

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.9

doi:10.30987/2658-6436-2022-3-46-56

## ОРГАНИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПАРИРОВАНИИ НЕКОТОРЫХ УГРОЗ В ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Сергей Владимирович Павлов<sup>1</sup>, Ольга Игоревна Христодуло<sup>2</sup>,  
Анна Васильевна Соколова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Уфимский авиационный технический университет; г. Уфа, Россия

<sup>1</sup> psvgis@mail.ru

<sup>2</sup> o-hristodulo@mail.ru

<sup>3</sup> beldyanova@ya.ru

**Аннотация.** Рассмотрен подход к организации совместной обработки пространственной информации при парировании угроз в территориально распределенной организации. Предложена модель описания разнотипных пространственных данных и их взаимосвязях, необходимых для построения трехмерных моделей территориально распределенной организации, основанная на теоретико-множественном подходе. В дальнейшем она позволила определить методологию и алгоритм построения трехмерных моделей такой территориально распределенной организации, как Уфимский государственный авиационный технический университет. Показано, что повышение эффективности поддержки принятия решений при парировании некоторых угроз достигается в том числе за счет применения трехмерной визуализации технологической и оперативной (поступающей в случае аварийной ситуации) информации об объектах университета, а качество, наполняемость и оптимизация трехмерной модели напрямую влияют на принимаемые решения при реализации сценариев реагирования на аварийные ситуации. Разработанные методы и алгоритмы доведены до практической реализации и применены для построения трехмерной геоинформационной модели Уфимского государственного авиационного технического университета.

**Ключевые слова:** компьютерная модель, геометрический интерполянт, дифференциальное уравнение, численное решение, напряженно-деформированное состояние, металлоконструкции

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00301.

**Для цитирования:** Павлов С.В., Христодуло О.И., Соколова А.В. Организация совместной обработки пространственной информации при парировании некоторых угроз в территориально распределенной организации // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2022. №3 (17). С. 46-56. doi: 10.30987/2658-6436-2022-3-46-56.

Original article

Open Access Article

## ORGANIZING JOINT PROCESSING OF SPATIAL INFORMATION WHEN RESPONDING TO SOME THREATS IN A TERRITORIAL DISTRIBUTED ORGANIZATION

Sergei V. Pavlov<sup>1</sup>, Olga I. Khristodulo<sup>2</sup>, Anna V. Sokolova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ufa State Aviation Technical University; Ufa, Russia.

<sup>1</sup> psvgis@mail.ru

<sup>2</sup> o-hristodulo@mail.ru

<sup>3</sup> beldyanova@ya.ru

**Abstract.** This article considers an approach to organizing joint processing of spatial information when countering threats in a geographically distributed organization. A model is proposed for describing heterogeneous spatial data and their relationship, which are necessary for constructing three-dimensional models of a territorially distributed organization, based on the set-theoretic approach. Subsequently, the model makes it possible to determine the methodology and algorithm for constructing three-dimensional models of such a geographically distributed organization as Ufa State Aviation Technical University. The paper shows that increasing the decision support

*efficiency when responding to some threats is achieved, among other things, by using three-dimensional visualization of technological information about the university facilities and operational information which incomes in case of emergency; the quality, content and optimization of a three-dimensional model directly affect the decisions made in fulfilling emergency response scenarios. The developed methods and algorithms are brought to practical implementation and applied to build a three-dimensional geoinformation model of Ufa State Aviation Technical University.*

**Keywords:** geoinformation technologies, model for describing heterogeneous spatial data, three-dimensional geoinformation modelling, three-dimensional university model

**Financing:** the study is carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-08-00301.

**For citation:** Pavlov S.V, Khristodulo O.I., Sokolova A.V. Organizing joint processing of spatial information when responding to some threats in a territorial distributed. Automation and modeling in design and management, 2022, no. 3 (17). pp. 46-56. doi: 10.30987/2658-6436-2022-3-46-56.

## Введение

Постоянное совершенствование существующих методов получения и обработки пространственной информации, тесная интеграция с технологиями трехмерной графики, системами автоматизированного проектирования в области архитектуры и строительства, а также внедрение их в методы и алгоритмы управления позволяют повысить эффективность управления сложными распределенными системами, элементы которых могут иметь трудноуправляемые матрицы взаимодействующих структур.

В данной работе в качестве объекта исследования рассматривается деятельность территориально распределенной организации (университеты; институты; академии; государственные органы), имеющей разветвленную сеть зданий и сооружений, а также систему коммуникаций, существенно распределённых в пространстве. При наличии сложной многоуровневой структуры и отмеченных выше особенностей возникают затруднения в управлении деятельностью такого рода организаций при предупреждении возникновения аварийных ситуаций. Поскольку такие организации являются местом массового скопления людей в случае возникновения внештатной (аварийной) ситуации (например, пожар, террористический акт, аварии в системах инженерных коммуникаций и прочее) необходимо в короткие сроки принять решения по их устранению и эвакуации людей.

