широкого спектра вариантов КЭНС и макетов технологий их настройки на сеансы работы в заданных районах из готовых программных компонентов для проведения вычислительных экспериментов по оценке эффективности и устойчивости к влиянию стрессовых воздействий.

Авторами была предложена математическая модель [1], позволяющая обосновать состав и требования к функционалу и пространственным данным для таких программных компонентов. В первом разделе данной статьи эта математическая модель применяется для выявления и описания в терминах смежных предметных областей аналогов программных компонентов и пространственных данных ПГИСМ КЭНС. При наличии доступа к таким компонентам и данным могут быть минимизированы затраты на реализацию ПГИСМ КЭНС. Также получено компактное описание общей параллельной структуры поисковых алгоритмов КЭНС, что может быть использовано при реализации ПГИСМ КЭНС на базе параллельных вычислительных систем.

Анализу возможности и вариантов доступа к аналогам компонентов ПГИСМ КЭНС в смежных областях посвящены § 2 и 3 настоящей статьи.

При разработке моделей и макетов поисковых КЭНС и их настройке на работу используется множество изображений в различных диапазонах длин волн электромагнитного излучения (ЭМИ). Обработка изображений на вычислительных системах (ВС) сопряжена с большими объёмами данных и соответствующим процессорным временем, затрачиваемым на выполнение задач имитационного моделирования КЭНС [1–3]. Необходимо повышение производительности ВС путём использования параллельных вычислений в современных облачных средах – облачных ГИС, так называемых распределённых ГИС, которые обеспечивают децентрализацию управления при параллельной обработке задач моделирования [4, 5].

Облачные среды постоянно хранят большие объёмы данных – снимки дистанционного зонди-

рования земли, например, в виде гиперкуба информации, который будет временно кэшироваться на стороне пользователя. Он же получает быстрый доступ к данным, при этом экономятся время и ресурсы. Здесь речь идёт о распределённых ГИС, принадлежащих одной или нескольким организациям, занимающимся проблемами КЭНС. Программные средства, структуры хранилищ и интерфейса ПГИСМ КЭНС, методы распознавания образов, анализа сцен, кластеризации и обучения нейронных сетей могут быть реализованы с использованием сетевых сервисов с быстрым поиском необходимой информации [3, 6, 7].

В настоящее время указанные задачи решаются с помощью известных классических подходов на компьютерах, которые связаны с серверными базами данных в рамках одной или нескольких организаций. Каждая группа задач решается в своих приложениях, при этом возможно применение разных подходов при декомпозиции задач. Методы и средства реализации параллелизма зависят от того, на каком уровне они должны обеспечиваться. Возможности и используемые средства реализации параллельных вычислений зависят от уровня команд, потоков данных и заданий.

Направления дальнейшего развития поисковых КЭНС авторы связывали с поиском новых принципов построения бортовых алгоритмов, их интеллектуализацией и применением новых типов съёмочных систем и их комплексированием, а также реализацией параллельных алгоритмов КЭНС, включая возможности облачных технологий.

Появление процессоров, ориентированных на параллельные схемы вычислений, развитие средств программирования систем по обучению нейросетей на больших данных в средах облачных вычислений обусловили актуальность ускоренного развития КЭНС [1, 2].

Указанные обстоятельства определили необходимость расширения исследований и разработок с использованием вычислительного комплекса, который может предоставить все необходимые средства для сборки моделей широкого спектра КЭНС и макетов технологий их настройки на работу в заданных районах из готовых программных компонентов с использованием специального интерфейса к базам данных, и проведения экспериментов.

Функционал, позволяющий моделировать поисковые КЭНС и макеты технологий их настройки, может быть реализован в ГИС общего назначения

с использованием универсальных средств работы с геопространственной информацией. Расширение указанного функционала на основе анализа облачных технологий и параллельных вычислений приводится в § 2 и 3 статьи. Также в статье исследованы возможности облачных технологий и параллельных вычислений, особенности их применения при моделировании поисковых КЭНС, проведён анализ их возможной реализации при моделировании КЭНС с использованием возможных средств и технологий обработки данных.

Максимальная эффективность ВС, поддерживающей параллельные вычисления, достигается на уровне, обеспечивающем параллелизм в системе с проведённой декомпозицией задач, которые могут выполняться одновременно [1, 2]. Проведён анализ подходов к организации вычислений в современных ВС и получены данные, необходимые при выборе ВС для решения сложных задач. Представлена декомпозиция одной из основных задач ПГИСМ КЭНС: моделирование работы КЭНС и определение специфики параллельной структуры алгоритмов решения этой задачи.

Целью настоящего исследования является расширение функционала существующих ГИС общего назначения для эффективного решения задач моделирования поисковых КЭНС. Для достижения этой цели в данной работе получила дальнейшее развитие математическая модель поисковых КЭНС. На основе этой модели проведена декомпозиция задач ПГИСМ КЭНС, включая задачи моделирования стрессовых воздействий на их съёмочные системы. Выполнен анализ возможностей применения для их решения облачных технологий общего назначения и существующих облачных ГИС, предназначенных для обработки геопространственной информации. Полученные результаты предлагается использовать при реализации ПГИСМ КЭНС.

## 1. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ СТРУКТУРА АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КЭНС И АНАЛОГИ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПГИСМ КЭНС В СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЯХ

Исходные положения.

• Максимальная эффективность ВС, выбранной для реализации ПГИСМ КЭНС, может быть достигнута, если её характеристики выбраны с учётом специфики исходных данных и алгоритмов компьютерного моделирования процессов

настройки КЭНС на автономную ориентацию с применением обзорно-сравнительных методов и работы настроенной КЭНС при воздействии различных мешающих, в том числе стрессовых факторов. Моделирование подобных процессов связано с применением на пределе возможностей даже самых современных ВС. Определяющими становятся не только доступный объём памяти и быстрое действие процессоров и устройств обмена между ними, но и их специализация и возможность организации параллельной работы над подзадачами общих задач, решаемых в процессе моделирования [4]. Центральной в ПГИСМ КЭНС является общая задача моделирования работы КЭНС, уже настроенных на проведение автономной ориентации. Специфика параллельной структуры алгоритмов решения этой общей задачи рассмотрена ниже. Особенности моделирования процессов настройки КЭНС на работу и процессов синтеза изображений для различных съёмочных систем (СС), применяемых в КЭНС, будут раскрыты в последующих публикациях авторов.

