

УДК 681.51

doi:10.15217/issn1684-8853.2016.4.19

# РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ АВИАТРАНСПОРТА

С. В. Мичурин<sup>а</sup>, канд. техн. наук, доцент

Я. А. Ивакин<sup>а, б</sup>, доктор техн. наук, профессор

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

<sup>б</sup>Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, РФ

**Постановка проблемы:** активный рост интенсификации транспортных потоков и опережающий рост потребности в автоматизации диспетчерских пунктов приводят к эмпирическому характеру внедрения принципов и средств ситуационного управления, используемых при построении автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте. Соответственно, существует необходимость разрешения объективного противоречия между потребностью в улучшении качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте на основе целостного научно-методологического аппарата и эмпирическим характером этого процесса в текущий момент. **Цель:** определение путей разрешения сформулированных противоречий между объективной потребностью в улучшении качества программных комплексов и эмпирическим характером процесса ситуационного управления. **Результаты:** сформулированы задачи повышения результативности программных комплексов ситуационного управления, что следует рассматривать как базовый фактор улучшения качества автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте. Этот факт диктуется значительным ростом интеллектуально-управленческой нагрузки на авиадиспетчеров. Пути повышения результативности могут выступать методы последовательного квалиметрического оценивания, анализа и совершенствования соответствующего программного обеспечения в процессе его разработки — от логико-математической постановки до внедрения в эксплуатацию. Новизна подхода состоит в том, что он позволяет развить известный методический аппарат совершенствования программных комплексов диспетчеризации путем обобщения квалиметрических методов на основе принципов ситуационного управления. Для решения поставленных задач разработана система требований к типовой архитектуре программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами для автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта. **Практическая значимость:** предложенная системологическая постановка задачи разработки комплексного методологического аппарата позволяет значительно усовершенствовать процесс оценки и системного улучшения качества программных комплексов автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов. Это стало возможным за счет внедрения в практику их создания средств обеспечения рационализации усилий разработчиков соответствующего программного обеспечения, основанного на принципах ситуационного управления. Как следствие, это позволит добиться уменьшения трудозатрат на разработку указанных комплексов (среднего времени разработки программного модуля реализации типовой прикладной функции на 12–16 %).

**Ключевые слова** — ситуационное управление, результативность и качество управления пространственными процессами, геоинформационные системы.

## Введение

Активное развитие сферы авиасообщений, интенсивности и плотности полетов, а также современных технологий и возможностей вычислительной техники предопределило внедрение в их состав средств и методов ситуационного управления. Одной из основных особенностей построения современных автоматизированных систем управления пространственными процессами на авиатранспорте является неуклонное возрастание числа задач, в которых принятие предметных решений в тех или иных видах ситуаций возлагается на средства прикладного программного обеспечения. Разработка программных комплексов (ПК) для автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов (АСДПП)

на авиатранспорте в настоящее время представляет собой достаточно сложный и наукоемкий вид деятельности, связанный с необходимостью моделировать не только пространственные процессы как таковые, но и соответствующие подсистемы мониторинга, сопутствующие гидрометеорологические, физические и прочие процессы.

## Актуальность разработки АСДПП на основе принципов ситуационного управления

Традиционная теория управления, основанная на теории автоматического регулирования, имеет дело с такими объектами, для которых процедура управления в самом общем виде представляется контуром управления: субъект управ-

ления, управляющее воздействие, объект управления, обратная связь. Однако сложные объекты управления, в качестве которых могут выступать слабо структурируемые организационно-технические или социальные системы, явления и их адекватные многоуровневые программные модели (в том числе и АСДПП на авиатранспорте), приводят к необходимости учета в ходе управления сотен параметров, тысячи фактов, огромного числа критериев и решающих правил. Это ведет к тому, что свести процедуру управления к контуре управления не получается, так как не представляется возможным описать все состояния объекта управления, ограничить число управляющих воздействий и показать их связь с обратной реакцией на управление.