При этом в любой фазе реагирования на аварийную ситуацию активно применяются цифровые изображения и двумерные геоинформационные системы (ГИС), но их возможности ограничены, поскольку классическое плоское представление пространственных объектов не всегда позволяет точно отобразить многоуровневые структуры объектов организации (например, коммуникации или пути эвакуации по вертикали) и их специфику [1, 2].

На сегодняшний день пространственную информацию о всех элементах (инженерные коммуникации, здания, дорожные структуры и прочее) сложной распределенной в пространстве системы, в том числе и объектов территориально распределенной организации, можно обрабатывать средствами геоинформационных технологий, в том числе и в трехмерном пространстве (3D ГИС, 3D модель) [3]. 3D ГИС территории таких организаций, с нанесёнными на ней инженерными системами позволяет не только получить доступ «неспециалистов» к узкоспециализированной информации в удобном для понимания виде при решении управленческих задач в экстренных ситуациях, но и решать ряд текущих задач, связанных с обслуживанием и функционирование этих систем в целом, в связи с этим возникает необходимость развития методов и алгоритмов обработки этих видов информации на основе технологий трехмерного геоинформационного моделирования [4].

### Модель описания разнотипных пространственных данных о территориально распределенной организации

Область 3D-визуализации активно развивается практически во всех сферах и в некоторых областях достигнут большой прогресс, но для практической реализации 3D ГИС, которые интегрируют в себе методы обработки пространственной информации и трехмерной графики, существует ряд трудностей, которые, прежде всего, связаны с возникновением еще большего разнообразия типов пространственных объектов и пространственных отношений [5].

Для создания корректной 3D ГИС необходимо, чтобы информация была полной, непрерывной и достоверной, поскольку сложность задачи управления пространственными данными возрастает в разы с появлением третьего измерения.

Поэтому при разработке 3D ГИС территориально распределенной организации необходимо разработать модель описания разнотипных пространственных данных, которая с единых математических позиций позволит выявить взаимосвязи между объектами, необходимые для построения корректной трехмерной модели.

Как и для большинства предприятий, информационной основой управления территориально распределенной организации в аварийной ситуации является совокупность данных о самих объектах и их окружении, которые содержат в большом объеме текстовые описательные документы, цифровые изображения, полученные непосредственно при фото- и видеосъемке, при моделировании в графических программах (планы тушения пожаров, технологические схемы, поэтажные и генеральные планы территории), а также при использовании геоинформационных систем (географические карты местности, данные дистанционного зондирования земли, результаты пространственного анализа) [6]. При этом одним из важных составляющих информационного обеспечения поддержки принятия решений в области реагирования на аварийную ситуацию являются пространственные данные, объем и доступность которых влияют на использование геоинформационных технологий в обозначенной области (рис. 1) [7].



**Рис. 1. Схема использования пространственных данных в аварийных ситуациях в территориально распределенная организация**

*Fig. 1. Scheme of using spatial data in emergency situations in a geographically distributed organization*

Рассмотрим технологии совместной обработки 2D и 3D пространственной информации при парировании угроз в виде возможных техногенных аварий в такой территориально распределенной организации, как Уфимский государственный авиационный технический университет, далее в тексте – Университет.

Специальные службы университета в своем распоряжении имеют большое количество планов инженерных сетей, исполнительных строительных чертежей, которые имеют разрозненный характер и не позволяют всесторонне изучить особенности местности и планировку университета в короткие сроки, а также увеличивают время оценки обстановки в случае возникновения экстренной ситуации, что, в свою очередь, влияет на оперативность принимаемых решений [8, 9]. Так, например, сведения об инженерных сетях и объектах могут быть представлены в виде технологических схем, которые, в свою очередь, не отражают размещение объектов на местности, а тем более в трехмерном пространстве, или опираются на знания специалистов, непосредственно участвующих в парировании угрозы. Для этих целей все большее применение находят 3D ГИС, которые по возможности, наиболее точно отражают местоположение и взаимное расположение различных (производственных, инфраструктурных, природных и др.) пространственных объектов, это достигается согласованностью координатной привязки различных видов информации об этих объектах, а также единой методологией их формального описания [10].