• Чтобы определить специализацию процессоров ВС и воспользоваться возможностью организации их параллельной работы применительно к выбранной центральной общей задаче ПГИСМ КЭНС, необходимо осуществить её декомпозицию на подзадачи и выделить те из них, которые можно решать только последовательно, передавая результаты решения предыдущей подзадачи в качестве исходных данных для последующей, и те, которые могут решаться параллельно.

Требуемая декомпозиция может быть осуществлена с применением математических моделей, предложенных в работах авторов [2, 3]. Как и в этих работах, ограничимся поисковыми КЭНС, в которых СС фиксирует изображение  $S$  сцены на участке местности, а бортовой алгоритм уточняет плановые координаты  $d = (X, Y)$  летательного аппарата (ЛА) в момент съёмки. Пусть  $M$  – множество изображений  $S$ , которые могут поступить от СС на вход бортового алгоритма КЭНС в момент съёмки. Тогда поисковую КЭНС, настроенную на решение задачи автономной ориентации, можно рассматривать, как вычислитель значений фиксированной в процессе настройки функции  $\hat{f}(S): M \rightarrow \hat{D}$  для любого поступившего от СС «значения» «переменной»  $S \in M$ . То есть при получении изображения  $S$  КЭНС вычислит значение функции  $\hat{f}(S) = \hat{d} \in \hat{D}$  и выдаст его в качестве от-



вета. Конечное множество  $\hat{D}$  объединяет все варианты ответов вычислителя на вопрос о местоположении ЛА в момент получения изображения  $S$ . Для обобщённых ступенчатых функций, определённых на иерархических разбиениях множества  $M$  на непересекающиеся классы, в которых для каждого уровня разбиения может применяться своё предварительное преобразование изображения, в работах [1, 2] получено общее аналитическое выражение. В данной статье мы ограничим число  $r$  уровней иерархического разбиения на классы и подклассы двумя. Этого достаточно для декомпозиции общей задачи и выявления искомой специфики параллельности. Кроме того, с большой долей достоверности можно утверждать, что этот вариант наиболее интересен для практики применения КЭНС.

В этом случае:

$$M = \bigcup_{i=1}^l K_i, \text{ где } K_m \cap K_n = \emptyset \quad \forall m, n \in [1, l], m \neq n,$$

$$K_i = \bigcup_{j=1}^{l_i} K_{ij}, \text{ где } K_{im} \cap K_{in} = \emptyset$$

$$\forall i = 1, \dots, l \text{ и } m, n \in [1, l_i], m \neq n.$$

Тогда в обобщённой векторной форме, в которой угловыми скобками обозначена операция скалярного произведения двух векторов, функция  $\hat{f}(S)$  имеет вид:

$$\hat{f}(S) = \left\langle \chi(S), \left( \left\langle \chi_1(S), \hat{\mathbf{d}}_1 \right\rangle, \left\langle \chi_2(S), \hat{\mathbf{d}}_2 \right\rangle, \dots, \left\langle \chi_l(S), \hat{\mathbf{d}}_l \right\rangle \right) \right\rangle, \quad (1)$$

где  $\chi(S) = (\chi_1(S), \chi_2(S), \dots, \chi_l(S))$ ;

$\chi_i(S)$  – характеристическая функция класса  $K_i$ ,  $i = 1, \dots, l$ ;

$\chi_i(S) = (\chi_{i1}(S), \chi_{i2}(S), \dots, \chi_{il_i}(S))$ ;

$$\left\langle \chi_i(S), \hat{\mathbf{d}}_i \right\rangle = \sum_{j=1}^{l_i} \chi_{ij}(S) \hat{d}_{ij};$$

$\chi_{ij}(S)$  – характеристическая функция класса  $K_{ij}$

$i = 1, \dots, l, j = 1, \dots, l_i$ ;

$$\hat{\mathbf{d}}_i = (\hat{d}_{i1}, \hat{d}_{i2}, \dots, \hat{d}_{il_i}).$$

Учитывая возможные предварительные преобразования  $\pi(S), \pi_i(S)$  входного изображения  $S$  на

первом и втором уровне разбиения, тот факт, что алгоритмы вычисления значений вектор-функций  $\chi(\pi(S))$  и  $\chi_i(\pi_i(S))$  решают именно задачи определения класса, которому принадлежит изображение  $S$ , а также фундаментальную теорему о представлении любого алгоритма распознавания через последовательное выполнение распознающего оператора и решающего правила, получим [8]:

$$\chi(S) = \mathbf{C}(\mathbf{B}(\pi(S))),$$

где  $\mathbf{B}(\pi(S)) = (b_1(\pi(S)), b_2(\pi(S)), \dots, b_l(\pi(S)))$ ;

$b_i(\pi(S))$  – числовая мера близости изображения к классу  $K_i \in M$ ;

$$\mathbf{C}(b_1(\pi(S)), b_2(\pi(S)), \dots, b_l(\pi(S))) = (c_1, c_2, \dots, c_l),$$

где  $c_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, l$ ;

$\chi_i(S) = \mathbf{C}_i(\mathbf{B}_i(\pi(S)))$ ,  $\mathbf{B}_i$  и  $\mathbf{C}_i$  описываются аналогично.