Развитие объектно-ориентированного подхода к проектированию и созданию прикладного программного обеспечения дало возможность многократно усложнить программно-аналитические модели управляемых объектов, отказаться от их строгой детерминированности, придать им стохастический характер и значительно расширить их адаптивность. Номенклатура параметров, описывающих управляемый объект и окружающую его среду, увеличилась настолько, что возможности восприятия диспетчера в оперативной обработке информации перестали ей соответствовать [1]. Другими словами, диспетчер-оператор перестал быть способен оперативно анализировать и корректировать все параметры процесса, контролируемого и моделируемого программными средствами АСДПП, а значит, перестал быть способен адекватно управлять всей совокупностью

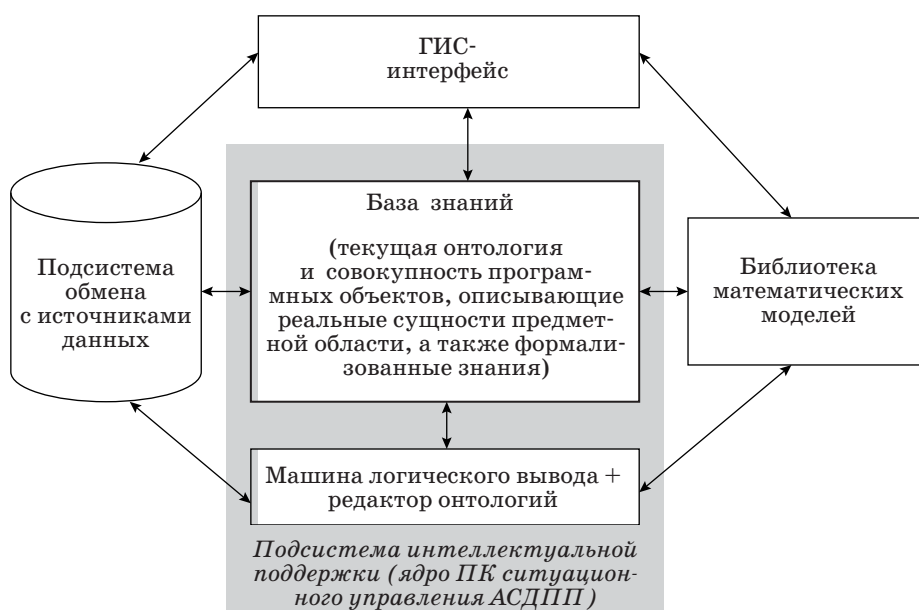
пространственных процессов [2–4]. Указанное противоречие было обострено фактом бурного роста объема авиационных перевозок на рубеже XX–XXI вв. Это явилось причиной начала разработки АСДПП на принципах ситуационного управления.

### Ситуационное управление пространственными процессами

Программные комплексы ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП на авиатранспорте представляют собой сложные комплексы программных средств и подсистем. Как правило, они в себя включают:

- 1) геоинформационную подсистему;
- 2) инструмент управления базами данных и редактирования онтологии;
- 3) сервер картографической информации;
- 4) подсистему интеллектуальной поддержки;
- 5) сервер администрирования;
- 6) подсистему обмена данными с взаимодействующими системами;
- 7) сервер объектов;
- 8) сервер гидрометеороинформации (гидрометеосервер);
- 9) совокупность программных моделей аналитической поддержки.

Структура взаимосвязей приведенного состава элементов ПК ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП показана на рис. 1. Геоинформационные системы (ГИС) в сочетании с СУБД и подсистемами интеллектуальной поддержки являются основой



■ **Рис. 1.** Типовая архитектура ПК ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП авиатранспортом

компьютерных инструментальных средств реализации информационных технологий (ИТ) для АСДПП. Эффективность использования ПК во многом зависит от организации процессов ввода-вывода, хранения, обработки разнородных данных, а также от эргономичности информационных моделей, отображаемых на видеомониторах, предъявляемых пользователю АСДПП. Одной из особенностей ПК ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП является одновременное использование как картографических, так и некартографических данных, для обработки которых требуется применение принципиально различных методов.