3D ГИС университета также может быть представлена трехмерной моделью (например, трехмерная модель студгородка) ( $M^3$ ), которая согласно [11], представляет собой результат совместной обработки всех видов пространственных данных ( $D^3$ ), описывающих реальные объекты, позволяет манипулировать ( $F$ ) и отображать их в трехмерном виде ( $Pr$ ) [11]:

$$M^3 = \langle D^3, F, Pr \rangle. \quad (1)$$

Так как в составе 3D ГИС университета необходимо обеспечить обработку большого количества пространственной информации, то с этой целью разработана модель описания, которая включает разнотипные представления пространственных данных об объектах инфраструктуры университета с целью их геоинформационного моделирования в третьем измерении для поддержки принятия решений в аварийных ситуациях, основанную на теоретико-множественном подходе [12] и кратко описанную ниже.

При создании 3D ГИС необходимо отдельно формировать модели поверхности рельефа и трехмерных объектов, на ней расположенных. Как правило при моделировании земной поверхности (цифровой модели рельефа) необходимо определить способ конструирования геометрии и текстурирования модели, а также систему координат, которая в дальнейшем позволит совместить модели наземных объектов, моделируемой местности. Поверхность рельефа может быть представлена в виде триангуляционной сети ( $T$ ), которая наилучшим образом описывает искусственные (обвалования, насыпные конструкции) и естественные неровности, образованную гранями ( $T_S$ ), ребрами ( $T_E$ ) и узлами ( $T_N$ ):

$$T = \{T_S, T_E, T_N\}, \quad (2)$$

а также растровой моделью данных ( $R$ ), которая предусматривает разбиение пространства на неделимые элементы – ячеек ( $R_{cell}$ ), образующие регулярную сеть высотных отметок, каждая из которых может содержать атрибутивную информацию  $I_{cell}^{atr}$ :

$$R = \{R_{cell}\} = \{(x, y, z)_{cell}, I_{cell}^{atr}\}. \quad (3)$$

Реалистичность визуализации достигается за счет текстурирования созданной цифровой модели рельефа ортофоизображением, подготовленным на основе космического или аэрофотоснимка местности.

Другой важной составляющей 3D ГИС модели университета являются наземные и подземные объекты местности: зданий, сооружений, деревьев, труб, ограждений, опор и прочее, которые в зависимости от объекта моделирования описываются векторной моделью следующим образом.

1. 3D точечные объекты (инженерные коммуникации – запорная арматура трубопроводов, опоры линий электропередач и прочее; расстановка сил и средств спасательных служб и прочее):

$$P^3 = \left\{ \left\{ (x^p, y^p, z^p) \right\}, \left\{ I_j^{atr} \right\} \right\}, j = \overline{1, n_p}, \quad (4)$$

где  $P^3$  – множество точечных объектов, расположенных в трехмерном пространстве;  $n_p$  – количество точечных объектов;  $I_j^{atr}$  – атрибутивная информация  $j$ -го точечного объекта.

2. 3D линейные объекты (инженерные коммуникации – трубопроводы, линии связи и электропередач и прочее; пути следования спасательных бригад; маршруты эвакуации):

$$L^3 = \left\{ \left\{ \left\{ (x^l, y^l, z^l)_q \right\}_j \right\}, \left\{ I_j^{atr} \right\} \right\}, j = \overline{1, n_l}, q = \overline{1, b_j}, \quad (5)$$

где  $L^3$  – множество линейных объектов, расположенных в пространстве;  $n_l$  – количество линейных объектов;  $b_j$  – количество вершин в  $j$ -й линии;  $I_j^{atr}$  – атрибутивная информация  $j$ -го линейного объекта.

3. 3D полигональные объекты (здания и технические сооружения, внутренние планировки зданий, емкости, дороги и прочее):

$$Pol^3 = \left\{ \left\{ \left\{ \left\{ (x^{pol}, y^{pol}, z^{pol})_t \right\}_q \right\}_j \right\}, \left\{ I_j^{atr} \right\} \right\}, j = \overline{1, n_{pol}}, q = \overline{1, b_j}, t = \overline{1, c_q}, \quad (6)$$

где  $Pol^3$  – множество полигональных объектов, расположенных в пространстве;  $n_{pol}$  – количество полигональных объектов;  $b_j$  – количество линий в  $j$ -м полигоне;  $c_q$  – количество вершин в  $q$ -й линии;  $I_j^{atr}$  – атрибутивная информация  $j$ -го полигонального объекта.