Тогда выражение (1) для функции  $\hat{f}(S)$  вычислителя КЭНС приобретает вид:

$$\hat{f}(S) = \left\langle \mathbf{C}(\mathbf{B}(\pi(S))), \left( \left\langle \mathbf{C}_1(\mathbf{B}_1(\pi_1(S))), \hat{\mathbf{d}}_1 \right\rangle, \left\langle \mathbf{C}_2(\mathbf{B}_2(\pi_2(S))), \hat{\mathbf{d}}_2 \right\rangle, \dots, \left\langle \mathbf{C}_l(\mathbf{B}_l(\pi_l(S))), \hat{\mathbf{d}}_l \right\rangle \right) \right\rangle. \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что общая задача включает подзадачи вычисления «значений» предварительных преобразований, входящих в данное выражение (далее подзадачи типа  $\pi$ ). Результаты решения подзадачи типа  $\pi$  являются исходными данными для соответствующей подзадачи вычисления вектора числовых мер близости к классам

разбиения  $M = \bigcup_{i=1}^l K_i$  (далее подзадачи типа  $B$ ). Ре-

зультаты решения подзадачи типа  $B$  являются исходными данными для соответствующей подзадачи типа  $C$ , определяющей по результатам анализа вектора меры близости класс, к которому принадлежит изображение. После принятия решения о принадлежности изображения к некоторому классу первого уровня разбиения процедура повторяется для разбиения этого класса с решением подзадач типов  $\pi, B$  и  $C$ . Процесс завершается выборкой из памяти вычислителя значения  $\hat{d}_{ij}$ , соответствующего классу разбиения, выбранному решающим правилом второго уровня разбиения. Подзадачи

типа  $C$  решаются только после решения соответствующей подзадачи типа  $B$ , которая может решаться только после решения задачи типа  $\pi$ . «Координаты» векторов в этом процессе могут вычисляться параллельно, скалярные произведения – только последовательно по мере готовности значений операндов. Такова специфика параллельности задачи моделирования работы КЭНС. Уровень параллельности ВС для её решения по классификации, приведённой в работе [5], относится к уровню потоков. При этом ускорение выполнения программы благодаря распараллеливанию её инструкций на множестве вычислителей ограничено временем, необходимым для выполнения её последовательных инструкций.

Отметим, что предложенная математическая модель даёт возможность реализовать ПГИСМ КЭНС с максимальным использованием готовых компьютерных компонентов из предметных областей, ориентированных на решение задач типа  $\pi$  и типа  $\chi(S) = C(B(\pi(S)))$ , а также задач сбора и обобщения исходных данных для решения задач настройки КЭНС на автономную ориентацию обзорно-сравнительными методами в заданном районе.

Опираясь на математическую модель, удалось также выявить компоненты ПГИСМ КЭНС, имеющие аналоги в смежных предметных областях. При наличии требуемых вариантов доступа к таким компонентам могут быть минимизированы затраты на реализацию ПГИСМ КЭНС. Связи между элементами математической модели и реализующими их программными компонентами из смежных предметных областей представлены в таблице.

Следующие разделы статьи посвящены анализу возможностей и форм доступа к аналогам компонентов ПГИСМ КЭНС в смежных областях.

## 2. ДОСТУП К ОБЛАЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ И ОБЛАЧНЫМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ: СУЩЕСТВУЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Для анализа готовых компонентов (программ и баз данных) при реализации алгоритмов моделирования поисковых КЭНС сделан обзор облачных технологий и облачных ГИС на основе научных исследований, которые могут быть использованы в

прикладных ГИС для моделирования поисковых КЭНС. Облачные технологии были исследованы с целью выявления существующих приложений, которые можно применить для решения задач моделирования в поисковых ГИС, в частности для моделирования съёмочных систем КЭНС. Таких приложений не найдено.

Математические модели компонентов ПГИСМ КЭНС, приведённые в таблице, могут быть реализованы в виде отдельных задач с использованием параллельных и распределённых вычислений.

Исходная информация об условиях ориентирования в районе проведения сеанса автономной навигации мобильного автомата обзорно-сравнительным методом в виде реляционных данных – представительного набора  $N$  «отсчётов» – находится в хранилищах, доступ к которым может быть организован. Для распределённых ГИС это уже организовано, для облачных необходимо разработать соответствующие приложения для организации доступа.

Исходная информация об условиях ориентирования в районе проведения сеанса автономной навигации мобильного автомата обзорно-сравнительным методом в форме компьютерной модели функционирования СС представляется в виде:

- компьютерных моделей местности в районах проведения сеансов,
- имитационных моделей СС,
- компьютерных моделей стрессовых воздействий на местность и изображения её участков для различных СС.

Первые две модели в распределённых ГИС и облачных ГИС уже реализованы, компьютерные же модели стрессового воздействия на СС – нет.

Как указано в третьей строке таблицы, модель бортовых вычислителей включает компоненты типов  $\pi$  и  $B$ , где  $\pi$  – компоненты известных видов цифровой обработки изображений (фильтрация, выделение границ, описание сцен на участках, попавших в кадр, сегментация и т. д.),  $B$  – компоненты известных видов распознающих операторов в составе семейств алгоритмов распознавания образов (потенциальных функций, разделяющих поверхностей, голосования и т. д.). Возможность их реализации в облачных ГИС находится в стадии изучения.