Очевидно, что в рамках ПК ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП должны осуществляться процедуры моделирования реальной пространственной ситуации на основе электронной карты. Информация, участвующая в моделировании пространственной ситуации, условно может быть разделена на реально существующую и отображаемую на электронной карте в явном виде и неявно существующую без ее графического представления.

Информационные технологии ПК для АСДПП на авиатранспорте, в ходе которых реализуются операции ввода-вывода, обработки, хранения и отображения геоинформации, можно разделить на базовые и прикладные [2, 5, 6]. Базовая ИТ представляется в виде инвариантной к предметной области совокупности средств преобразования первичной и вторичной картографической информации на этапах ее сбора, обработки, хранения, передачи и отображения.

В состав базовой ИТ для АСДПП обычно включают следующую последовательность операций:

- 1) сбор (получение, извлечение) первичных данных об активных объектах, действующих в рамках сложившейся пространственной ситуации;
- 2) первичная обработка данных об активных и пассивных географических объектах (сбор данных, их группировка, первичная классификация объектов, их растровизация и (или) векторизация);
- 3) построение моделей пространственных или атрибутивных данных;
- 4) хранение полученных данных о текущей пространственной ситуации;
- 5) транспортировка полученных данных по компьютерным сетям и (или) на физических носителях;
- 6) геоинформационный анализ и картографическое моделирование пространственной ситуации (вторичная обработка данных);
- 7) представление результатов анализа и моделирования;
- 8) верификация и коррекция результатов.

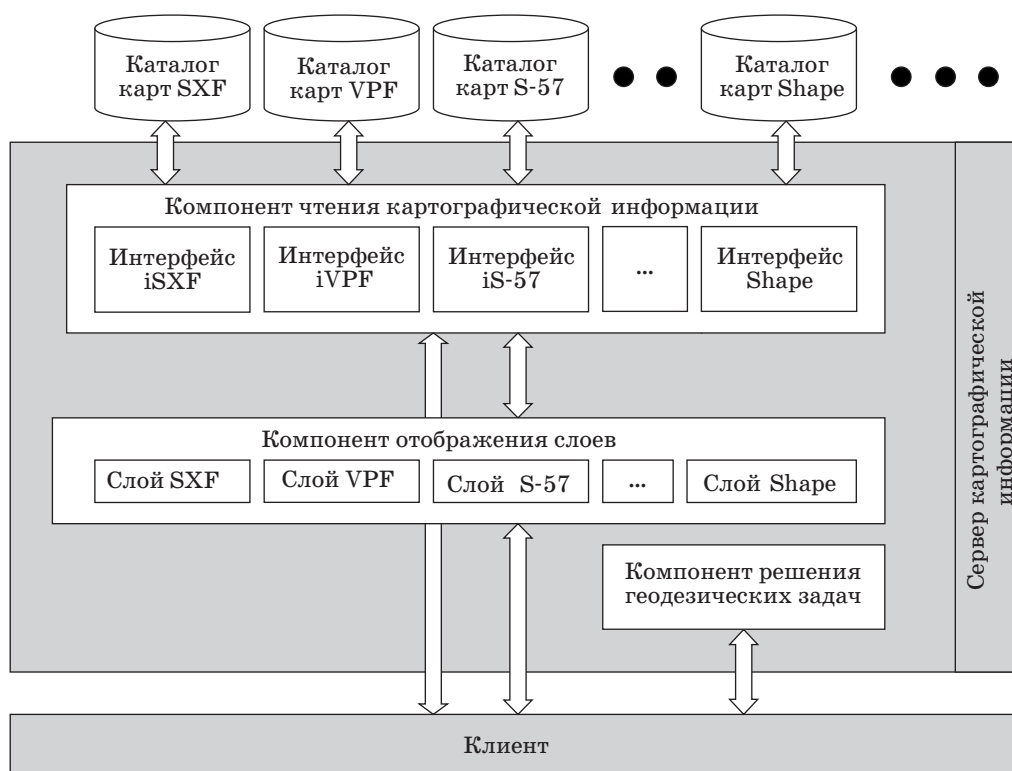
Эффективность извлечения и представления оператору АСДПП результатов вторичной об-