4. Объемные 3D объекты, объекты мультипатч.

$$MP^3 = \{b\}_j = \left\{ \left\{ \left\{ \left\{ (x^{MP}, y^{MP}, z^{MP})_m \right\}_t, (Tex)_q \right\}_j \right\}, \left\{ I_j^{atr} \right\} \right\}, j = \overline{1, n_{MP}}, q = \overline{1, b_j}, t = \overline{1, c_q}, m = \overline{1, a_t}, \quad (7)$$

где  $MP^3$  – множество сложных трехмерных объектов, расположенных в пространстве, изначально имеющих объем и текстуры;  $n_{MP}$  – количество сложных трехмерных объектов;  $b_j$  – количество полигонов (треугольников, колец) в  $j$ -м сложном трехмерном объекте;  $c_q$  – количество линий в  $q$ -м полигоне;  $a_t$  – количество вершин в  $t$ -й линии;  $Tex$  – текстурированное изображение  $q$ -го полигона;  $z_j$  – координата  $z$  для  $j$ -го сложного трехмерного объекта;  $I_j^{atr}$  – атрибутивная информация  $j$ -го сложного трехмерного объекта.

Для реализации возможности отображения (в том числе – визуализации) пространственных объектов университета в трехмерном пространстве при организации хранения пространственной информации о нем в виде координат местоположения на местности (как правило в виде цифровых карт, планов и схем), к имеющейся паре координат  $(x, y)$ , необходимо добавить значение третьей координаты  $z$ , характеризующей высоту положения объекта относительно местности. Таким образом пространственные данные можно будет использовать в двухмерных (плоских) моделях местности (2D ГИС) (т.к. не все задачи необходимо решать в трехмерном виде) и в трехмерном виде. Для перехода к 3D ГИС, необходимо определить (рассчитать) значения высот для каждого пространственного объекта, что и будет составлять фактическое значение координаты  $z$ .

В [13] предложен теоретико-множественный подход, примененный авторами для формализации представлений о взаимном расположении пространственных объектов относительно цифровой модели рельефа и друг друга, а также их связи в трехмерном пространстве, применительно к объектам трубопроводного транспорта. Результаты данного исследования также применимы к объектам университета.

Хотя современные системы трехмерного моделирования в ГИС имеют механизмы оптимизации визуализации данных, они по-прежнему уступают пакетам трехмерной графики в этом вопросе, поэтому в операциях представления пространственных данных в 3D, определение состава и структуры для 3D ГИС университета имеет особенно важное значение, поскольку объект моделирования имеет разветвленную инфраструктуру [5].

## Методология и алгоритм создания 3D ГИС университета

Специфика разрабатываемой 3D ГИС заключается в том, что университет содержат сравнительно небольшое количество малоэтажных зданий и сооружений (относительно населенных пунктов или производственных объектов), чаще всего соединённых между собой переходами, и большим количеством помещений (аудиторий), имеющих сеть коммуникаций, которые могут быть размещены многослойно относительно поверхности земли (вертикально).

Все задачи, решаемые средствами 3D ГИС в случае аварийной ситуации в университете можно разделить на две группы:

1) задачи навигации – так, например, первокурсники, сотрудники университета или специалисты служб экстренного реагирования в аварийной ситуации могут испытывать затруднения в ориентации на территории учебного заведения, поиск оптимальных путей эвакуации;

2) задачи на системах коммуникаций – поисково-информационные задачи (поиск источника аварии, систем и оборудования напрямую или косвенно задействованных), расчетные задачи (например, при замене участка электрической сети), задачи моделирования распространения опасного явления.

Исходя из поставленных задач 3D ГИС университета должна включать слои инфраструктуры в виде карт, планов и схем зданий и сооружений (рис. 2).