### Аналоги компонентов ПГИСМ КЭНС в смежных предметных областях

Математические модели компонентов ПГИСМ КЭНС	Аналоги в смежных предметных областях
<p>Исходная информация об условиях ориентирования в районе проведения сеанса автономной навигации мобильного автомата обзорно-сравнительным методом в форме таблицы, содержащей представительный набор <math>N</math> «отсчётов» <math>(S_j, d_j)</math> функции <math>f(S): M \rightarrow D</math>, описывающей эти условия:</p> $I_0 \{f(S): M \rightarrow D\} = (S_j, d_j), d_j \in D, j = 1, \dots, N,$ <p>где <math>D</math> – множество допустимых в сеансе значений уточняемого параметра.</p>	<p>Хранилища изображений, полученных при съёмке различных территорий с различных движущихся объектов и с использованием на них СС, подобных применяемым в КЭНС.</p>
<p>Исходная информация об условиях ориентирования в районе проведения сеанса автономной навигации мобильного автомата обзорно-сравнительным методом в форме компьютерной модели функционирования СС в этом районе:</p> $I_0 \{f(S): M \rightarrow D\} = \hat{f}^{-1}(d, p), d \in D, p \in P,$ <p>где <math>p \in P</math> – учтённые при моделировании СС возмущающие параметры, сведённые в один обобщённый параметр <math>p</math> с областью допустимых значений <math>P</math>. Имитационная модель СС должна приближать функцию <math>f^{-1}(d)</math>, <math>d \in D</math>, обратную к <math>f(S): M \rightarrow D</math>.</p>	<p>Компьютерные модели функционирования съёмочных систем в районах проведения сеансов автономной навигации. Имеют в своём составе компоненты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• компьютерные модели местности в районах проведения сеансов;</li> <li>• имитационные модели СС, обеспечивающие формирование изображений участков в районах проведения сеансов по модели местности в этом районе подобно реальной СС;</li> <li>• компьютерные модели стрессовых воздействий на местность и изображения её участков для различных СС.</li> </ul>
<p>Бортовой вычислитель КЭНС: параметрическое семейство однозначных функций <math>\{\hat{f}(\alpha)(S)\}_{\alpha \in A}</math>, где <math>\hat{f}(\alpha)(S): M \rightarrow \hat{D}</math> – конкретная функция из этого семейства, выбор которой в процессе настройки КЭНС на проведение сеанса автономной навигации обзорно-сравнительным методом в заданном районе однозначно определяется значением обобщённого параметра <math>\alpha \in A</math>. Выше было показано, что приближающие функции из параметрического семейства ступенчатых функций, в свою очередь, включают компоненты типов <math>\pi</math> и <math>B</math>.</p>	<p>Имеют в своём составе компоненты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• типа <math>\pi</math>: компоненты всех известных видов цифровой обработки изображений (фильтрация, выделение границ, описание сцен на участках, попавших в кадр, сегментация и т. д.);</li> <li>• типа <math>B</math>: компоненты всех известных видов распознающих операторов в составе семейств алгоритмов распознавания образов (потенциальных функций, разделяющих поверхностей, голосования и т. д.).</li> </ul>

Рассмотрены также основные базы данных, их структура, содержание для использования в задачах моделирования поисковых КЭНС. Установлено, что изображения местности, полученные в разных диапазонах длин волн электромагнитного излучения, преимущественно стандартизованы, хранятся в разных известных форматах; их использование через облачные сервисы не представляет сложности. Однако проблема заключается в обработке значительных объёмов информации, содержащихся прежде всего в космических снимках.

В облачных средах не обнаружены специальные базы данных с отражающими и поглощающими характеристиками местности, которые необходимы для формирования исходных навигационных опорных данных в заданных диапазонах длин волн ЭМИ, а также для диагностики работы КЭНС в

условиях стрессовых воздействий, когда необходимые параметры стрессового воздействия получаются с учётом параметров объектов местности.

В настоящее время различают следующие виды сервиса и услуг с использованием облачных вычислений: *Software as a Service* (SaaS) – программное обеспечение как сервис, *Infrastructure as a Service* (IaaS) – инфраструктура как услуга, *Platform as a Service* (PaaS) – платформа как услуга.

Простые интеграционные решения предполагают использование традиционных средств программного обеспечения, которые определяют конструкцию архитектуры программного обеспечения [5, 9]. Наибольшее развитие сейчас имеют такие технологические направления, как контейнеризация, микросервисная облачная архитектура, мультиоблачные решения и гибридные облачные сре-

ды. Эти технологические решения напрямую связаны с созданием ПГИСМ поисковой КЭНС, в которой множество задач необходимо выполнять параллельно, используя облачные технологии для децентрализации вычислений.

Сейчас облачные вычисления находят применение в разных сферах деятельности, однако информация о применении облачных вычислений при управлении информационным обеспечением технологий создания КЭНС в литературе отсутствует [10, 11]. Этот вывод следует из анализа большого количества публикаций. Объясняется это особенностями программного обеспечения – сложностью, высокой ценой, квалификацией исполнителей по обработке больших объёмов данных с заданными требованиями. Для информационного обеспечения технологии создания КЭНС необходимы базы данных по различным территориям, для чего требуется выполнение больших, сложных и дорогостоящих работ, а также безупречной работы средств использования этих баз данных.

Задачи, связанные с моделированием КЭНС, не могут быть реализованы с помощью облачных технологий в полном объёме, поскольку существуют ограничения технического и нормативно-правового характера:

- большие объёмы данных, которые сложно передавать по сетям [12–15];
- требования по использованию материалов аэрокосмической съёмки, БПЛА или карт и планов определённых масштабов и содержания, ограничивающие их использование.

В последние годы облачные технологии широко используются для предоставления российских государственных услуг. Здесь действует Национальный проект «Цифровая экономика», который уже сейчас способствует росту рынка и развитию информационных технологий.

Использование облачных технологий связано со следующими ограничениями: устойчивость и восстанавливаемость, стандарты безопасности, специальные стандарты и требования соответствия государственным и ведомственным нормативно-правовым актам.

Существующие данные в большинстве своём неструктурированные, некоторые организованы с использованием метаданных, с важнейшим компонентом для объединения любых данных. Использование виртуализации, параллельной обработки, распределённых файловых систем и баз данных в компьютерах существенно повышает эффективность обработки больших данных.

Интернет – распределённая вычислительная сеть, для оптимизации которой при обработке больших данных необходимы не только мощные компьютеры, но и оптимизаторы подключения через WAN-каналы. Компоненты этого сервиса необходимо распределять между несколькими узлами с управлением гипервизора, поддерживающего оптимальное использование ИТ-инфраструктуры. Структура и совместимые стандартизованные среды больших данных имеют важное значение для доступа к приложениям. Эти данные в основном представлены в виде традиционных реляционных баз данных. В основе решения любой задачи с использованием больших данных лежит распределение приложений для параллельных вычислений.

Анализ используемых баз данных показал, что отражающие и поглощающие характеристики для многих объектов местности в базах данных отсутствуют. Они разнородны, не систематизированы, представлены в разных форматах и не могут быть без предварительной обработки использованы при моделировании поисковых КЭНС. Внешнее управление базами данных сложно оптимизировать путём автоматизации программного обеспечения. Поэтому автоматизация предоставления данных, их копирования и масштабирования, а также безопасность доступа к базам данных являются также проблематичными. Более того, такие облачные среды необходимы только специализированным организациям, которые ещё в настоящее время не сформировали базы данных об отражающих и поглощающих характеристиках объектов местности в разных диапазонах длин волн ЭМИ. Это задача, для решения которой требуются многие годы работы.