работки существенно зависит от совершенства описания предметной области, в которой функционирует ПК, на концептуальном, логическом и физическом уровнях с учетом специфики географических данных. Иными словами, эффективность обработки вторичной информации в результате реализации ИТ прямо определяется качеством онтологии предметной области, к которой относится некоторый класс пространственных ситуаций. Онтология — это система понятий, характеризующих предметную область, и отношений между ними.

Прикладные ИТ ПК для АСДПП являются инструментальным средством, обеспечивающим для описания географического объекта два различных вида информации, имеющих пространственный и описательный характер. В зависимости от своего назначения прикладная ИТ для ПК ситуационного управления в АСДПП может быть направлена на обработку либо пространственной, либо описательной информации. В последнее время исследуются возможности интеграции этих двух видов информации и создания интегрированных прикладных ИТ. В основу разработки как базовых, так и прикладных ИТ ПК АСДПП должны быть поставлены адекватные онтологии описания предметных областей их применения.

Реализация базовых и прикладных геоинформационных технологий (ГИТ) осуществляется в рамках соответствующих ГИС, которые являются программными комплексами, обеспечивающими сбор, обработку, хранение и визуализацию различной картографической информации для ее анализа, оценки и моделирования. При этом необходимо отметить, что собственно ГИС реализует базовые ГИТ, а прикладные ГИТ обеспечивают функционирование систем геоинформационной поддержки принятия решений при управлении (диспетчеризации) пространственными процессами. Названные системы поддержки принятия решений могут быть как встроены в ГИС, так и сопрягаться с ГИС в интересах решения задач диспетчеризации пространственных процессов. Структура типовой ГИС в составе ПК АСДПП ситуационного управления на авиатранспорте представлена на рис. 2.

В ходе первичной обработки поступившие на вход ГИС разнородные данные корректируются и частично унифицируются, в результате чего формируется унифицированное подмножество данных, часть которых хранится в виде архивов. Первичная обработка связана с решением задач распознавания, структуризации, декомпозиции, компоновки, изменения, сжатия, контроля и унификации. Вторичная обработка данных включает анализ унифицированной информации, установление связи между частями модели пространственной ситуации, устранение избы-



■ **Рис. 2.** Структура типовой ГИС в составе ПК для АСДПП

точности за счет исключения irrelevantной информации, определение первичных и внешних ключей, формирование метаданных.

Инструментальные средства ГИТ, реализуемые в рамках современных ГИС, базируются на традиционных ГИС-технологиях и на технологиях обработки данных радиолокационного освещения обстановки и дистанционного зондирования. В настоящее время созданы предпосылки для объединения названных технологий (ERDAS, Imagine, ER-Mapper, EASI/PASE). Практическая реализация промышленно выпускаемых (серийных) ГИС для нужд диспетчеризации осуществляется на всех компьютерных платформах от ПЭВМ, обычно совместимых с IBM PC или Macintosh, до суперсерверов и почти для любых операционных систем. К настоящему времени для специализированных ГИТ разработано несколько тысяч ГИС-пакетов, а для ГИС общего назначения — не более 20, которые ориентированы на рабочие станции с операционной системой UNIX [5, 6].

С помощью перечисленных инструментальных средств реализуется функциональность представления пространственно-географических данных. Кроме пространственных данных диспетчеру в АСДПП предоставляются и описательные (атрибутивные) данные, ассоциированные с географическими объектами пространственной

ситуации. Набор атрибутов для каждого географического объекта хранится в файле данных (атрибутивной таблице). При этом пространственный объект и относящаяся к нему запись в таблице связываются по уникальному идентификатору, образуя соединение типа «один — один».