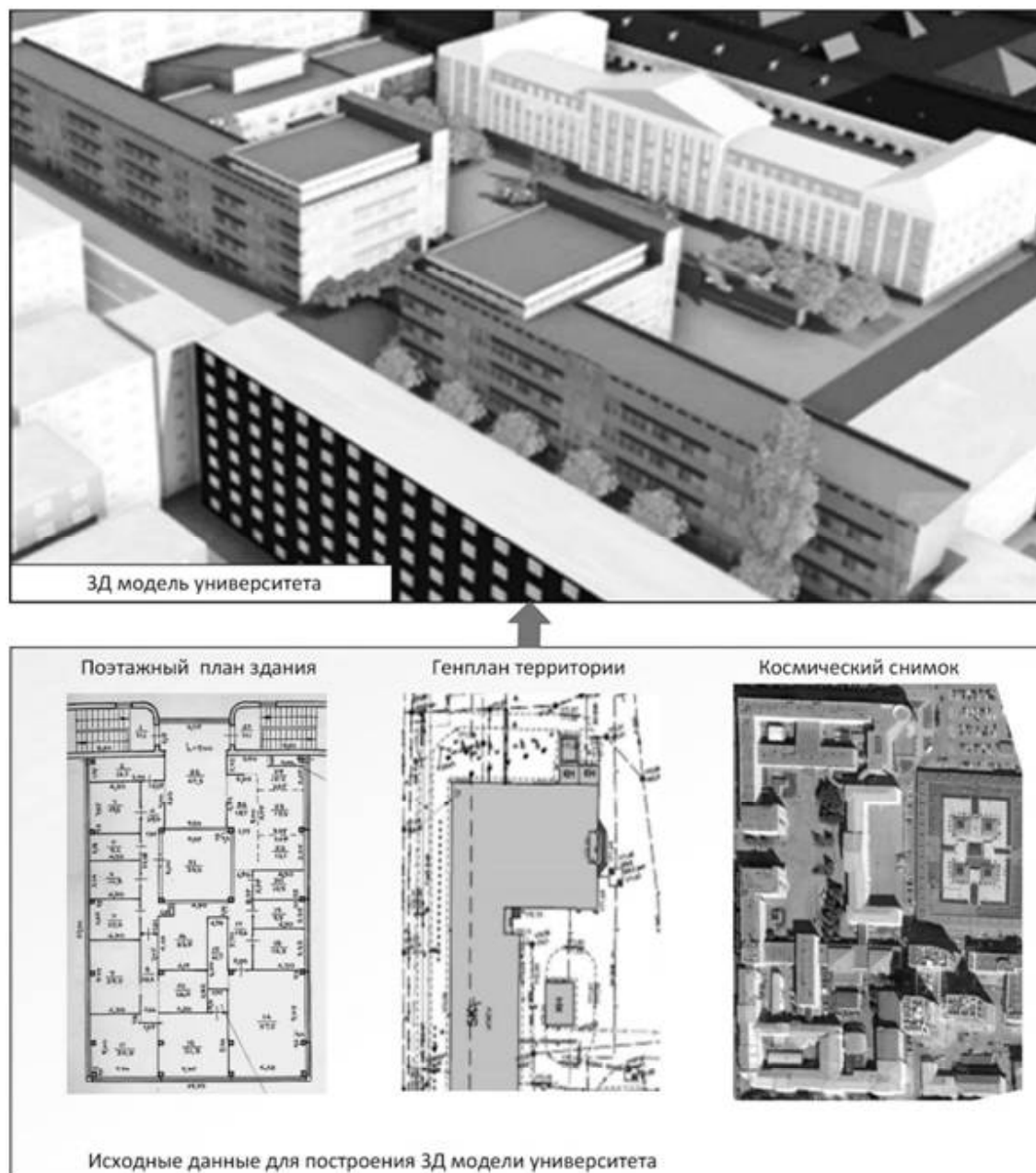
Рис. 2. Перечень пространственных слоев 3D ГИС университета

Fig. 2. List of spatial layers of the 3D GIS of the university

Стремление повысить уровень детализации представления пространственных объектов в 3D ГИС приводит к увеличению вычислительной нагрузки в операциях, связанных с визуализацией и преобразованием моделей [10], в связи с этим необходимо определить критерии состава и структуры трехмерной модели университета.

1. Пространственные объекты, отражающие внешний вид корпусов (с текстурами и декоративными конструкциями) следует хранить в отдельном пространственном слое и отображать только по требованию, например, при общей оценке территории университета отображать планировки зданий и сооружений не целесообразно (рис. 3).

2. Для решения навигационных задач хранение планировок зданий и сооружений необходимо организовать в виде векторных полигональных слоев, с возможностью получения доступа к исходным данным (проектной документации в формате изображения или формата *dxf*) через атрибутивные таблицы посредством механизма ссылок (рис. 4).



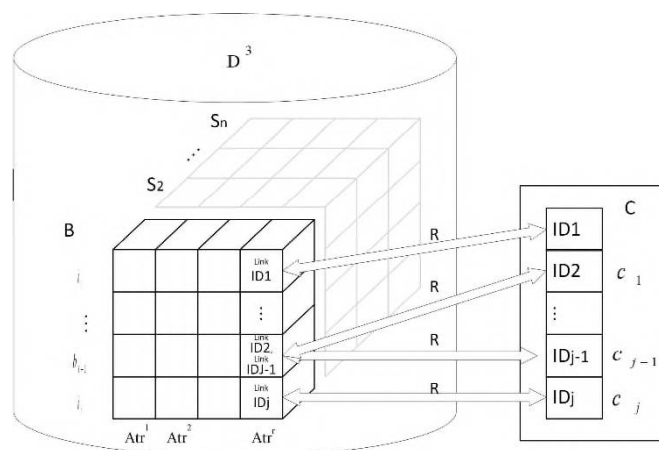
**Рис. 3. Территория университета в 3D ГИС**  
**Fig. 3. Territory of the university in 3D GIS**

Для этого необходимо организовать связь между объектами  $b$  и  $c_j$ .