Именно эти обстоятельства обуславливают необходимость использования ГИС в виде распределённых ГИС – таких как, например, ГИС в облаке. Здесь появляется доступ ко многим видам информации, которые могут существенно повысить возможности ГИС-технологий по созданию новых видов тематических ГИС. Различные ГИС могут формировать собственные базы данных, доступные для других пользователей в виде облачного сервиса. Отметим следующее обстоятельство относительно облачных ГИС: в настоящее время возможности ГИС практически не изменились, реализована лишь возможность виртуальной работы с ГИС.

Ниже приводится описание облачных технологий с распараллеливанием вычислений в задачах моделирования КЭНС.



### 3. РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ И ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ПРИКЛАДНЫХ ГИС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОИСКОВЫХ КЭНС

Распределённые вычисления для решения задач в прикладных ГИС для моделирования поисковых КЭНС могут выполняться на отдельных компьютерах, объединённых в параллельную вычислительную систему. Эти вычисления могут быть реализованы как в одной организации, так и в нескольких специализированных организациях. При этом весь пакет задач, решаемый прикладной ГИС, может быть размещён на одном компьютере в ГИС общего назначения, если нет временных ограничений. При этом используется распределённая база данных в виде набора отношений, составляющих единую совокупность данных, обращение к которой возможно при решении любой задачи из представленного пакета задач с одновременным назначением задач другим компьютерам, а также серверам и облачным сервисам. Здесь же отметим и параллельные базы данных, которые имеют собственную систему управления для распараллеливания выполняемых задач при моделировании КЭНС.

Задачи, решаемые в прикладных ГИС в ВС, представляются в виде отдельных приложений с разными подходами при декомпозиции задач (алгоритмы, гипотезы, см. ниже). В настоящее время специалисты в области информационных технологий пользуются преимущественно ГИС-технологиями, например, при решении задач тематического картографирования. Облачные же технологии, с одной стороны, развивают информационные технологии, с другой – не на всякой платформе могут быть решены задачи, связанные с обработкой больших объёмов данных, включая работу сложного и объёмного программного обеспечения.

Для ГИС-технологий, которые могут быть использованы при моделировании КЭНС, облачные услуги могут представлять хранилища данных. Это аэрокосмические снимки различных масштабов, а также снимки, полученные с БПЛА в разных диапазонах длин волн ЭМИ. Для решения навигационных задач с высокой точностью используются изображения соответствующего разрешения. Для обработки снимков необходимы приложения, которые сейчас разрабатываются некоторыми компаниями. Например, компания Esri рассматривает облачные технологии как одно из направлений

развития платформы ArcGIS. Специально созданный вариант ArcGIS Server 10 для облачной среды встроено в облачную инфраструктуру Amazon. При этом программное обеспечение не устанавливается в облачной среде – эти функции остаются в самой компании. Это новая технология для производства камеральных и полевых топогеодезических работ, при которой облачная ГИС обеспечивает необходимый доступ к данным и инструментам.

Российские ГИС-продукты, как многоцелевые, так и распределённые, развивались в соответствии с мировыми тенденциями геоинформатики – это внедрение клиент-серверных приложений и поддержка Oracle Spatial [16].

Основные существующие российские ГИС: «Панорама» (КБ «Панорама»), «Талка-ГИС» (ИПУ РАН), ГеоГраф (ЦГИ ИГ РАН), ПАРК (Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ»), Sinteks ABRIS (ООО «ТРИСОФТ»), «ИнГео» (Центр системных исследований «Интегро», г. Уфа) [17].

Наиболее известная в России ГИС «Панорама» также использует облачные технологии на геоинформационной станции Panorama @ GeoCloud с управляемой системой подбора вычислительной мощности и времени использования. Этот сервис разработан израильской компанией, он предоставляет возможность удалённой работы с программными продуктами и с базами данных, а также с лучшими программными продуктами в области геоинформационных технологий. В настоящее время эта станция позволяет создавать цифровые карты, производить обработку данных дистанционного зондирования земли, выполнять различные измерения, строить трёхмерные модели местности с использованием облачных баз данных, созданных, однако, израильской компанией, что может быть непригодно для пользователя из России.

Интерес к облачным технологиям в настоящее время не снижает уровень интереса к традиционным ГИС. Сейчас можно говорить о распределённых ГИС как о сервисе – облачных ГИС, о дополнительной платформе, позволяющей расширить технологические решения и одновременно оптимизировать производственные затраты [14]. Предоставление и распределение аппаратного и программного обеспечения посредством сетей является одним из важных направлений развития ГИС нового поколения, поэтому средства ГИС для моделирования КЭНС остаются более привлекательными. Поиск данных, при необходимости их визуализация и загрузка, трансформирование данных согласно установленным требованиям произ-



ходит при обращении к соответствующим сервисам – эти функции реализуются в ГИС. При этом возможна поддержка облачного сервиса в части предоставления снимков, коэффициентов спектральной яркости объектов местности в разных спектрах длин волн ЭМИ. Эти сервисы являются ведомственными.

Как правило, выполняемые в ГИС приложения реализуются в одной операционной системе. Возможны одновременные обращения к многозадачным приложениям, при этом необходимо распараллеливать вычисления задач в приложениях. При реализации нескольких приложений в ГИС следует говорить о многопоточности. В частности, это относится к созданию мешающих факторов для работы КЭНС в виде стрессового воздействия на съёмочную систему КЭНС как случайного характера, так и в виде целенаправленного воздействия [1,2]. Задача стрессового воздействия на съёмочную систему КЭНС с оценкой её работоспособности является сложной и многоциклической, требует значительного процессорного времени.

Программный продукт ArcGIS Pro является многопоточным приложением. В нём доступно более 70 инструментов геодезической обработки, которые поддерживают параллельные вычисления. Как правило, при работе с ArcGIS Pro можно в фоновом режиме производить геодезическую обработку данных и одновременно создавать карты, работать с другими сценами [19]. Однако сейчас в России нет предприятий, использующих этот программный продукт с технической поддержкой вендора.