Эффективность эксплуатации ПК АСДПП с точки зрения возможностей анализа пользователем пространственных ситуаций во многом определяется степенью интеграции пространственных и атрибутивных данных. ПК с использованием растровых ГИС имеют столь простую организацию, что сама модель данных (онтология) дает относительно полное описание предметной области и не требует специальных приемов по интеграции пространственных и атрибутивных данных на концептуальном, логическом и физическом уровнях. Прикладное программное обеспечение с использованием векторных ГИС требует специальной организации пространственных и атрибутивных данных на концептуальном, логическом и физическом уровнях. При этом используют три вида моделей данных: геоинформационную, интегрированную и объектно-ориентированную. В геоинформационной модели пространственная и атрибутивная части организованы самостоятельно, а связи между ними устанавливаются и программно поддерживаются

через идентификатор объекта. Интегрированная модель предусматривает использование средств СУБД для хранения пространственной и атрибутивной компонент. Объектно-ориентированная модель включает язык пространственных запросов и требует объектно-ориентированного доступа как к базам данных, так и к выполняемым операциям обработки данных.

В состав подсистем типовой архитектуры ПК АСДПП (см. рис. 1) входит набор базовых средств, обеспечивающих реализацию следующих групп функций: выполнение арифметических и геометрических операций, сетевой анализ, анализ наложений, выделение географических объектов в новый слой картографической модели и операции работы с полями баз данных. Перечисленные группы функций позволяют диспетчеру осуществлять анализ сложившейся пространственной ситуации. Процедуры анализа пространственных ситуаций, как правило, предшествуют процедурам выработки вариантов решений по поведению активных объектов, являющихся элементами пространственной ситуации. В качестве основного базового средства в существующем ПК АСДПП, обеспечивающего автоматизированную генерацию конкурирующих вариантов решений, обычно рассматривают картографическое моделирование. Это процесс использования комбинаций запросов (команд) пользователя и ответов на вопрос о параметрах пространственной ситуации, особенно о тех, которые угрожают безопасности перемещения активных объектов. Математическая сложность как постановки, так и решения задачи обеспечения безопасности (безаварийности) активных объектов в конкретной пространственной ситуации в большинстве случаев приводит к приближенным решениям в ходе диспетчеризации пространственных процессов, даже при использовании современных вычислительных средств. Картографические модели в ПК ситуационного управления АСДПП позволяют:

1) иллюстрировать (описывать) сложившуюся пространственную ситуацию выделением некоторых объектов или параметров и показом результатов в виде, позволяющем пользователю в целом охватить эти объекты (параметры) и установить их взаимосвязи;

2) прогнозировать пользователю развитие пространственной ситуации, определять факторы, влияющие на это развитие, и устанавливать функциональную и пространственную связь между этими факторами.

Как описательные, так и прогнозные картографические модели разрабатываются на основе:

— индуктивного метода — движение от состояния конкретных элементов пространственной ситуации к общему утверждению о ее развитии,

особенно с позиций безопасности действующих в ее рамках активных объектов;

— дедуктивного метода — движение от цели развития пространственной ситуации (безопасности) к отдельным фактам поведения конкретных активных объектов.

На основе указанных методов разрабатывается и отлаживается картографическая модель, а затем начинается этап ее верификации, т. е. проверка адекватности модели реальным процессам, протекающим в конкретной пространственной ситуации. При этом необходимо получить ответы на три вопроса:

1. Действительно ли используемые в модели данные отражают суть моделируемой пространственной ситуации? Основной проблемой при этом является выявление переменных и проверка их на полноту. Чаще всего выявляется ряд недостающих переменных, которые из-за своей недоступности должны быть из модели исключены. Ряд переменных может не иметь ясной трактовки или они могут быть плохо определены для их использования.

2. Корректно ли определено поле значимых факторов модели для представления их реального взаимодействия и правильно ли описывается процесс принятия решений?