–  $B$  – это множество пространственных объектов типа (6), хранящих информацию о поэтажных планах зданий университета, хранящиеся в базе данных  $D^3$

$$B = \{(b)_i\}, b_i \in D^3, i = \overline{1, n}. \quad (8)$$





**Рис. 4. Организация связи между объектами базы пространственных данных и других форматов**  
**Fig. 4. Organization of communication between objects of the database of spatial data and other formats**

–  $C$  – это множество проектной документации о поэтажных планах зданий, созданные средствами современных инженерных пакетов, хранящие детальную техническую информацию, для которых выполняется следующее условие:

$$C = \{(c)_j\}, c_j \in D^3, j = \overline{1, m}, \quad (9)$$

где  $m$  – это количество файлов проектной документации, которые могут храниться в разных форматах (в том числе и в виде сканированных изображений).

Связь подобного типа может быть организована посредством механизма прикреплений ссылок, при условии выполнения условия

$$b_i \leq c_j. \quad (10)$$

Таким образом, определение состава и структуры 3D ГИС влияет на компьютерные и временные затраты при обработке и визуализации пространственных данных.

Представленные в данной статье методы доведены до практической реализации в виде алгоритма (блок-схема представлена на рис. 5), который использовался для построения трехмерной модели университета [11].

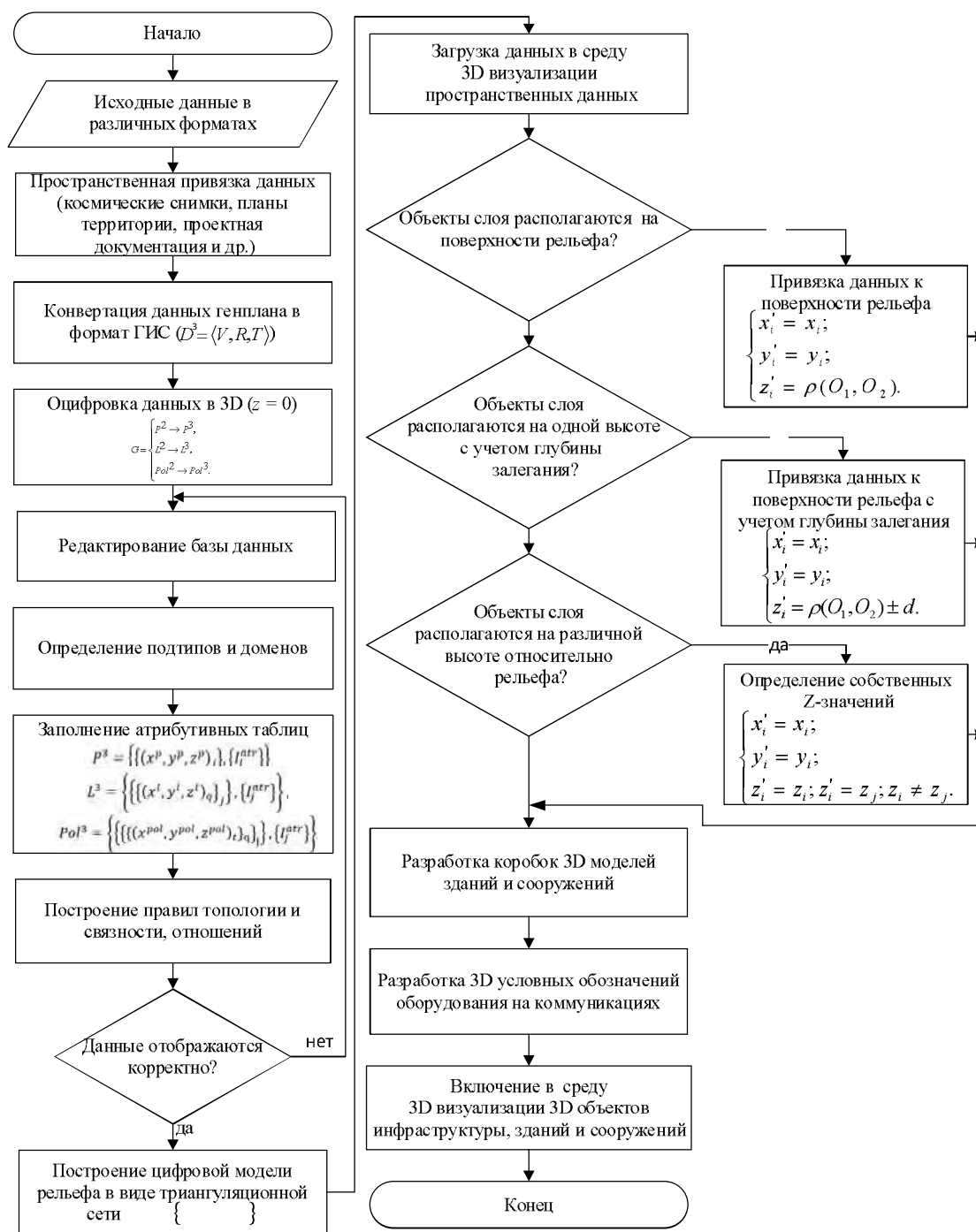
Анализ временных затрат специалистов служб, участвующих при реализации сценариев локализации внештатных ситуаций на объекте массового скопления людей (университет относится к данному типу), на каждом этапе показал, что их большая часть приходится на интерпретацию данных о реальных объектах. Так при определении места аварии и объектов, попавших в зону аварии руководитель службы, ответственный за проведение ликвидационных мероприятий, должен сопоставить данные технологической схемы, генерального плана территории университета, космических снимков, технической документации, для дальнейшей координации работ по локализации аварии.