В ГИС «Панорама» (версия 12, Россия) реализована многопоточная обработка файлов, которая позволяет практически линейно (по числу ядер процессора) повышать производительность обработки данных на основе функций MAPAPI интерфейса, адаптированных к многопоточному применению [19].

Цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС) РНОТОМОД (Россия) может использоваться как локальная ЦФС с распределённой сетевой средой [20]. ЦФС является основным инструментом для создания качественных изображений для последующего использования в ПГИСМ КЭНС.

Здесь же отметим технологию «Талка» и цифровую фотограмметрическую станцию, разработанную в ИПУ РАН [21]; на сегодняшний день она не поддерживает облачные вычисления. Технология обычная, реализуется с использованием сервера института. Кроме того, большинство мировых

ведущих сайтов в настоящее время просто недоступны для российских программных продуктов. Недоступны также и облачные сервисы, российских же облачных сервисов в области ГИС-технологий нет.

За последние 50 лет компьютерные вычисления основывались на пяти базовых платформах: мэйнфреймах (мощных вычислительных системах), миникомпьютерах, персональных компьютерах, серверах и мобильных устройствах. Сейчас зарождается шестой тип – облачная платформа. Поэтому разработчики ГИС рассматривают облачные сервисы и параллельные вычисления как важное направление развития собственных платформ, включая ПГИСМ КЭНС.

При выборе платформы для эффективного решения множества информационных задач необходимо учитывать, что прирост эффективности вычислений зависит от алгоритма задачи и количества последовательных расчётов [8, 22]. Не для всякой задачи наращивание числа процессоров в вычислительной системе приводит к повышению эффективности.

Применение закона Амдала в этом случае касается не составных частей одной задачи, а набора задач, реализуемых в прикладных ГИС для синтеза поисковых КЭНС с заданными свойствами для эффективного решения навигационных задач.

При реализации моделей КЭНС используются следующие алгоритмы и гипотезы, напрямую связанные с конечным результатом работы навигационной системы [23]:

- используемые типы физических полей Земли (оптическое, тепловое, радиотепловое, радиолокационное и т. п.),
- возможные алгоритмы поиска и обработки изображений бортовыми вычислителями,
- состояние погодных условий на время навигационных определений,
- возможные значения ошибок местоположения носителя,
- возможные значения размеров навигационных участков,
- линейные интервалы дискретизации исходной карты,
- высота движения навигационной системы,
- алгоритмы распознавания образов,
- алгоритмы анализа сцен,
- алгоритмы определения опорных навигационных ориентиров,
- алгоритмы кластеризации,
- алгоритмы обучения нейросетей,



– возможные значения решающей функции КЭНС при точной навигации и навигации с заданной ошибкой,

– алгоритмы стрессового воздействия на съёмочную систему КЭНС с применением различных типов средств стрессового воздействия в используемых диапазонах длин волн ЭМИ с заданными условиями (точности, возможности средств стрессового воздействия и т. д.).

На основе принятых алгоритмов и гипотез моделирования КЭНС строится карта стрессового воздействия на СС КЭНС, которая определяет условия точной (заданной) навигации, навигации с заданной ошибкой. Все указанные алгоритмы и гипотезы динамичны, возможны их изменения в заданных диапазонах.

Распределённые ГИС, установленные в нескольких предприятиях соответствующего профиля, могут предоставлять некоторые облачные сервисы. Это могут быть подготовленные данные, например, карты с навигационными свойствами анализируемой территории, подготовленные с использованием снимков в разных диапазонах длин волн ЭМИ. В частности, с определёнными опорными точками, полученными с применением метода SURF, выполняющего поиск опорных точек на изображениях с помощью матрицы Гессе, и последующим созданием их дескрипторов, инвариантных к масштабу и вращению изображения.

Таким образом, платформа ГИС общего назначения должна быть расширена и реализована в виде ПГИСМ КЭНС. В этой же прикладной ГИС реализуются модели синтеза карты стрессового воздействия на съёмочную систему с использованием отражательных и поглощающих коэффициентов объектов местности [19].

Наконец отметим, что существуют ещё и бессерверные облачные среды, которые позволяют базе данных самостоятельно подстраиваться под нагрузку [24]. Результат обработки событий не зависит от состояния памяти сервера. Эти эластичные вычисления могут представлять интерес при решении задач моделирования КЭНС и требуют дальнейшего исследования. Появление бессерверных вычислений связано с переходом от серверов к виртуализации и контейнеризации, что позволяет предоставлять больше ресурсов решению задач, а не обслуживанию платформ и инфраструктуры [12]. По существу, это реализация многопоточных и параллельных вычислений в облачных бессерверных средах. Бессерверные вычисления на российских предприятиях ещё не используются, что следует из материалов публикаций [16–18, 25]. Возможно, что бессерверные облачные среды и не нужно использовать в облачных ГИС, в частности

в прикладной ГИС для моделирования КЭНС. Вся необходимая информация должна быть сосредоточена на серверах распределённых ГИС нескольких организаций указанного профиля. Этот вопрос является дискуссионным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа облачных технологий и параллельных вычислений, состояния развития и использования этих технологий в облачных ГИС сделаны основные выводы.

• Отмечено, что зависимость российских организаций от иностранных технологий в последние годы была очень сильная. Сейчас многие иностранные вендоры информационных технологий покинули Россию, были ограничены поставка и поддержка лицензий, включая системы хранения данных, серверы, системы защиты информации. Очевидна необходимость комплексного подхода к построению собственной информационной инфраструктуры, начиная от архитектуры и заканчивая резервированием и защитой данных.

• Показано, что при внедрении облачных технологий в облачную ПГИСМ КЭНС необходимо изыскивать собственные решения по архитектуре и программному обеспечению и производить поиск альтернатив среди российских производителей и разработчиков. Одновременно необходимо решить проблему совместимости продуктов.