3. Является ли конечный результат картографического моделирования приемлемым для диспетчера АСДПП в качестве средства для принятия решений в данной пространственной ситуации? Особенно важным при ответе на этот вопрос является представление выходной информации, поскольку неадекватная картографическая форма может привести к ошибочным выводам диспетчера.

На основании вышесказанного можно сделать следующие основные выводы.

1. В настоящее время проектируется и разрабатывается ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП, реализующие базовые ГИТ. В ходе функционирования таких ПК и реализации ГИТ используются следующие виды информации, участвующие в картографическом моделировании пространственных ситуаций на земле, на воде и в воздухе: о географических объектах, метрическая, пространственная и описательная (атрибутивная).

2. В типовую структуру ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП входит ряд подсистем, основными из которых являются подсистемы первичной и вторичной обработки картографических и пространственных данных, их визуализации в интересах пользователя. ГИТ реализуется с использованием комплекса инструментальных средств, базирующихся на всех

компьютерных платформах от ПЭВМ до рабочих станций почти для всех операционных систем.

3. В состав ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП также входит набор базовых средств, обеспечивающих выполнение ряда групп функций: выполнение арифметических и геометрических операций, сетевой анализ, анализ положений, выделение объектов пространственной ситуации в новый слой и операции работы с полями баз данных. Перечисленные функции позволяют диспетчеру проводить анализ пространственной ситуации, который предшествует процедурам принятия управленческих решений.

4. В ходе создания ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП разрабатываются и отлаживаются картографические модели, которые позволяют иллюстрировать пользователю сложившиеся пространственные ситуации, осуществлять анализ ситуаций и принятие управленческих решений. Одной из главных задач при разработке картографических моделей является их квалиметрический анализ и верификация.

## Заключение

Одним из направлений повышения эффективности эксплуатации промышленно производимого программного обеспечения для АСДПП на авиатранспорте является разработка и внедрение

в процесс его проектирования методов и средств оценки и контроля качества. В этой связи особый статус приобретают возможности методов, моделей и методик оценки качества и результативности ПК автоматизированных систем ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте, применяемых в вышеописанных АСДПП.

Единой, взаимосвязанной квалиметрической теории результативности ситуационного управления пространственными процессами и улучшения качества соответствующих программных комплексов не существует. Научно-методологические основы столь сложного процесса как улучшение качества программных комплексов АСДПП строго не структурированы и формируются по междисциплинарному принципу, во многом носят не системный характер. Именно этим определяется эмпирический путь развития многих современных прикладных программно-информационных технологий ситуационного управления пространственными процессами. Повышение результативности ситуационного управления сегодня следует рассматривать как базовый фактор улучшения качества программных комплексов АСДПП, что диктуется значительным ростом интеллектуально-управленческой нагрузки на диспетчеров. Такого повышения можно добиться методами последовательного квалиметрического оценивания, анализа и совершенствования соответствующего программного обеспечения в процессе его разработки.

## Литература

1. Ивакин Я. А., Мичурин С. В., Смирнова М. С. Автоматизированные системы ситуационного управления и диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте // Радиопромышленность. 2015. № 4. С. 56–64.
2. Jiang B. A Shot Note on Data-Intensive Geospatial Computing // Proc. Intern. Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Towards the Digital Ocean, Brest, France, May 10–11, 2011. P. 12–17.
3. Thill J.-C. Is Spatial Really That Special? A Tale of Spaces // Proc. Intern. Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Towards the Digital Ocean, Brest, France, May 10–11, 2011. P. 3–12.
4. Renteria-Agualimpia W., Levashkin S. Multi-criteria Geographic Information Retrieval Model Based on Geospatial Semantic Integration // Proc. 4th Intern. Conf. GeoSpatial Semantics, Brest, France, May 12–13, 2011. P. 166–181.
5. Smirnov A., Ponomarev A. Crowd Computing Framework for Geoinformation Tasks // Proc. Intern. Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Deep Virtualization for Mobile GIS, Grenoble, France, May 18–20, 2015. P. 109–125.
6. Basma H. A. Semantic Trajectories: A Survey from Modeling to Application // Proc. Intern. Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Deep Virtualization for Mobile GIS, Grenoble, France, May 18–20, 2015. P. 59–77.