Повышение эффективности поддержки принятия решений при парировании некоторых угроз в университете достигается за счет интеграции геоинформационных технологий и первоначальной технической документации в виде трехмерной визуализации технологической и оперативной (поступающей в случае аварийной ситуации) информации о объектах университета.

### Заключение

Предложенный вариант совместной организации пространственной информации основан на теоретико-множественном подходе к описанию разнотипных пространственных данных, цифровых изображений и их взаимосвязях с разрозненной технической документацией, необходимых для построения 3D ГИС университета. Использование этих моделей для парирования некоторых угроз (аварий) позволяет существенно сократить время поиска, совместного представления и наглядной визуализации всей необходимой информации и тем самым повысить эффективность поддержки принятия решений и самих решений по предотвращению и ликвидации аварий на объектах массового скопления людей, например, университета.





**Рис. 5. Блок-схема алгоритма построения 3D ГИС университета**  
**Fig. 5. Block diagram of the algorithm for constructing a 3D GIS of the university**

**Список источников:**

**References:**

1. Информационно аналитическая система для принятия решений на основе сети распределенных ситуационных центров / А.П. Афанасьев и др. // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2010. – №2. – С. 3-14.

2. Либерман, А.Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор: монография. – СПб., 2006. – 101 с.

3. Применение технологий трехмерного геоинформационного моделирования с учетом уровня детализации для решения управленческих задач / А.В. Соколова, О.И. Христоудло // Информационные технологии для интеллектуальной поддержки

1. Afanasiev A.P. Information Analytical System for Decision-Making Based on Spatially Distributed Network of Situational Centres. The Journal of Information Technologies and Computing Systems. 2010;2:3-14.

2. Lieberman A.N. Technogenic Safety: Human Factor. Saint Petersburg; 2006.

3. Sokolova AV, Christodoulo OI. Applying Technologies of Three-Dimensional Geoinformation Modelling Taking into Account the Detail Level for Solving Management Problems. In: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference: Information Technologies for