• Показано, что при планировании выполнения задач в облачных средах, которые ранее решались автономно в ГИС, необходимо использовать параллельные вычисления в ПГИСМ КЭНС с заданными свойствами с учётом всего спектра длин волн электромагнитного излучения в окнах прозрачности, включая мешающие факторы в виде стрессового воздействия на датчики навигационных систем для синтеза условий эффективной навигации в условиях помех.

• Выявлена специфика параллельной структуры алгоритмов КЭНС, учёт которой при реализации этих алгоритмов средствами вычислительных систем, поддерживающих параллельные вычисления, позволяет наиболее полно использовать их преимущества. Показано, что в вычислительной системе для моделирования работы КЭНС должен быть обеспечен параллелизм на уровне потоков команд и данных при реализации моделей поисковых КЭНС с применением облачных технологий и параллельных вычислений.

• Определены компоненты ПГИСМ КЭНС, имеющие аналоги в смежных предметных областях. При наличии требуемых вариантов доступа к

таким компонентам могут быть минимизированы затраты на реализацию ПГИСМ КЭНС. Доступ может быть организован в распределённых ГИС, объединённых в сеть с необходимым уровнем защиты информации.

• Показана возможность реализации ПГИСМ КЭНС с использованием классических технологий на основе существующих систем анализа и обработки изображений, облачных ГИС и облачных технологий общего назначения. В настоящее время наиболее привлекательными остаются классические технологии обработки изображений. При этом должно быть обеспечено строгое соблюдение нормативно-правовых и технических актов по использованию исходных материалов, а также обеспечение безопасности используемых и создаваемых материалов. Облачные же технологии общего назначения пока займут незначительное место в задачах, связанных с моделированием КЭНС, поскольку создание новых приложений потребует времени и средств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алчинов А.И., Гороховский И.Н. Концепция создания прикладной географической информационной системы моделирования поисковых корреляционно-экстремальных систем автономной навигации // Проблемы управления. – 2022. – № 1. – С. 54–66. [Alchinov, A.I., Gorokhovskiy, I.N. A Conceptual Applied Geographic Information System for Modeling Search Autonomous Correlation-Extreme Navigation Systems // Control Sciences. – 2022. – No. 1. – P. 43–54.]
2. Алчинов А.И., Гороховский И.Н. Анализ стрессовых воздействий на условия автономной навигации поисковых корреляционно-экстремальных навигационных систем // Проблемы управления. – 2022. – № 6. – С. 42–58. [Alchinov, A.I., Gorokhovskiy, I.N. Analysis of Stress Exposures on Autonomous Navigation Conditions in Search Correlation-Extreme Navigation Systems // Control Sciences. – 2022. – No. 6. – P. 35–48.]
3. Marinescu, D.C. Cloud Computing. Theory and Practice. Second Edition. – Waltham: Morgan Kaufmann Publishers, 2018. – 566 p.
4. Воеводин В.В. Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 608 с. [Voevodin, V.V., Voevodin, Vl.V. Parallelnye vychisleniya. – SPb.: BHV – Peterburg, 2002. – 608 s. (In Russian).]
5. Ежова Н.А., Соколинский Л.Б. Обзор моделей параллельных вычислений // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2019. – Т. 8, № 3. – С. 58–91. – DOI: 10.14529/cmse190304. [Ezhova, N.A., Sokolinskij, L.B. Obzor modelej paralelnyh vychislenij // Vestnik YUUrGU. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika. – 2019. – Vol. 8, no. 3. – S. 58–91. – DOI: 10.14529/cmse190304. (In Russian).]
6. Cloud computing. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Cloud\\_Computing](https://www.tadviser.ru/index.php/Cloud_Computing) (дата обращения 29.03.2023). [Accessed March 29, 2023.]
7. Zhang, G., Zhu, A.X., Huang, Q. A GPU-Accelerated Adaptive Kernel Density Estimation Approach for Efficient Point Pattern Analysis on Spatial Big Data // International Journal of Geographical Information Science. – 2017. – Vol. 31, no. 10. – P. 2068–2097.
8. Журавлёв Ю.И., Гуревич И.Б. Распознавание образов и распознавание изображений // Распознавание, классификация, прогноз. Математические методы и их применение: Ежегодник / Под ред. Ю.И. Журавлева. – М.: Наука, 1989. – Вып. 2. – С. 5–72. [Zhuravlyov, Yu.I., Gurevich, I.B. Raspoznavanie obrazov i raspoznavanie izobrazhenij // Raspoznavanie, klassifikaciya, prognoz. Matematicheskie metody i ih primeneniye: Ezhegodnik / Pod red. Yu.I. Zhuravleva. – M.: Nauka, 1989. – Vyp. 2. – S. 5–72. (In Russian).]
9. Nupponen, J., Taibi, D. Serverless: What It Is, What to Do and What not to Do // Proc. Int. Conf. Softw. Archit. (ICSA 2020), – Salvador, 2020. – P. 49–50. – DOI: 10.1109/ICSA-C50368.2020.00016.
10. Serrano, N., Gallardo, G., Hernantes, J. Infrastructure as a Service and Cloud Technologies // IEEE Software. – 2015. – Vol. 32, iss. 2. – P. 30–36.
11. Черняк Л. Интеграция – основа облака // Открытые системы. СУБД. – 2011. – № 7. – URL: <https://www.osp.ru/os/2011/07/13010473/> [Chernjak, L. Integraciya – osnova oblaka // Otkrytye sistemy. SUBD. – 2011. – № 7. – URL: <https://www.osp.ru/os/2011/07/13010473/> (In Russian)]
12. Yang, C., Huang, Q., Li, Z., et al. Big Data and Cloud Computing: Innovation Opportunities and Challenges // International Journal of Digital Earth. – 2016. – Vol. 10, no. 1. – P. 1–41, DOI: 10.1080/17538947.2016.1239771.
13. Ye, X., Huang, Q., Li, W. Integrating Big Social Data, Computing and Modeling for Spatial Social Science // Cartography and Geographic Information Science. – 2016. – Vol. 43, no. 5. – P. 377–378.
14. Huang, Q., Li, J., Zhang, T. Domain Application of High Performance Computing in Earth Science: An Example of Dust Storm Modeling and Visualization // In: High Performance Computing for Geospatial Applications. – Cham: Springer, 2020. – P. 249–268.
15. Li, Z., Tang, W., Huang, Q., et al. Introduction to Big Data Computing for Geospatial Applications // International Journal of Geo-Information. – 2020. – Vol. 9, no. 8. – Art. no. 487.
16. Google Cloud Tensor Processing Unit. – URL: [https://tadviser.com/index.php/Product:Google\\_Cloud\\_Tensor\\_Processing\\_Unit](https://tadviser.com/index.php/Product:Google_Cloud_Tensor_Processing_Unit) (дата обращения 12.10.2022). [Accessed October 10, 2022.]
17. Технология работы в ГИС «Панорама» с помощью онлайн-сервиса GeoCloud. – URL: <https://gisinfo.ru/techno/geocloud.htm> (дата обращения 03.10.2022). [Tekhnologiya raboty v GIS «Panorama» s pomoshch'yu onlain-servisa GeoCloud. – URL: <https://gisinfo.ru/techno/geocloud.htm> (accessed October 3, 2022).]
18. BIM в облаке: обзор ключевых решений для информационного моделирования. – URL: <https://www.cloud4y.ru/blog/cloud-bim-solutions-overview/> (дата обращения 20.05.2023). [BIM v oblake: obzor klyuchevykh reshenii dlya informatsionnogo modelirovaniya. – URL: <https://www.cloud4y.ru/blog/cloud-bim-solutions-overview/> (accessed May 20, 2023).]
19. Лубнин Д.С. Модернизация инфраструктуры пространственных данных с использованием облачных технологий // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2018. – Т. 62,