UDC 681.51

doi:10.15217/issn1684-8853.2016.4.19

**The Effectiveness and Quality of Situational Management Software for Automated Dispatching of Air Transport Spatial Processes**Michurin S. V.<sup>a</sup>, PhD, Tech., Associate Professor, michurin@aanet.ruIvakin Ya. A.<sup>a,b</sup>, Dr. Sc., Tech., Professor, ivakin@oogis.ru<sup>a</sup>Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaya St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation<sup>b</sup>Saint-Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, 39, 14 Line, 199178, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Introduction:** The growing intensification of traffic flows and the faster growth of the demand for automation of control centers lead to the empirical nature of the implementation of the principles and situational management tools used in the construction of automated dispatching systems for spatial processes in air transport. Therefore, we have to resolve the objective contradiction between the need to improve the quality of the situational management software on the base of a holistic scientific and methodological approach, and the empirical nature of this process at the moment. **Purpose:** The goal is to identify the ways to resolve the formulated contradiction between the objective need to improve the software quality and the empirical nature of the situational management process. **Results:** We have formulated the problems of increasing the effectiveness of situational management software systems. This should be considered a basic factor in improving the quality of automated dispatching systems for spatial processes in air transport. This fact is determined by the significant growth of the intellectual and administrative load on the air traffic controllers. The ways to improve the effectiveness are the methods of consistent qualimetric evaluation, analysis and upgrading of the software during its development, starting from the logical-mathematical formulation down to the usage. The novelty of our approach is that it allows you to build up the available methodological tools for the improvement of scheduling software systems by compiling qualimetric methods of enhancing their effectiveness, including all the components, on the base of the principles of situational management. We have developed a system of requirements for a typical architecture of software systems of situational management of spatial processes for automated air transport dispatching systems. **Practical relevance:** The proposed systemological formulation of the problem of developing integrated methodological tools can significantly improve the process of assessing and raising the quality of software for automated systems of spatial process dispatching. It became possible due to the introduction of the instruments which rationalize the efforts of the software developers on the base of situational management. As a consequence, this will lead to the reduction of the labor costs for the development of this software (average design time for a software module implementing a sample application function is reduced by 12-16%).

**Keywords** — Situational Management, Effectiveness and Quality of Spatial Process Management, Geoinformation Systems.

**References**

1. Ivakin Ya. A., Michurin S. V., Smirnova M. S. Automated Systems for Situational Management and Dispatching of Air Transport Spatial Processes. *Radiopromyshlennost'*, 2015, no. 4, pp. 56–64 (In Russian).
2. Bin Jiang. A Shot Note on Data-Intensive Geospatial Computing. *Proc. Intern. Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Towards the Digital Ocean*, Brest, France, May 10–11, 2011, pp. 12–17.
3. Thill J.-C. Is Spatial Really That Special? A Tale of Spaces. *Proc. Intern. Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Towards the Digital Ocean*, Brest, France, May 10–11, 2011, pp. 3–12.
4. Renterial-Agualimpia W., Levashkin S. Multi-criteria Geographic Information Retrieval Model Based on Geospatial Semantic Integration. *Proc. 4th Intern. Conf. GeoSpatial Semantics*, Brest, France, May 12–13, 2011, pp. 166–181.
5. Smirnov A. and Ponomarev A. Crowd Computing Framework for Geoinformation Tasks. *Proc. Intern. Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Deep Virtualization for Mobile GIS*, Grenoble, France, May 18–20, 2015, pp. 109–125.
6. Basma H. A. Semantic Trajectories: A Survey from Modeling to Application. *Proc. Intern. Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Deep Virtualization for Mobile GIS*, Grenoble, France, May 18–20, 2015, pp. 59–77.