- принятия решений (ITIDS'2015): Материалы 3-ей Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2015. – Т.1. – С. 123 – 126.
4. Информационная поддержка принятия решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах на основе технологий трехмерного геоинформационного моделирования / А.В. Соколова, С.В. Павлов, О.И. Христодуло // Электронный научный журнал «Аудиториум». – 2019. – № 1 (21). – URL: <http://auditorium.kursksu.ru/pdf/021-004.pdf> (дата обращения: 22.05.2019)
5. Соколова, А.В. Обработка двумерной пространственной информации в составе трехмерной модели промышленного объекта / О.И. Христодуло и др. // Печатный научно-технический журнал «Нефтегазовое дело». – 2015 г. – № 1. – С. 152-162
6. Biljecki F. Formalisation of the level of detail in 3D city modelling // *Journal Computers, Environment and Urban Systems*. – 2014. – pp. 1-15
7. Рекомендации по созданию трехмерных геоизображений (моделей) территорий и объектов жизнеобеспечения, потенциально опасных, критически важных для национальной безопасности / Нормативно-методические документы по вопросам организации выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. – М.: Изд-во ВНИИ ГОЧС, 2009. – 41 с.
8. Формализованное описание пространственной информации в составе трехмерных моделей потенциально опасных объектов на основе теоретико-множественного подхода / С.В. Павлов, О.А. Ефремова, А.В. Соколова // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*, 2014. –Т.10. – № 1. – С. 66-72.
9. Lee, J., Zlatanova, S. A 3D data model and topological analyses for emergency response in urban areas // *Geospatial information technology for emergency response (ISPRS book series)*. – London, UK: Taylor & Francis Group. – 2008.
10. Рекомендации по картографическому обеспечению МЧС России / Технологии гражданской безопасности. М.: Изд-во ВНИИ ГОЧС, 2013. – С. 44-48.
11. Интеграция геоинформационных технологий и цифровой обработки изображений для парирования аварийных ситуаций на предприятиях трубопроводного транспорта нефти / С.В. Павлов, А.В. Соколова, О.И. Христодуло // *Компьютерная оптика*. – 2022. – Т. 46, № 3. – С. 483-491. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-925.
12. О федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года» [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 07.07.2011 № 555 (ред. от 25.04.2015). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
13. Бугаков, П.Ю. Зарубежный опыт в области картографической генерализации трехмерных моделей городских территорий / П.Ю. Бугаков // *Геодезия и картография*. –2017. – Т. 22, №1. – С. 151-159.
- Intelligent Decision Support (ITIDS'2015); Ufa: 2015. (1). p. 123-126.
4. Sokolova A.V., Pavlov S.V., Christodulo O.I. Information Support for Decision-Making on the Prevention and Elimination of Emergency Situations at Industrial Facilities Based on Technologies of Three-Dimensional Geoinformation Modelling. *Auditorium* [Internet]. 2019 [cited 2019 May 22];1(21). Available from: <http://auditorium.kursksu.ru/pdf/021-004.pdf>.
5. Sokolova A.V., Christodulo O.I. Processing of Two-Dimensional Spatial Information as Part of a Three-Dimensional Model of an Industrial Object. *Oil and Gas Business*. 2015;1:152-162.
6. Biljecki F. Formalisation of the Level of Detail in 3D City Modelling. *Journal Computers, Environment and Urban Systems*. 2014;1-15.
7. Recommendations for the Creation of Three-Dimensional Geo-Images (Models) of Territories and Life Support Facilities, Potentially Dangerous, Critical for National Security: Regulatory and Methodological Documents on the Organization of Research and Development Work. Moscow: Publishing house of VNI GOChS; 2009.
8. Pavlov S.V., Efremova O.A., Sokolova A.V. Formalized Description of the Spatial Information within Three-Dimensional Models of Potentially Dangerous Objects based on Set-Theoretic Approach. *Electrical and Information Complexes and Systems*. 2014;10(1):66-72.
9. Lee J., Zlatanova S. A 3D Data Model and Topological Analyses for Emergency Response in Urban Areas. *Geospatial Information Technology for Emergency Response (ISPRS book series)*. London(UK): Taylor & Francis Group; 2008.
10. Recommendations for the Cartographic Support of the Ministry of Emergency Situations of Russia. *Civil Security Technologies*. Moscow: Publishing house of VNI GOChS; 2013. p. 44-48.
11. Pavlov S.V., Sokolova A.V., Christodulo O.I. Integration of Geographic Information Technologies and Digital Image Processing for Responding to Emergency Situations at Oil Pipeline Transport Facilities. *Computer Optics*. 2022;46(3): 483-491. doi: 10.18287/2412-6179-CO-925.
12. On the Federal Target Programme «Reducing the Risks and Mitigating the Consequences of Natural and Man-Made Emergencies in the Russian Federation until 2015: Decree of the Government of the Russian Federation from 2011 Jul 07, No. 555 [Internet]. 2015. Available from: the Reference-Legal System «Consultant-Plus».
13. Bugakov P.Yu. Foreign Experience in the Field of Cartographic Generalization of Three-Dimensional Models of Urban Areas. *Geodesy and Cartography*. 2017;22(1):151-159.

#### Информация об авторах

##### Сергей Владимирович Павлов

профессор, доктор технических наук, профессор кафедры ГИС, Уфимского государственного авиационного технического университета, заслуженный деятель науки Республики Башкортостан.

#### Information about authors:

##### Sergey Vladimirovich Pavlov

Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department “Geoinformation Systems» of Ufa State Aviation Technical University, Honoured Scientist of the Republic of Bashkortostan.

**Ольга Игоревна Христовуло**

доцент, доктор технических наук, заведующий кафедрой геоинформационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета.

**Olga Igorevna Khristodulo**

Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department «Geoinformation Systems» of Ufa State Aviation Technical University.

**Анна Васильевна Соколова**

кандидат технических наук, доцент кафедры геоинформационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета.

**Anna Vasilievna Sokolova**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Geoinformation Systems» of Ufa State Aviation Technical University.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 30.06.2022; одобрена после рецензирования 02.08.2022; принята к публикации 05.08.2022.**

**The article was submitted 30.06.2022; approved after reviewing 02.08.2022; accepted for publication 05.08.2022.**

**Рецензент** – Подвесовский А.Г., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

**Reviewer** – Podvesovskij A.G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.