- № 5. – С. 590–598. – DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-5-590-598. [Lubnin, D.S. Modernization of spatial data infrastructure using cloud technologies // Izv. vuzov «Geodesy and aerial photography». – 2018. – Vol. 62, no. 5. – P. 590–598. – DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-5-590-598. (In Russian)].
20. Сечин А.Ю., Адров В.Н. Фотограмметрия и облачные технологии // Геопрофи. – 2017. – № 2. – С. 24–27. [Sechin, A.Yu., Adrov, V.N. Photogrammetry and Cloud Technologies // Geoprofi. – 2017. – No. 2. – P. 24–27. (In Russian)].
21. Алчинов А.И., Беклемишев Н.Д., Кекелидзе В.Б. Методы цифровой фотограмметрии. Технология «Талка». – М.: Московский государственный университет печати, 2007. – 259 с. [Alchinov, A.I., Beklemishev, N.D., Kekelidze, V.B. Metody cifrovoj fotogrammetrii. Tekhnologiya «Talka». – M.: Moskovskij gosudarstvennyj universitet pechati, 2007. – 259 s. (In Russian)].
22. Черемисинов Д.И. Закон Амдала и границы параллельных вычислений // Шестая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня». – Минск, 2020. – С. 294–300. [Cheremisinov, D.I. Amdahl's Law and the Boundaries of Parallel Computing // The sixth International Scientific and Practical Conference «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA and High-level analysis». – Minsk, 2020. – P. 294–300. (In Russian)].
23. Yu, M., Bambacus, M., Cervone, G., et al. Spatiotemporal Event Detection: A Review // International Journal of Digital Earth. – 2020. – Vol. 13, no. 1. – P. 1–27.
24. Lloyd, W., Ramesh, S., Chinthalapati, S., et al. Serverless computing: An Investigation of Factors Influencing Microservice Performance // Proc. Int. Conf. Cloud Eng. (IC2E). – Orlando, 2018. – P. 159–169. – DOI: 10.1109/IC2E.2018.00039.
25. Фомичев А., Бондарь О. Бессерверная альтернатива традиционным базам данных // Открытые системы. СУБД. – 2021. № 1. – С. 20–23. DOI: 10.51793/OS.2021.86.20.003. [Fomichev, A., Bondar, O. A serverless alternative to traditional databases // Open systems. DBMS. – 2021. – No. 1. – P. 20–23. DOI: 10.51793/OS.2021.86.20.003. (In Russian)].

Статья представлена к публикации членом редколлегии Б.В. Павловым.

Поступила в редакцию 24.04.2023,  
после доработки 05.07.2023.  
Принята к публикации 18.07.2023.

**Алчинов Александр Иванович** – д-р техн. наук, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ✉ alchinov46@mail.ru, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6553-376X>

**Гороховский Игорь Николаевич** – канд. техн. наук, НИЦ ТГНО 27 ЦНИИ, Москва, ✉ gin\_box@mail.ru.

© 2023 г. Алчинов А.И., Гороховский И.Н.



Эта статья доступна по [лицензии Creative Commons «Attribution» \(«Атрибуция»\) 4.0 Всемирная.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## EXPANDING THE FUNCTIONALITY OF AN APPLIED GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR MODELING SEARCH CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEMS

A.I. Alchinov<sup>1</sup> and I.N. Gorokhovskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Research Center of Topographic and Navigational Support, Central Research Institute No. 27, Moscow, Russia

✉ alchinov46@mail.ru, ✉ gin\_box@mail.ru

**Abstract.** This paper further develops the concept of an applied geographic information system (AGIS) for modeling search correlation-extreme navigation systems (CENSs) intended to control moving objects. The possibility of using parallel, distributed, and cloud computing for modeling CENSs is investigated. In modern conditions, it is necessary to diagnose the operation of CENSs under stress exposure on their shooting systems. The stress exposure parameters are modeled by accessing specialized databases containing the characteristics of terrain objects in different electromagnetic radiation wavelength ranges. As a rule, such characteristics are unavailable in geographic information systems (GISs) and cloud environments. It is demonstrated that CENSs should be diagnosed by modeling the shooting system using cloud GISs. The issues of parallel computing for pattern recognition tasks are considered. The peculiarities of the parallel structure of CENS search algorithms are revealed. When implementing these algorithms in parallel computing systems, proper consideration of the peculiarities allows utilizing their advantages to the highest degree.

**Keywords:** cloud computing, cloud service, parallel computing, computing systems, pattern recognition, cloud geographic information system, search correlation-extreme navigation system.